

შ. ვ. ლომინაძე, ი. ა. ზარაზვილი

ზოგადი თბოვნიკა

(სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტის ხანუნიანო ფაკულტეტის
ბტუდენტთათვის)

ურთის წითელი ღრუშის ორდენის საქართველოს
სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტის გამომცემლობა

რეცენზენტი ტენ. მეცნ. კანდ. დოც. ა. ნ. ხიდაშელი

წიგნში თანამიმდევრობით განხილულია ტექნიკური თერმოდინამიკის, თბოგადაცემის, საჭეზბე დანადგარების, დეფიზიანი ორთქლის მანქანებისა და ლოკომობილების, ორთქლისა და აირტურბინების, კომპრესორების, სტაციონარული შიგაწვის ძრავების, თბოქალღვანი დანადგარებისა და სოფლის მეურნეობის თბოფიკაციის ძირითადი საკითხები.

წიგნი გათვალისწინებულია საქართველოს სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტების ს/მ წარმოების მექანიზაციისა და ს/მ პროდუქტთა ტექნოლოგიის ფაკულტეტის დასწრებული და დაუსწრებელი სწავლების სტუდენტთათვის.

რედაქტორი ტენ. მეცნ. კანდ. დოც. უ. პ. ლომინაძე

წი ნ ა ს ი ზ ყ ვ ა მ ბ ა

წინამდებარე წიგნი წარმოადგენს პირველ ცდას ქართულ ენაზე ზოგადი თბოტექნიკის მოკლე კურსის გამოცემისა, როგორც დამხმარე სახელმძღვანელოსი, საგანში „ტექნიკური თერმოდინამიკა და თბოტექნიკა“ საქართველოს სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტების ს/მ წარმოების მექანიზაციისა და ს/მ პროდუქტთა ტექნოლოგიის დასწრებელი და დაუსწრებელი სწავლების სტუდენტთათვის.

წიგნის აღნიშნული მიზანდასახულობით განისაზღვრა მისი მოცულობა, მასალის შერჩევა, განლაგება და გადმოცემის ხასიათი.

პროგრამის მიხედვით წიგნში თანანიმდევრობით განხილულია ტექნიკური თერმოდინამიკის, თბოგადაცემის, საქვაზე დანადგარების, ორთქლის მანქანებისა და ლოკომობილების, ორთქლისა და აირტურბინების, კომპრესორების, სტაციონარული შიგაწივის ძრავების და თბოძალგვანი დანადგარებზე ძირითადი საკითხები.

სოფლის მეურნეობის წარმოების მექანიზაციის ფაქულტეტის სპეციფიკურობიდან გამომდინარე ზოგადი თბოტექნიკის კომპლექსური საკითხების განხილვისას, განსხვავებით სხვა სახელმძღვანელოებისაგან ამ დარგში, წიგნში განიხილულ იქნა სოფლის მეურნეობის თბოფიკაციის ძირითადი საკითხებიც.

წიგნის შედგენის დროს დიდ სიძნელეს იწვევდა როგორც რუსულ, ისე ქართულ ენაზე სოფლის მეურნეობის თბოფიკაციის შესახებ სათანადო მასალების უქონლობა. სოფლის მეურნეობის თბოფიკაციის ცალკეულ საკითხებზე არსებული ბროშურები და საკურნალო სტატიები არ იყო ხელმისაწვდომი სტუდენტებისათვის და განსაკუთრებით დაუსწრებელი სწავლების სტუდენტებისათვის; ამის გამო განზრახული იყო პროგრამის შესაბამისად შედგენილი ყოფილიყო ისეთი სახელმძღვანელო, რომელიც სტუდენტს საშუალებას მისცემდა ამ წიგნით ამოეწურა პროგრამით გათვალისწინებული ძირითადი მასალა.

ვინაიდან სახელმძღვანელო შედგენილია ზემოაღნიშნული ფაქულტეტების სტუდენტთათვის განკუთვნილი ტექნიკური თერმოდინამიკისა და თბოტექნიკის პროგრამის მიხედვით, ზოგადი თბოტექნიკის ზოგიერთმა საკითხმა წიგნის ტექსტში ვერ ჰპოვა ჯეროვანი გაშუქება.

ყოველგვარი საქმიანი შენიშვნები, განსაკუთრებით სოფლის მეურნეობის თბოფიკაციის საკითხებზე, ჩვენს მიერ მხედველობაში იქნება მიღებული წიგნის მეორე გამოცემისას.

ავტორები

შ ე ს ა ე ა ლ ი

ბუნებაში არსებობს სხვადასხვა სახის ენერგია—სითბური, მექანიკური, ელექტრული, სინათლის, ქიმიური, ატომური და სხვ.

ენერგიის გარდაქმნისა და მუდმივოდენობის კანონის თანახმად ერთი სახის ენერგია შეიძლება გარდაქმნეს მეორე სახის ენერგიად, მისი საერთო რაოდენობის შეუცვლელად. სახალხო მეურნეობის იმ დარგს, რომელიც ანხორციელებს ენერგიათა გარდაქმნას ბუნებაში ფართოდ გავრცელებულ სახეებიდან სხვადასხვა მიზნისათვის საჭირო სახედ, ენერგეტიკა ეწოდება.

ენერგეტიკის იმ დარგს, რომელიც შეისწავლის სხვადასხვა სახის სათბობებიდან სითბური ენერგიის მიღებას და მის გამოყენებას როგორც პირდაპირი დანიშნულებით, ისე ელექტროენერგიად გარდაქმნისათვის, თბოტექნიკა ანუ თბოენერგეტიკა ეწოდება.

ელექტროსადგურებს, რომლებშიაც ადგილი აქვს სხვადასხვა სახის სათბობის დაწვის შედეგად სითბური ენერგიის მიღებას და მის ჯერ მექანიკურ ენერგიად და შემდგომ ელექტროენერგიად გარდაქმნას, თბოელექტროსადგურები ეწოდება.

თბოენერგეტიკის დარგში სამამულო კვლევათა საფუძველი ჩაყრილი იყო ჯერ კიდევ XVIII საუკუნეში დიდი რუსი მეცნიერის მ. ვ. ლომონოსოვის შრომებში. გენიალურმა რუსმა მექანიკოსმა—სამამულო თბოტექნიკის ფუძემდებელმა—ი. ი. პოლზნოვმა 1763—1765 წლებში, პირველად მსოფლიოში, შექმნა საწარმოო ორთქლძალოვანი დანადგარი. ი. ი. პოლზნოვმა ორი ათეული წლით დაასწრო ინგლისელ მექანიკოსს უატს, რომელმაც ქარხნების საჭიროებისათვის ორთქლის მანქანა ააგო მხოლოდ 1784 წ.

1833 წელს მამა და შვილის მექანიკოსების ე. ა. და მ. ე. ჩერეპანოვების მიერ შექმნილი იყო პირველი რუსული ორთქლძალოვი, რომელზედაც, ორთქლწარმოქმნის პროცესის გაუმჯობესების მიზნით, დადგმული იყო მილებიანი ქვაბი და უკუსვლის სპეციალური მექანიზმი.

თბოენერგეტიკის თეორიული საფუძვლების შემდგომი განვითარება, დაკავშირებულია რუს მეცნიერთა—მ. ვ. ოსტროვარდსკის (1831 წ.), მ. ფ. ოკატოვის (1862 წ.), ი. ა. ვიშნევარდსკის (1871 წ.), ნ. პ. პიროგოვის (1880—1890 წ.წ.), დ. ს. ზერნოვის (1901 წ.) და სხვ.—ღირსშესანიშნავ შრომებთან.

რუს მეცნიერთა და ნოვატორთა უდიდესი მიღწევების მიუხედავად ოქტომბრის რევოლუციამდე რუსეთის ენერგეტიკული მეურნეობა უარესად დაბალ ტექნიკურ დონეზე იდგა. 1913 წლისათვის ყველა ელექტროსადგურის სიმძლავრე შეადგენდა 1 მილიონ კილოვატზე ცოტა მეტს, ხოლო ელექტროენერგიის წლიური გამომუშავება 1,9 მილიარდ კილოვატსაათს ძლივს აღწევდა. თბოელექტროსადგურების საქვაბე დანადგარებში გამომუშავებული წყლის ორთქლის წნევა არ აღემატებოდა 8—14 ატა, ხოლო გადახურების ტემპერატურა 300—350°C.

დიდი ოქტომბრის სოციალისტური რევოლუციის გამარჯვების შემდეგ ჩვენს ქვეყანაში შეიქმნა ყველა პირობა და შესაძლებლობა საწარმოო ძალთა განვითარებისა და მშობლიური ენერგეტიკის სწრაფი ზრდისათვის.

საბჭოთა ხელისუფლების დამყარების პირველი დღიდანვე ვ. ი. ლენინმა გამოიჩინა უდიდესი ზრუნვა, რათა გაძლიერებულიყო ჩვენი სოციალისტური სამშობლოს ენერგომომარაგება. ვ. ი. ლენინის ინიციატივით 1920 წელს შედგენილ იქნა რუსეთის ელექტრიფიკაციის სახელმწიფო გეგმა „გოელრო“.

სსრ კავშირში სოციალიზმის მშენებლობის ლენინურ გეგმაში უმნიშვნელოვანესი ადგილი ეკავა „გოელროს“⁶, რომელიც გულისხმობდა სახალხო მეურნეობის აღდგენასა და სოციალისტურ რეკონსტრუქციას, სოციალიზმის მატერიალურ-ტექნიკური ბაზის შექმნას. „გოელრო“-ს გეგმა—სახალხო მეურნეობის განვითარების ეს პირველი პერსპექტიული გეგმა, 10—15 წლის მანძილზე წარმატებით იქნა შესრულებული. 1935 წლის ბოლოსათვის ნაცვლად 30-ისა აგებული იყო 40 ელექტროსადგური, ხოლო ელექტროსადგურების საერთო სიმძლავრემ 2,33-ჯერ გადააჭარბა „გოელრო“-ს გეგმით გათვალისწინებულ სიმძლავრეს.

დიდი სამამულო ომის პერიოდში საბჭოთა ენერგეტიკისადმი მიყენებული დიდი ზიანის მიუხედავად, ომის შემდგომ პირველსავე წლებში არამც თუ აღდგენილ იქნა ელექტროსადგურების ომისწინა პერიოდის სიმძლავრე, არამედ შესამჩნევად გადააჭარბა მას; 1950 წლისათვის ელექტროენერჯის გამომუშავებამ ომისწინა პერიოდის გამომუშავებას 87%ით გადააჭარბა.

სსრ კავშირში 1958 წელს გამომუშავებულია 233 მილიარდი კილოვატსაათი ელექტროენერჯია. ამჟამად ჩვენთან ყოველ სამ დღეში გამომუშავდება იმდენი ელექტროენერჯია, რამდენსაც მეფის რუსეთში ერთ წელიწადში გამომუშავებდნენ. უკანასკნელ წლებში დიდი სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობა მიმდინარეობს ელექტროსადგურებში ატომური ენერჯის გამოყენებისათვის.

1954 წელს საბჭოთა კავშირში პირველად მსოფლიოში ამუშავდა ატომური ელექტროსადგური 5000 კილოვატ სიმძლავრით, ხოლო 1958 წელს მწყობარში ჩადგა უფრო მძლავრი (600 ათასი კილოვატინი) ატომური ელექტროსადგურის პირველი რიგი 100 ათასი კილოვატი სიმძლავრით.

საბჭოთა კავშირის კომუნისტური პარტიის რიგგარეშე XXV ყრილობის დადგენილებათა საფუძველზე დიდი ამოცანებია დასახული მიმდინარე შეიღწეულში სახალხო მეურნეობის ელექტრიფიკაციის დარგში. ელექტროენერჯის წლიური გამომუშავება შეიღწეულის დამლევს უნდა გადიდდეს 500—520 მილიარდ კილოვატსაათამდე. ჩვენი ქვეყნის ელექტრიფიკაციის განვითარების მიზნით შეიღწეიანი გეგმით გათვალისწინებულია თბოელექტროსადგურების უპირატესი მშენებლობა.

ამხანაგ ნ. ს. ხრუშჩოვი თავის მოხსენებაში სკკპ რიგგარეშე XXV ყრილობაზე აღნიშნავდა, რომ „დროის მოგებისა და კაპიტალურ დაბანდებათა უფრო ეფექტიანად გამოყენების მიზნით შეიღწეიანი გეგმით გათვალისწინებულია ბუნებრივი გაზით, მაზუთითა და იაფი ქვანახშირით მომუშავე თბოელექტროსადგურების უპირატესი მშენებლობა.“⁶

ამავე დროს აიგება მრავალი ჰიდროელექტროსადგური და მწყობარში ჩადგება სხვადასხვა ტიპის რეაქტორებიანი ატომური ელექტროსადგურების მთელი რიგი. მაღალი პარამეტრების მძლავრი თბოელექტროსადგურების აგების შესაძლებლობის საფუძველს წარმოადგენს ჩვენ ქვეყანაში მსოფლიოში ჯერ არნახული ტემპებით თბოენერგეტიკის განვითარება.

⁶ ნ. ს. ხრუშჩოვი. სსრ კავშირის სახალხო მეურნეობის განვითარების 1959—1955 წლების საკონტროლო ციურების შესახებ. მოხსენება სკკპ რიგგარეშე XXV ყრილობაზე. საქარუელის კაკის გამომცემლობა, თბილისი 1959 წ. გვ. 28.

საბჭოთა წყობილებამ ჩვენ ქვეყანაში შექმნა მეცნიერულ-ტექნიკური შემოქმედების უდიდესი შესაძლებლობა. დიდმნიშვნელოვანია აკადემიკოს მ. ვ. კირპიჩოვის შრომები თბურ მოწყობისათვის მოდელირების შესახებ.

ძვრეინის სახელობის სრულად საკავშირო თბოტექნიკური ინსტიტუტისა და პოლ-ზუნოვის სახელობის ცენტრალური ქვაბტურბინის ინსტიტუტის მეცნიერ-მუშაკების კო-ლექტივის მიერ დამუშავებულია ქვაბაგრეგატის გაანგარიშების მეცნიერული მე-თოდი.

თბოენერგეტიკის განვითარებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს აირტურბინების დარგში პროფესორების ვ. ვ. უვაროვის, ვ. მ. შაკოვსკის და ი. ი. კირილოვის ნაშრო-მებს.

მიმდინარე წლის 22 აპრილს ლენინური პრემია მიენიჭათ მოსკოვის ენერგეტიკუ-ლი ინსტიტუტის პროფესორებს, ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორს მ. პ. ვუკალოვიჩს, სსრ კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტს ვ. ა. კირილინს და ტექნი-კურ მეცნიერებათა დოქტორს პ. ე. შვიდლინს მაღალი პარამეტრების დროს წყლისა და წყლის ორთქლის თბოფიზიკურ თვისებათა თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლე-ვებისათვის, რომლებიც გამოქვეყნდა 1956—1958 წლებში. ამ გამოკვლევითა შედეგად საბჭოთა მეცნიერებმა შეძლეს გადაეჭრათ პრობლემა, რომელიც ხელს უწყობს სკკპ ცენ-ტრალური კომიტეტის და სსრ კავშირის მინისტრთა საბჭოს გადაწყვეტილების გან-ხორციელებას—დროის უახლოეს პერიოდში პირველ რიგში განვითარდეს თბოელექ-ტროსადგურები მაღალი და ზემოდალი პარამეტრების წყლის ორთქლის გამოყენებით.

მ. პ. ვუკალოვიჩისა, ვ. ა. კირილინისა და პ. ე. შვიდლინის ნაშრომებმა შესაძლე-ბელი გახადეს შექმნილიყო 1000-მდე ატ წნევისა და ცელსით 1000⁰ მდე ტემპერატურის წყლის ორთქლის თერმოდინამიკურ თვისებათა დაწვრილებითი ცხრილები, რომლებიც სიზუსტით, სისრულით და მიღწეული პარამეტრებით ერთადერთია მსოფლიოში.

აღნიშნულს შედეგად უკვე ეწყობა ისეთი ორთქლის ტურბინების მშენებლობა, რომლებშიაც გამოყენებული იქნება წყლის გადახურებული ორთქლი 240. ატ წნევით და 580⁰ C ტემპერატურით, ხოლო მათი სიმძლავრე თითოეულ აგრეგატში განისაზღვრება 200, 300 და 600 ათასი კილოვატით. ტურბინები იმუშავებენ ბლოკური სქემით ორთქ-ლის ქვაბებთან, რომელთა ორთქლმწარმოებლობა იქნება 640 და 1700 ტ/საათი. დამზადებუ-ლი იქნება ორთქლის ტურბინები ზემოდალი კრიტიკული პარამეტრებიანი ორთქლისათვის, რომლის წნევა იქნება 300 ატ და ტემპერატურა 650⁰ C. გიგანტ თბოელექტროსადგურე-ბის სიმძლავრე მიაღწევს 2,4 მილიონ კილოვატს. თბოელექტროსადგურების მშენებლო-ბის გეგმით გათვალისწინებულია ისეთი თბოელექტროცენტრალების აგება, რომლებიც ელექტროენერგიასთან ერთად მომხმარებელთათვის გამოიმუშავებენ დაბალი პოტენცია-ლის სითბოს—დაბალი წნევის ორთქლის ან ცხელი წყლის სახით. ასეთი ორთქლი უმ-თავრესად გამოიყენება წარმოების ტექნოლოგიური მიზნებისათვის, ხოლო ცხელი წყალი როგორც გათბობისათვის, ისე საყოფაცხოვრებო მოთხოვნილებათა საჭიროებისათვის.

მრეწველობისა და ქალაქის მოსახლეობის ელექტროენერგიით და სითბური ენერგი-ით დაკმაყოფილებისათვის ერთად დგას საკითხი საკოლმეურნეო სოფლის ელექტრიფიკა-ციისა და თბოფიკაციის გაძლიერების შესახებ.

სსრ კავშირის სახალხო მეურნეობის განვითარების შედეგად აღნიშნული გეგმით გათვალის-წინებულია სოფლის მეურნეობის მკვეთრი აღმავლობა და განვითარება და ამის საფუძ-ველზე სოფლის მოსახლეობის ცხოვრების კულტურულ-საყოფაცხოვრებო პირობების შე-სამჩნევი გაუმჯობესება. ამხ. ნ. ს. ხოუშჩოვი თავის მოხსენებაში სკკპ რიგგარეშე XXI ყრილობაზე აღნიშნავდა, რომ „... მომავალში პარტია მიზნად ისახავს საკოლმეურნეო სოფელი გადააქციოს ქალაქის ტიპის კეთილმოწყობილ დასახლებულ პუნქტებად თანა-

მედროვე კომუნალური და კულტურულ საყოფაცხოვრებო მომსახურების ყველა მიღწევის გამოყენებით*.

საკომმუნალურ სოფლის ელექტრიფიკაციის საფუძველს წარმოადგენს სამრეწველო მნიშვნელობის ელექტროსადგურების ქსელების სიახლოვე და, აგრეთვე, მცირე სიმძლავრის საკომუნალურ ჰიდროელექტრო- და თბოელექტროსადგურები.

1955 წლის მონაცემებით სოფლის მეურნეობაში გამოყენებული ელექტროენერგიის 30% მიიღება სამრეწველო მნიშვნელობის ელექტროქსელებიდან. 15% მიიღება საკომუნალურ ჰიდროელექტროსადგურებიდან, ხოლო 55% კი საკომუნალურ თბოელექტროსადგურებიდან.

საქართველოს საბჭოთა სოციალისტური რესპუბლიკის სრულმდელიეში საკომუნალურ სოფელი ელექტროენერგიის ძირითადად ღებულობს სახელმწიფო ელექტროქსელიდან ან საკომუნალურ ჰიდროელექტროსადგურებიდან.

საკომუნალურ სოფელს ელექტროენერგიის გარდა სჭირდება სითბური ენერგია არა მარტო საყოფაცხოვრებო მომსახურებისათვის, როგორცაა სამრეცხაო, აბანო და საზოგადოებრივ ნაგებობათა გათბობა, არამედ აგრეთვე სჭირდება სოფლის მეურნეობის წარმოების კომპლექსური მექანიზაციისათვის. საბჭოთა მეურნეობები და კოლმეურნეობები სითბურ ენერგიას იყენებენ მეცხოველეობის ფერმებში უხეში საკვების დამუშავებისათვის, რძის პასტერიზაციისათვის, კურკლის გარეცხვისათვის, სოფლის მეურნეობის პროდუქტთა ხელოვნური შრობისათვის, სათბურებისა და კვალსათბურების ტექნიკური გათბობისათვის და სხვ.

სითბური ენერგიით საკომუნალურ სოფლის დაკმაყოფილებისათვის გამოყენებული უნდა იქნეს ახლო მდებარე სახელმწიფო თბოელექტროცენტრალები, მრეწველობის ნარჩენი სითბო და საბჭოთა მეურნეობებისა და კოლმეურნეობების თბოფიკაციური დანადგარები. ზოგიერთ შემთხვევაშია დიდობრივი პირობებიდან გამომდინარე სითბური ენერგიის მისაღებად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მცირე ორთქლმწარმოებლობის ორთქლის ქვაბები, საკვების დასაორთქლი ქვაბები, ბიოსათბობი, მზის ენერგია, ელექტროენერგია და სხვ.



* ნ. ს. ხ რ უ შ ი ა. ე. სსრ კავშირის სახალხო მეურნეობის განვითარების 1959—1965 წლების საკომუნალურ ციფრების შესახებ. მოხსენება სკკ რიგგარეშე XXI ყრილობაზე. საქართველოს კ კ კ-ის გამომცემლობა. თბილისი 1959 წ., გვ. 137.

პიკეტული ნაწილი თბოგაქანიკის თეორიული საფუძვლები

განყოფილება პიკეტული

გაქანიკური თეორიული ნაწილი

თ ა გ ი 1-1

გაქანიკური თეორიული ნაწილის საბანი და ძირითადი ცნებანი

1-1. გაქანიკური თეორიული ნაწილის საბანი

თანამედროვე ნერვტიკული მეურნეობა ძირითადად დამყარებულია მექანიკურ ნერვტიკულ სითბური ნერვტიკის გარდაქმნაზე; სითბური ნერვტიკის ფართო გამოყენება კი აღნიშნული მიზნისათვის გამოწვეულია სხვა სახის ძრავებთან შედარებით თბოძრავების უფრო მეტი გავრცელებით. ამის გამო მუშაობად სითბოს გარდაქმნის საკითხის რაციონალურად დაყენებას მეტად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება, რადგან ამ საკითხის უკეთესი გადაწყვეტა, ერთის მხრით, მიღებული მექანიკური ნერვტიკის რაოდენობის გადიდებისა და, მეორეს მხრით, სათბობის ხარჯის შემცირების საშუალებას იძლევა.

სითბური პროცესებისა და, კერძოდ, მექანიკურ ნერვტიკულ სითბოს გარდაქმნის შესწავლა და აღებული სახის გარდაქმნისათვის უხელსაყრელესი პირობების განსაზღვრა არის ამოცანა ტექნიკური თერმოდინამიკისა, რომელიც საფუძვლად უდევს გამოყენებით დისციპლინას—თბოტექნიკას.

ტექნიკური თერმოდინამიკა წარმოადგენს ნაწილს ზოგადი მეცნიერებისა—თერმოდინამიკისა, რომელიც თავდაპირველად სითბოს და მუშაობის ურთიერთგარდაქმნის შესწავლას მოიცავდა. ამჟამად საკითხების არე, რომელსაც თერმოდინამიკა შეისწავლის, მნიშვნელოვნად გაფართოვდა. თერმოდინამიკა შეისწავლის ყოველგვარ მოვლენებს როგორც ფიზიკურს, ისე ქიმიურს—ნერვტიკის იმ გარდაქმნათა თვალსაზრისით, რომლებიც მათში მიმდინარეობენ. ტექნიკური თერმოდინამიკა კი ძირითადად განიხილავს ფიზიკურ მოვლენებს, ე. ი. ისეთებს, რომლებიც დაკავშირებული არ არიან მოლეკულის ცვლილებასთან.

სითბურ მოვლენებსა და თბოძრავების მუშაობაზე დაკვირვებების საშუალებით დადგინდნ იქნა თერმოდინამიკის პირველი და მეორე კანონი (საწყისი), რომლებიც საფუძვლად დაედო ტექნიკურ თერმოდინამიკას და რომელთა საშუალებით ყველა პრაქტიკული გაანგარიშებაა განხორციელებული.

თერმოდინამიკის პირველი კანონი წარმოადგენს ბუნების საერთო კანონის—ნერვტიკის გარდაქმნისა და მუდმივობის კანონის—გამოყენებას სითბური პროცესებისათვის.

თერმოდინამიკის მეორე კანონი ბუნებაში მიმდინარე სითბური პროცესების მიმართულებას ახასიათებს და მხოლოდ ამ პროცესების თავისებურებებს ასახავს.

XX საუკუნის დასაწყისში ჩამოყალიბებულ იქნა თერმოდინამიკის მესამე 'კახონი (ეგრეთ წოდებული ნერნსტის კანონი); ეს წარმოადგენს აბსოლუტური ნულის მიულწევლობის პრინციპს. ამ კანონს აქვს უფრო ვიწრო და შეზღუდული მნიშვნელობა, ვიდრე პირველ და მეორე კანონებს.

მესამე კანონი თერმოდინამიკის იმ ნაწილის საფუძველს წარმოადგენს, სადაც განიხილება სხეულის თვისებები მეტად დაბალი ტემპერატურების პირობებში.

ტექნიკური თერმოდინამიკა აღგენს თბოძრავებში მიმდინარე პროცესების იმ პრინციპებს, რომლებიც საშუალებას იძლევიან თითოეული ძრავისათვის განესაზღვროთ ის ძირითადი ფაქტორები, რომლებზედაც დამოკიდებულია მუშაობა სითბოს გარდაქმნის მსვლელობა და ეკონომიურობა.

ტექნიკური თერმოდინამიკა იყოფა ორ ნაწილად: აირები და ორთქლები. პირველ ნაწილში შეისწავლება თერმოდინამიკური პროცესები, რომლებშიაც მუშა სხეულს წარმოადგენენ აირები, ხოლო მეორეში—ორთქლები.

1-2. ცნება სითბოუბა

წინა საუკუნის დასაწყისამდე სითბოს იხილავდნენ როგორც განსაკუთრებულ უწონად და უხილავ ნივთიერებას—„თბომბადს“, რომელსაც ჰქონდა ერთი სხეულიდან მეორეში გადასვლის უნარი. მაგრამ ცდებით დადგენილმა ფაქტებმა უკუაგდეს ეს ჰიპოთეზა, რომელიც ეწინააღმდეგებოდა მატერიის შედმიყოფნების კანონს.

პირველად მართებული, ნამდვილად მეცნიერული წარმოდგენანი სითბოს ბუნების შესახებ მოცემული იყო რუსული მეცნიერების ფუძემდებლის აკადემიკოს მ. ვ. ლომონოსოვის მიერ, რომელმაც (1744 - 1747 წ.წ.) თავის დისერტაციაში „მოსაზრებანი სითბოსა და სიცხის მიზეზის შესახებ“ ურთიერთშემებ სხეულთა შორის თბოცვლა ახსნა როგორც სხეულის ნაწილაკებზე მოძრაობის გადაცემა, ენერგიის საერთო რაოდენობის შენარჩუნებით.

თავის დისერტაციაში ლომონოსოვი წერდა: „ჩვენ დროში სითბოს მიზეზს აწერენ განსაკუთრებულ მატერიას, რომელსაც უმრავლესობა უწოდებს თბუნარიანს, სხვა—ეთერიანს, ხოლო ზოგიერთი—ვლემენტარულ ცეცხლს. მიღებულია, რომ რაც უფრო მეტია მისი რაოდენობა სხეულში, მით უფრო მეტი სითბოს ხარისხი შეიძინევა მასში. ასე რომ, ერთი და იმავე სხეულის სითბოს სხვადასხვა ხარისხის დროს თბუნარიანი მატერიის რაოდენობა მასში იზრდება და მცირდება. კარგი იქნებოდა კიდევ ესწავლებინათ, რომ მასში ოდესღაც შესული ამ მატერიის მოძრაობის გაძლიერებით სითბო მატულობს. მაგრამ სითბოს მატების ან დაკლების ანმდვილ მიზეზად მისი სხვადასხვა რაოდენობით უბრალო შესვლას ან გამოსვლას თვლიან.“

სხვა დებულებებს შორის ეს დისერტაცია შეიცავს შემდეგ დებულებებს: „...სითბო მოძრაობით აღიძვრება“.... „...სითბოს საკმარისი საფუძველი მოიპოვება მოძრაობაში“.... „...სითბოს საკმარისი მიზეზი სხეულთა ბმული მატერიის შინაგან მოძრაობაში მდგომარეობს“.... „სითბოს მიზეზი ბმული მატერიის ბრუნვითი შინაგან მოძრაობაში მდგომარეობს“....

მაშასადამე, მ. ვ. ლომონოსოვმა მთელი სიცხადით პირველმა გამოთქვა აზრი იმის შესახებ, რომ სითბურ ენერგიას სხეულის ნაწილაკების—მისი მოლეკულების—მოძრაობის შედეგად ვლდებულობთ. მ. ვ. ლომონოსოვის გენიამ მეცნიერებას ას წელზე უფრო მეტით გაუსწრო წინ.

ამგვარად, მ. ვ. ლომონოსოვმა მტკიცედ უარჰყო თბომბადის ჰიპოთეზა, რომელსაც ევროპის მრავალი მეცნიერი დიდხანს იცავდა. მ. ვ. ლომონოსოვის იდეის სისწორე

* Размышления о причине теплоты и холода.

მხოლოდ XIX საუკუნის შუა წლებში იქნა აღიარებული და, როგორც ჩვენ ამას ვხედავთ, მისი იდეა სიბზოს ბუნების შესახებ არსებითად გამოყენებულია თანამედროვე ფიზიკის მიერ.

1-3. მუშა სხეული. ცნება აირჯე

მექანიკურ ენერჯიად სითბური ენერჯიის გარდაქმნის პროცესი, რომელიც თბობრადებებში მიმდინარეობს, ხორციელდება ეგრეთ წოდებული მუშა სხეულის საშუალებით.

ვათბობის დროს გაფართოების დიდი უნარის გამო, თბობრადებებში ყველაზე ხელსაყრელია, რომ მუშა სხეულად გამოყენებულ იქნეს აიროვანი სხეული, რომლის თვისებების შესწავლა დამყარებულია მოლეკულურ-კინეტიკურ თეორიაზე.

ნივთიერების მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია რამდენიმე ძირითად დებულებას ეყარება. მათ შორის მთავარია დებულება, რომლის თანახმად ნივთიერება შედგება ცალკეული მოლეკულებისაგან, ხოლო მოლეკულები კი ატომებისაგან. ატომების რიცხვის მიხედვით განასხვავებენ ერთ-, ორ-, სამ- და მრავალატომიან მოლეკულებს. მოლეკულაში ატომების რაოდენობა მისი ქიმიური ფორმულიდან ჩანს.

ტექნიკურ თერმოდინამიკაში გაანჯარიშებების დროს მოლეკულის მეტად მნიშვნელოვან დამახასიათებელ სიდიდეს წარმოადგენს მოლეკულური წონა, რომელიც მოლეკულაში შემავალი ატომების ატომწონათა ჯამის ტოლია. ამგვარად, მოლეკულური წონის განსაზღვრისათვის საჭიროა აირის ქიმიური ფორმულისა და მოლეკულის შემადგენელი ატომების ატომწონათა ცოდნა.

შემდეგ ძირითად დებულებას, რომელზედაც ეყარება მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია, წარმოადგენს ის, რომ როგორც ატომებს, ისე მოლეკულებს შორის მოქმედებს ძალები, რომელთა სიდიდე ნივთიერების აგრეგატულ მდგომარეობასთან ერთად იცვლება; საერთოდ ამ ძალებს უდიდესი მნიშვნელობა აქვთ მყარ სხეულებში, შედარებით ნაკლები — თხევად სხეულებში და უმნიშვნელო — აირებში.

დაბოლოს უნდა აღინიშნოს, რომ მოლეკულური თეორიის თანახმად ნივთიერებაში მოლეკულები და ატომები განუწყვეტელ ქაოსურ მოძრაობაში იმყოფებიან. ატომებისა და მოლეკულების ქაოსურ მოძრაობას სითბური მოძრაობა ეწოდება. სწორედ ამ მოძრაობის ინტენსივობითა დაპირობებული სხეულის ტემპერატურა.

მოლეკულთა შორის ერთიმეორის მიმართ მდებარეობაზე მსჯელობისათვის შემოღებულია ცნება ცალკეულ მოლეკულთა შორის საშუალო მანძილისა, რომელზედაც დამოკიდებულია მოლეკულთა შორის მოქმედი შეკიდულობის ძალთა სიდიდე. სხეულის სხედასხვა აგრეგატულ მდგომარეობას — მყარს, თხევადს და აიროვანი — შეესაბამება მოლეკულებს შორის სხედასხვა მანძილი და, მაშასადამე, შეკიდულობის სხედასხვა ძალაც.

მყარი სხეულის თვისებაა შეინარჩუნოს თავისი ფორმა, რომლის შესაცვლელად საჭიროა მეტი ან ნაკლები სიდიდის ძალის გამოყენება. ეს იმით აიხსნება, რომ მყარი სხეულის მოლეკულები ერთმანეთთან შედარებით ახლოს არიან და მოლეკულთა შორის მოქმედი შეკიდულობის ძალები საკმარისად დიდია. მყარ სხეულში ატომები გადატანილ მოძრაობას არ ასრულებენ, არამედ თავისი საშუალო მდებარეობის მიმართ რყევას განიცდიან.

მყარი სხეულის ვათბობით შეგვიძლია იგი თხევად მდგომარეობაში გადავიყვანოთ. თხევად მდგომარეობაში ვადასვლის დროს მოლეკულთა შორის მანძილი იზრდება, შეკიდულობის ძალები კი მცირდება. ამიტომ მოლეკულები უკვე ვადატანილ მოძრაობას ასრულებენ, თუმცა მოლეკულთა შორის მცირე მანძილის გამო, ეს მოძრაობა საკმაოდ შეზღუდულია. თხევად მდგომარეობაში მყოფი სხეული იმით გამოირჩევა, რომ იგი ლებულობის იმ ქურქლის ფორმას, რომელშიაც მოთავსებულია; ამის გარდა, აღსანიშნავია,

რომ სხეული თხევად მდგომარეობაში თავისი ფორმის შეცვლას თითქმის არ ეწინააღმდეგება და რა ფორმაც არ უნდა მიეცეთ განსაზღვრული რაოდენობის სითხეს, მისი მოცულობა ყოველთვის ერთი და იგივე რჩება.

შესაბამ ტემპერატურამდე სითხის შემდგომი გათბობით მივიღებთ სხეულის აიროვან მდგომარეობას, რომლის დროსაც სხეულის მოცულობა მნიშვნელოვნად იზრდება. აირის მოლეკულთა შორის მოქმედი შეჭიდულობის ძალები მეტად მცირეა, მოლეკულები ერთიმეორისაგან მნიშვნელოვანი მანძილითაა დაშორებული და, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, განუწყვეტელ ქაოსურ მოძრაობაშია. როგორც სითხეს, ისე აირს თავისი ფორმა არა აქვს და იმ ქურჭლის ფორმას ღებულობს, რომელშიაც მოთავსებულია იგი. მაგრამ, სითხისაგან განსხვავებით, აირს თავისი საკუთარი მოცულობა არა აქვს და ყოველთვის რაც შეიძლება მეტი მოცულობის დაკავებას ცდილობს. მოცულობის მეტისმეტად გაზრდის დროს მოლეკულთა შორის მოქმედი შეჭიდულობის ძალთა სიდიდე მცირდება და საერთო სითბურ მოძრაობაში მათი როლი უმნიშვნელოა.

აირის მოლეკულთა ქაოსური მოძრაობიდან, რომლის დროსაც არც ერთ მიმართულებას უპირატესობა არა აქვს, გამომდინარეობს შემდეგი თვისებანი:

1. ქურჭელში მოთავსებული აირი კედლებზე თანაბარ დაწოლას ახდენს.

2. ალბეოლ მოცულობაში აირის მოლეკულები თანაბრად ნაწილდებიან, ე. ი. თუ აირს რომელიმე ქურჭელში მოვითავსებთ, მაშინ მოცულობის თანაბარ ნაწილებში მოლეკულთა ერთნაირი რაოდენობა გვექნება.

მაშასადამე, დაკავებულ მოცულობას აირი თანაბრად ავსებს. ეს უკანასკნელი თვითნება ნიშნავს იმას, რომ, თუ ერთ ქურჭელში მოვითავსებთ სხვადასხვა აირს, რომლებიც ერთიმეორესთან ქიმიურ ურთიერთქმედებაში არ მოეღუნ, მაშინ რამდენიმე ხნის შემდეგ, თბური მოძრაობის შედეგად, მთელ მოცულობაში თანაბრად განაწილებული აირების ნარევი შეიქმნება, ე. ი. მივიღებთ ერთგვაროვან ნარევეს.

თბოტექნიკაში მუშა სეულად აიროვანი მდგომარეობის ნივთიერების გარდა, გამოიყენება აგრეთვე ნივთიერება ორთქლისებრ მდგომარეობაში. აღსანიშნავია, რომ აირსა და ორთქლს შორის პრინციპული განსხვავება არ არსებობს. აირი განიხილება, როგორც განსაზღვრული სითხის ორთქლი, რომლის ტემპერატურა გაცილებით მეტია მის კრიტიკულ ტემპერატურაზე. ორთქლი შედარებით აირთან არამდგრადი ნივთიერებაა, მისი პარამეტრების უმნიშვნელო ცვლილების დროსაც კი მას შეუძლია გადავიდეს თხევად მდგომარეობაში და პირიქით, მაშინ როცა აირის მდგომარეობა მდგრადია და კრიტიკულ ტემპერატურაზე მეტი ტემპერატურის დროს მისი გარდაქმნა სითხედ წნევის არაერთგვაროვანი გადიდებით არ შეიძლება.

1-4. აირებისა და ორთქლების მდგომარეობის განსხვავებული სიდიდეები და ტემპერატურის გამოყენებული მათი განყოფილების ერთეულები

აირის თვისებების ერთობლიობა, დროის ალბეოლ მომენტში, მის მდგომარეობას საზღვრავს. აირის ყოველი მდგომარეობა ძირითადად ხასიათდება სამი სიდიდით: წნევით, ტემპერატურითა და ხვედრითი მოცულობით, რომლებსაც აირის მდგომარეობის ძირითადი პარამეტრები ეწოდება. რომელიმე ამ სიდიდეთაგან ერთ-ერთის შეცვლაც კი აირის მდგომარეობის ცვლილებას იწვევს. აღნიშნული პარამეტრები განიხილოთ ცალკე.

წნევა. ქურჭელში მოთავსებული უაირავი მოლეკულა, რომლებიც განუწყვეტლივ ქაოსურ მოძრაობაში არიან და კედლებს ეჯახებიან, აპირობენ წნევას, რომელსაც ქურჭლის კედლები განიცდიან. ამგვარად, აირის წნევა არის მოლეკულების დაჯახების

შედგე იმ ქურკლის კედლებზე, რომელშიაც მოთავსებულია იგი. აღნიშნულ დაჯახებათა და მოლეკულთა რაოდენობა მეტად დიდია, რის გამო შეუძლებელია თითოეულ მოთავსებულ ცალ ცალკე ვადენოთ თვალყური. ჩვენ შეგვიძლია თვალყური ვადენოთ მხოლოდ უამრავი მოლეკულის დაჯახებათა საშუალო შედეგს. მაშასადამე, აირის წნევა სწორედ ამ საშუალო შედეგს წარმოადგენს. ცხადია, რომ სხვადასხვა პირობებში აირის მოქმედება ქურკლის კედლებზე სხვადასხვა იქნება. იმისათვის, რომ გავარკვიოთ და შევადაროთ, თუ რა ძალით მოქმედებს აირი სხვადასხვა პირობებში, საჭიროა განვიხილოთ მისი მოქმედება ფართობის ერთეულზე შესაბამისი პირობებისათვის.

ფართობის ერთეულზე მოქმედ ძალას წნევა ეწოდება. წნევა p ასოთი აღინიშნება. თუ P -თი აღვნიშნავთ ძალას, რომელიც F ფართობზე მოქმედებს, მაშინ წნევა

$$p = \frac{P}{F}$$

წნევის განზომილება განისაზღვრება ძალისა და ფართობის განზომილების ერთეულების შერჩევის მიხედვით. ტექნიკურ თერმოდინამიკაში გამოყენებულია ზომათა ტექნიკური სისტემა, რომელშიაც ძალის ერთეულად მიღებულია კილოგრამი და ფართობის ერთეულად კვადრატული მეტრი. მაშასადამე, წნევის განზომილება იქნება კგ/მ². მაგრამ, რადგან ეს ერთეული სიმცირობის გამო პრაქტიკაში გამოსაყენებლად მოუხერხებელია, ამიტომ ტექნიკაში სარგებლობენ სიდიდით, რომელიც მასზე 10000-ჯერ მეტია; განზომილების ეს ერთეული არის კგ/სმ²; ამ ერთეულს ეწოდება ტექნიკური ატმოსფერო ან უბრალოდ ატმოსფერო და აღინიშნება ატ.

ფიზიკაში წნევის ზომის ერთეულად მიღებულია ზღვის დონეზე ატმოსფერული ჰაერის საშუალო წნევა. იგი შეესაბამება 0°C ტემპერატურის დროს 760 მმ სიმაღლის ვერცხ. წყ. სვეტის დაწოლას თავის ფუძეზე. ამ ერთეულს ფიზიკური ან ბარომეტრული ატმოსფერო ეწოდება.

ყოველ წნევის, გამოსახულს $\frac{\text{ძალა}}{\text{ფართობზე}}$ შეესაბამება სავსებით გარკვეული სიმაღლის ვერცხლისწყლის ან წყლის სვეტის დაწოლა, რომელსაც იგი თავისი წონით ფუძეზე ახდენს. ამიტომ შეგვიძლია წნევა ვერცხლისწყლის ან წყლის სვეტის სიმაღლითაც გამოვსახოთ. მათ შორის დამოკიდებულების დასადგენად დავეუშვათ, რომ გვაქვს სითხის ვერტიკალური სვეტი, რომლის სიმაღლე არის h , ხვედრითი წონა γ და ფუძის ფართობი F . აღებულ შემთხვევაში ფართობზე მოქმედი ძალა სითხის წონის ტოლი იქნება, ე. ი

$$pF = V\gamma,$$

სადაც V სითხის სვეტის მოცულობაა და hF -ის ტოლია. ამ მნიშვნელობის ჩასმით და ორივე მხრის F -ზე გაყოფით, მივიღებთ

$$p = h\gamma. \quad (1-1)$$

გამოყვანილი თანაფარდობის გამოყენებით შეგვიძლია დავამყაროთ დამოკიდებულება ფიზიკურ და ტექნიკურ ატმოსფეროებს შორის. ფიზიკური ატმოსფეროს განსაზღვრის თანახმად

$$h = 760 \text{ მმ ვერცხ. წყ. სვ.} = 0,76 \text{ მ ვერცხ. წყ. სვ. (0°C დროს).}$$

ვერცხლისწყლის ხვედრითი წონა 0°C დროს $\gamma = 13595 \text{ კგ/მ}^3$. (1-1) განტოლებაში ამ მნიშვნელობების ჩასმით, მივიღებთ:

$$p = 0,76 \cdot 13595 = 10333 \text{ კგ/მ}^2 = 1,0333 \text{ კგ/სმ}^2.$$

მაშასადამე,

$$1 \text{ ფიზ. ატ.} = 1,0333 \text{ კგ/სმ}^2 = 1,0333 \text{ ტეჟ. ატ.}$$

ამ თანაფარდობებიდან

$$1 \text{ ტეჟ. ატ.} = \frac{760}{1,0333} = 735,6 \text{ მმ ვერცხ. წყ. სვ.}$$

და

$$1 \text{ ტეჟ. ატ.} = \frac{1}{1,0333} \text{ ფიზ. ატ.} = 0,968 \text{ ფიზ. ატ.}$$

რადგან ტემპერატურის გადიდებისას ვერცხლისწყალი ფართოვდება და იზრდება მისი სვეტის სიმაღლეც, რომელიც განსაზღვრულ წნევას შეესაბამება, ამიტომ ატმოსფერული ჰაერის წნევის განმსაზღვრელ ხელსაწყოს — ვერცხლისწყლიანი ბარომეტრის — ჩვენება დაყვანილი უნდა იქნეს 0°C-ის შესაბამისზე შემდეგი თანაფარდობის გამოყენებით

$$B_0 = B(1 - 0,000172 t), \quad (1-2)$$

სადაც B არის ბარომეტრის ჩვენება ჰაერის t ტემპერატურის დროს და

B_0 — ბარომეტრის ჩვენება 0°C ტემპერატურაზე დაყვანილი. ამ შემთხვევაში ჰაერის წნევა კგ/სმ² გამოსახული იქნება შემდეგნაირად:

$$p = \frac{B_0}{735,6} \text{ კგ/სმ}^2,$$

სადაც B_0 აღებულია მმ ვერცხ. წყ. სვ.

ცხადია, რომ წყლის სვეტის სიმაღლით წნევის გაზომვის დროს შემდეგი თანაფარდობა გვაქვს:

$$p = 1 \text{ ატ.} = 1 \text{ კგ/სმ}^2 = 10000 \text{ კგ/მ}^2 = h \gamma.$$

ენიანიდან წყლისათვის

$$\gamma = 1000 \text{ კგ/მ}^3.$$

ამიტომ

$$h = \frac{p}{\gamma} = \frac{10000}{1000} = 10 \text{ მ.}$$

მაშასადამე, 1 ტეჟ. ატ. = 1 კგ/სმ² = 10 მ წყ. სვ., საიდანაც 1 კგ/მ² = 1 მმ. წყ. სვ.

ანალოგიურად, მივიღებთ

$$1 \text{ ფიზ. ატ.} = 10,333 \text{ მ. წყ. სვ.}$$

უწყტად რომ ითქვას, მოყვანილი თანაფარდობანი სწორია მხოლოდ 4°C ტემპერატურის წყლისათვის, მაგრამ, რადგან წყლის სვეტის სიმაღლით ჩვეულებრივად მცირე წნევები იზომება, ამიტომ წყლისათვის ტემპერატურულ შესწორებას პრაქტიკული მნიშვნელობა არა აქვს.

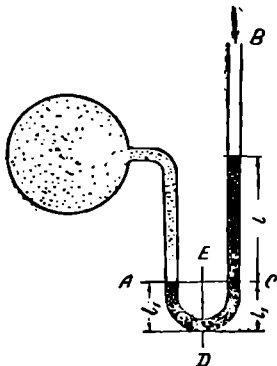
ამგვარად, მიღებული გვაქვს შემდეგი დამოკიდებულებანი:

1 ფიზიკური ატმოსფერო	{	= 760 მმ ვერცხ. წყ. სვ. = 10,333 მ წყ. სვ. = 1,0333 კგ/სმ ² = 10333 კგ/მ ²	1 ტექნიკური ატმოსფერო	{	= 735,6 მმ ვერცხ. წყ. სვ. = 10 მ წყ. სვ. = 1 კგ/სმ ² = 10000 კგ/მ ² = 0,968 ფიზიკ. ატ.
----------------------	---	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------	---	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

ტექნიკურ თერმოდინამიკაში აირის წნევის განზომილებად ჩვეულებრივად ტექნიკურ ატმოსფეროს იყენებენ, ფიზიკურ ატმოსფეროს კი ეგრეთ წოდებულ „ნორმალურ პირობებს“ უფარდებენ.

წნევის გასაზომ უმარტივეს ხელსაწყოს სითხიანი მანომეტრები წარმოადგენს. მუშა სხეულად ამ მანომეტრებში გამოყენებულია ვერცხლისწყალი, წყალი და უფრო იშვიათად სპირტი და სხვა სითხეები. სითხიანი მანომეტრების საშუალებით წნევის გაზომვა მუშა სითხის ღონეთა სხვაობის ათვლაზეა დამყარებული.

დავუშვათ, რომ ჭურჭელი, რომელშიაც მოთავსებულია აირი, შეერთებულია ვერცხლისწყლიანი მოღუნული მილის ერთ ბოლოსთან, მილის მეორე ბოლო კი ღიად არის დატოვებული (ნაკ. 1—1). ამ შემთხვევაში მილში ვერცხლისწყალს მარცხნიდან აწევა აირი, მარჯვნიდან კი ატმოსფერული ჰაერი. თუ ვერცხლისწყლის სიმაღლე მარჯვნივ მეტი იქნება, ვიდრე მარცხნივ, როგორც ეს ნაკვეთზეა ნაჩვენები, ეს იმას ნიშნავს, რომ ჭურჭელში მოთავსებული აირის წნევა უფრო მეტია ატმოსფერულ ჰაერის წნევაზე.



ნაკ. 1—1.

განვიხილოთ წონასწორობის პირობა ED კვეთში. მარცხნიდან ამ კვეთზე მოქმედებს ჭურჭელში მოთავსებული აირისა და l_1 სიმაღლის ვერცხლისწყლის სვეტის წნევა. მარჯვნიდან კი იმავე კვეთზე მოქმედებს $(l_1 + l_2)$ სიმაღლის ვერცხლისწყლის სვეტისა და ატმოსფერული ჰაერის წნევა. რადგან l_1 სიმაღლეები ორივე მხარეს ტოლია, ამიტომ წონასწორობის პირობა შეგვიძლია ED კვეთის მაგიერ AC კვეთში განვიხილოთ. ამ შემთხვევაში წონასწორობის პირობა გვიჩვენებს, რომ ჭურჭელში მოთავსებული აირის წნევა ატმოსფერულზე მეტია l სიმაღლის ვერცხლისწყლის სვეტის წნევის სიდიდით. მა-

შასადანე, l სიმაღლის ვერცხლისწყლის სვეტით გაზომილი წნევა გვიჩვენებს, თუ რამდენით მეტია ჭურჭელში მოთავსებული აირის წნევა ატმოსფერული ჰაერის წნევაზე, ამიტომ ამ წნევას კარბი წნევა ეწოდება.

თუ აღვნიშნავთ კარბ წნევას p_k ით და ატმოსფერული ჰაერის წნევას B თი, მაშინ ჭურჭელში მოთავსებული აირის წნევა, რომელსაც აბსოლუტურ წნევას p_{abs} ვუწოდებთ, ტოლი იქნება

$$p_{abs} = p_k + B. \quad (1-3)$$

რადგან მანომეტრი ისეთი ხელსაწყოა, რომელიც კარბ წნევას ზომავს, ამიტომ ხშირად კარბ წნევას მანომეტრული ეწოდება. ატმოსფერული ჰაერის წნევას ბარომეტრიც ვწოდებთ და ამიტომ B სიდიდეს ბარომეტრული წნევა ეწოდება.

ნაკ. 1—1-ზე გამოსახებულია სითხიანი მანომეტრი; დიდი წნევის გასაზომად გამოყენებულია ზამბარაიანი მანომეტრები, რომლებიც აგრეთვე კარბ წნევას ზომავენ.

როდესაც ჭურჭელში მოთავსებული აირის წნევა ატმოსფერულ წნევაზე ნაკლებია, მაშინ ვერცხლისწყლის მდებარეობა მილში ისეა, როგორც ეს ნაჩვენებია ნაკ. 1—2-ზე, ე. ი. მარცხენა მუხლში ვერცხლისწყლის სიმაღლე უფრო დიდი იქნება, ვიდრე მარჯვენაში. თუ განვიხილავთ AC კვეთში წონასწორობის პირობას, მაშინ დავინახავთ, რომ ატმოსფერული ჰაერის წნევა გაწონასწორებულია ჭურჭელში მოთავსებული აირის აბსოლუტური წნევისა და l სიმაღლის ვერცხლისწყლის სვეტის წნევის ჯამით. თუ ჭურჭელ-

ში მოთავსებული აირის წნევას p_{ab} -ით აღვნიშნავთ, ხოლო ვერცხლისწყლის სვეტის წნევას h -ით, მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ

$$p_{ab} + h = B,$$

საიდანაც

$$p_{ab} = B - h. \quad (1-4)$$

ამ განტოლებიდან ჩანს, რომ ჭურჭელში მოთავსებული აირის წნევა ატმოსფერულ წნევაზე h სიდიდით ნაკლებია; ამ სიდიდეს ვაკუუმში ან გაუხშოება ეწოდება.

ხელსაწყოს, რომელიც ვაკუუმში ზომავს, ვაკუუმ-მეტრი ეწოდება.

მეტად მცირე გაუხშობებს წნევასა ზომებით ხომავენ. ეს უქანასკნელი გამოყენებულია ორთქლის ქვაბების კვამლსადენებში წვეის სიდიდის გასაზომად.

ზემოსენებულიდან გამომდინარეობს, რომ ჰარბი წნევისა და გაუხშობის სიდიდეები დამოკიდებულია ბარომეტრულ წნევაზე, რომელიც დროისა და ადგილის მიხედვით ცვალებადი სიდიდეა; ამის გამო ზემოაღნიშნული სიდიდეები აირის მდგომარეობას ვერ დაახასიათებენ. აქედან ცხადია, რომ ჰარბი წნევა და გაუხშობა ვერ გამოიყენება, როგორც აირის მდგომარეობის პარამეტრი. მაშასადამე, აირის მდგომარეობის პარამეტრს მხოლოდ აბსოლუტური წნევა წარმოადგენს და აირის მდგომარეობის დამახასიათებელ ყოველგვარ თერმოდინამიკურ დამოკიდებულებაში მხოლოდ ის შევა.

ტემპერატურა. სხეულებს მდგომარეობის დახასიათებისათვის მეტად მნიშვნელოვანი სიდიდეა ტემპერატურა, რომელიც ნივთიერების გათბობის ხარისხს ახასიათებს. მაშასადამე, სხეულის ტემპერატურა მისი სითბური ენერჯიის დამახასიათებელია; სითბური ენერჯია კი, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, მოლეკულური და შიგამოლეკულური მოძრაობის ენერჯიაა.

ყოველ მოლეკულას აქვს გადატანითი მოძრაობის განსაზღვრული რაოდენობის კინეტიკური ენერჯია; ეს რაოდენობა კი დამოკიდებულია როგორც სიჩქარეზე, ისე მოლეკულის მასაზე, ხოლო მოლეკულების სიჩქარე ტემპერატურაზე დამოკიდებული. ამგვარად, მოლეკულების გადატანითი მოძრაობის საშუალო კინეტიკური ენერჯია ტემპერატურაზე დამოკიდებული. მაშასადამე, ტემპერატურა მოლეკულების გადატანითი მოძრაობის საშუალო კინეტიკური ენერჯიის ახასიათებს.

როგორც ცნობილია, გადატანითი მოძრაობის კინეტიკური ენერჯია მასისა და სიჩქარის კვადრატის ნამრავლის ნახევრის ტოლია. ამის შესაბამისად საშუალო კინეტიკური ენერჯიისა და ტემპერატურას შორის მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიით დადგენილი შემდეგი თანათარღობა:

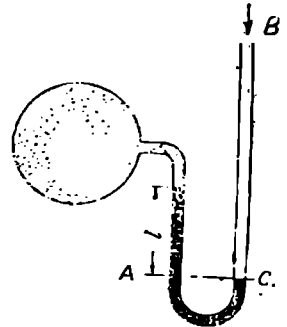
$$\frac{mv^2}{2} = aT, \quad (1-5)$$

სადაც m აირის ერთი მოლეკულის მასა;

v —მოლეკულების გადატანითი მოძრაობის ე. წ. საშუალო კვადრატული სიჩქარე;

T —აბსოლუტური ტემპერატურა;

a —პროპორციულობის კოეფიციენტი.



ნაკ. 1-2

1—5 ფორმულიდან ჩანს, რომ მოლეკულების გადატანითი მოძრაობის სიჩქარის შემცირება იწვევს აბსოლუტური ტემპერატურის შემცირებას. ეს უკანასკნელი ნულის ტოლი გახდება მხოლოდ მაშინ, როდესაც $\gamma = 0$, ე. ი. სხვათადასაძრავად რომ ვთქვათ, $T = 0$ მხოლოდ მაშინ, როდესაც შეწყვეტილი იქნება მოლეკულთა სითბური მოძრაობა, მაშასადამე მოლეკულთა გადატანითი მოძრაობის სიჩქარის შემცირება იწვევს აბსოლუტური ტემპერატურის დაცემას, ხოლო გადიდება—აბსოლუტური ტემპერატურის ზრდას.

სხეულის ტემპერატურას ჩვეულებრივად თერმომეტრებით ზომავენ. რადგან მოლეკულების გადატანითი მოძრაობის კინეტიკური ენერჯია უშუალოდ და მარტივად ვერ გაიზომება, ამიტომ (1—5) განტოლების გამოყენება თერმომეტრების აგებისათვის შეუძლებელია. აირიანი და სითხიანი თერმომეტრების აგებისათვის გამოყენებულია სხეულების თვისება, რომელიც გათბობის დროს მის გაფართოებაში და გაციფების დროს მის შემკუმშვაში მდგომარეობს.

თერმომეტრის სკალის დასადგენად მიღებულია ორი მუდმივი ტემპერატურის შესაბამისი წერტილები; სახელდობრ, ყინულის დნობისა და წყლის დუღილის ტემპერატურა ნორმალური ატმოსფერული წნევის დროს. სკალაზე ყინულის დნობის ტემპერატურა აღნიშნულია 0°C -ით და წყლის დუღილის ტემპერატურა 100°C -ით, ხოლო მათ შორის მანძილი დაყოფილია 100 თანასწორ ნაწილად. ამ სკალას ასე გრადუსიანი (ცელსიუსის) სკალა ეწოდება.

თერმოდინამიკურ გამოკვლევებში მეტად დიდი მნიშვნელობა აქვს ეგრეთწოდებულ აბსოლუტურ (კელვინის) სკალას, ამ სკალაზე ტემპერატურის ათვლას თეორიულად განსაზღვრული აბსოლუტური ნულის მდგომარეობიდან იწყებენ. ეს მდგომარეობა მიჩნეულია, როგორც პრაქტიკულად მიუღწეველი და ამასთან ერთად, როგორც ზემოთ უკვე აღენიშნეთ, ისეთი, რომლის დროსაც შეწყვეტილია მოლეკულების ყოველგვარი მოძრაობა. აბსოლუტურ სკალაზე მუდმივ წერტილებს შორის მანძილი დაყოფილია 100 ნაწილად, ისევე, როგორც ცელსიუსის სკალაზე. ამ სკალის ნული, ყინულის დნობის წერტილიდან, ე. ი. მიღებულ 0°C -დან გადატანილია 273 დანაყოფით ქვემოთ, რომელსაც აბსოლუტური ნული ეწოდება. აბსოლუტურ სკალაზე ათვლილ ტემპერატურას აბსოლუტური ტემპერატურა ყინულის დნობის წერტილიდან ათვლილ ტემპერატურაზე 273° -ით მეტი იქნება და თუ ცელსიუსის სკალით ათვლილ ტემპერატურას აღენიშნავთ t -ით, ხოლო აბსოლუტური სკალით ათვლილ ტემპერატურას T -ით, მაშინ მათ შორის შემდეგ დამოკიდებულებას მივიღებთ

$$T = t + 273. \quad (1-6)$$

აქედან გამომდინარეობს, რომ თუ $t = 0^{\circ}\text{C}$, მაშინ $T = 273^{\circ}\text{K}$ და როდესაც $t = 100^{\circ}\text{C}$, მაშინ $T = 373^{\circ}\text{K}$.

ხვედრითი მოცულობა. ნივთიერების ერთეული წონის მოცულობას ხვედრითი მოცულობა ეწოდება. ტექნიკურ თერმოდინამიკაში მიღებულია ზომის ერთეულების მიხედვით ხვედრითი მოცულობის განზომილება იქნება მ³/კგ, მაშასადამე, ამ შემთხვევაში სხეულის ხვედრითი მოცულობა არის მისი ერთი კილოგრამის მოცულობა გამოსახული კუბურ მეტრობით.

ხვედრითი მოცულობის შექცეულ სიდიდეს, ე. ი. ნიეთიერების ერთეული მოცულობის წონას ხვედრითი წონა ეწოდება; მისი განზომილებაა კგ/მ³. ამგვარად, სხეულის ხვედრითი წონა არის მისი ერთი კუბური მეტრის წონა გამოსახული კილოგრამებით.

თუ გვაქვს V კუბური მეტრი მოცულობის სხეული, რომლის წონაა G კილოგრამი, მაშინ მისი ხვედრითი მოცულობა იქნება

$$v = \frac{V}{G} \text{ მ}^3/\text{კგ}, \quad (1-7)$$

საიდანაც

$$V = G \cdot v \text{ და } G = \frac{V}{v}.$$

სხეულის ხვედრითი წონა იქნება

$$\gamma = \frac{G}{V} \text{ კგ/მ}^3, \quad (1-8)$$

საიდანაც

$$G = V \cdot \gamma \quad \text{და} \quad V = \frac{G}{\gamma}.$$

(1-7) და (1-8) განტოლებების ერთიმეორეზე გამრავლებით, მივიღებთ

$$\gamma \cdot v = 1, \quad (1-9)$$

საიდანაც

$$\gamma = \frac{1}{v} \quad \text{და} \quad v = \frac{1}{\gamma}; \quad (1-9')$$

მაშასადამე, ხვედრითი წონა და ხვედრითი მოცულობა ურთიერთ შორის შექცეული სიდიდეებია.

თ ბ ვ ი 1-2

იდეალური აირები და მათი ძირითადი კანონები

1-6. ცნება იდეალურ აირზე

მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის თვალსაზრისით, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, აირი წარმოადგენს ნიეთიერებას, რომელიც შედგება ქაოსურ მოძრაობაში მყოფი უამრავი მოლეკულისაგან, რომლებზედაც შევიღულობის ძალები მოქმედებენ. აირისებრ მდგომარეობაში ნიეთიერების თვისებების თეორიული შესწავლა, მოლეკულთა შორის ძალთა მოქმედებისა და თვით მოლეკულების მოცულობის მხედველობაში მიღებით, მეტად რთულია. ამიტომ ბუნებრივია, რომ იბადება საკითხი უფრო მარტივი გზით აირის თვისებების შესწავლისა და აირებისათვის მათემატიკური დამოკიდებულებების განსაზღვრის შესახებ, რაც შესაძლებელი ხდება მაშინ, როდესაც ზემოხსენებულ ორ ფაქტორს, სახელდობრ, მოლეკულთა შორის შეჭიდულობის ძალების მოქმედებას და მოლეკულთა საკუთარ მოცულობას მხედველობაში არ მივიღებთ.

აირის მოლეკულთა შორის მანძილი საკმარისად დიდია, რის გამო მოლეკულთა შორის მოქმედი შეჭიდულობის ძალები მეტად მცირეა. ამასთან, ეს ძალები მით უფრო მცირეა, რაც უფრო დაშორებულია აირი თხევადი მდგომარეობიდან. ამის გარდა, ერთი და იგივე აირის მოლეკულთა შორის მოქმედი შეჭიდულობის ძალები, აგრეთვე, მით 2.ზოგადი თბოტექნიკა.

უფრო მცირე იქნება, რაც მეტია აიროს ტემპერატურა და რაც უფრო ნაკლებია წნევა, რომელსაც აირი განიცდის, რადგან ეს ორივე ფაქტორი იწვევს ზრდას აიროს მოცულობისა და, მაშასადამე, მოლეკულთა შორის მანძილისა.

აიროს თვისებების შესწავლისათვის, აგრეთვე, მნიშვნელოვანია აიროს მოცულობასა და მისი შემადგენელი მოლეკულების მოცულობას შორის თანაფარდობა. შედარებით აიროს მოცულობასთან, ე. ი. იმ მოცულობასთან, რომელშიაც მოლეკულები მოძრაობენ (ანუ ჭურჭლის მოცულობასთან, რომელშიაც აირია მოთავსებული), აიროს შემადგენელი მოლეკულების მოცულობა მეტად მცირეა და რაც უფრო გაუზომებულია აირი, მით უფრო ნაკლებია მნიშვნელობა ენიჭება მოლეკულების მოცულობას. ამის გამო, ჭურჭლის მოცულობასთან შედარებით აიროს მოლეკულების საკუთარი მოცულობა შეგვიძლია მხედველობაში არ მივიღოთ და მოლეკულები განვიხილოთ, როგორც მატერიალური წერტილები.

მაშასადამე, ზემოხსენებულის თანახმად, თხევადი მდგომარეობიდან საკმარისად და შორიბული აიროს თვისებების თეორიულად შესწავლისას; მოლეკულთა შორის შევიდულობის ძალების მოქმედება და მოლეკულების მოცულობა შეგვიძლია მხედველობაში არ მივიღოთ. ისეთ აირს, რომლის მოლეკულთა შორის შევიდულობის ძალები არ მოქმედებენ, ხოლო მოლეკულები წარმოდგენილია როგორც მატერიალური წერტილები, რომლებსაც მოცულობა არა აქვთ, იდეალური აირი ეწოდება. თუმცა ბუნებაში ასეთი აირი არ მოიპოვება, მაგრამ მის შესწავლას მაინც დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, რადგან ტენიკაში აირთა უმრავლესობა გამოყენებულია ისეთ მდგომარეობაში, როცა მოლეკულთა შორის შევიდულობის ძალები და მოლეკულთა საკუთარი მოცულობა შესაძლებელია მხედველობაში არ იქნეს მიღებული. აქედან გამომდინარეობს, რომ იდეალური აირად შეგვიძლია ჩავთვალოთ ყოველი აირი, რომლის მოლეკულთა შევიდულობის ძალები და მოცულობა სიმჭირის გამო შეგვიძლია უგულვებელვყოთ. შემდეგში გამოყვანილი კანონები სწორედ ასეთ აირებს შეეხება და ამიტომ მათ იდეალური აიროს კანონები ეწოდება.

ისეთ აირს, რომელიც იდეალური აიროს კანონებს არ ემორჩილება, ე. ი. ისეთს, რომლის მოლეკულთა შევიდულობის ძალებისა და თვით მოლეკულების მოცულობის უგულვებელყოფა არ შეიძლება, რეალური აირი ეწოდება.

საკითხის გადაწყვეტა იმის შესახებ, თუ რომელი აირი ეკუთვნის იდეალურს და რომელი რეალურს, დამოკიდებულია იმ სიზუსტეზე, რომელიც მოთხოვნილია თბოტექნიკური გაანგარიშების დროს. სითბოს მუშაობად გარდაქმნისათვის თბოტენიკაში გამოყენებული ყოველი აირი, გარდა წყლის ორთქლისა, პრაქტიკისათვის დასაშვები სიზუსტით, შეიძლება იდეალურ აირად მივიღოთ. წყლის ორთქლი კი, იმისდა მიხედვით, თუ რა სახით ვხვდებით მას, შეიძლება მიღებულ იქნეს როგორც იდეალურ, ისე რეალურ აირად. როდესაც წყლის ორთქლს ვხვდებით, როგორც წყის ნაწარმის ანდა ატმოსფერული ჰაერის შემადგენელს, მაშინ მას იდეალურ აირად ვთვლით, რადგან ამ შემთხვევაში წყლის ორთქლი მალალი ტემპერატურისა და შედარებით მცირე წნევის პირობებში იმყოფება; მაგრამ, როდესაც წყლის ორთქლს ვხვდებით, როგორც მუშა სხეულს ორთქლის ძრავებში ან თბოგადამცემ აპარატებში, მაშინ მას რეალურ გაზად ვთვლით, რადგან იგი ამ შემთხვევაში საკმარისად ახლოა თხევად მდგომარეობასთან და მნიშვნელოვანი წნევის ქვეშ იმყოფება.

1-6. აირების ძინეტიკური თეორიის ძირითადი ნაძილევა

ტენიკური თერმოდინამიკაში მთელი რიგი ამოცანების გადაწყვეტის დროს გამოყენებული იდეალური აიროს კანონები უპირველესად ექსპერიმენტული გზით იყვნენ დადგენილი. შემდეგში ჩამოყალიბებულმა მოლეკულურ-ძინეტიკურმა თეორიამ ამ კანონების თეორიული მოსაზრებებით გამოყვანის საშუალება მოგვცა.

იდეალური აირის აღნიშნულ კანონებს საფუძვლად დაედო აირთა კინეტიკური თეორიის ძირითადი განტოლება, რომელიც აირის წნევასა, მოლეკულების გადატანით მოძრაობის საშუალო კინეტიკურ ენერჯიასა და მოლეკულების კონცენტრაციას შორის ანალიზური სახით დამოკიდებულებას იძლევა.

როგორც ფიზიკიდან ცნობილია, აღნიშნული დამოკიდებულება შემდეგნაირად გამოისახება:

$$p = \frac{N}{V} \frac{m\bar{w}^2}{3}, \quad (1-10)$$

სადაც $\frac{N}{V}$ არის მოცულობის ერთეულში მოთავსებული მოლეკულთა რაოდენობა, რომელსაც მოლეკულების კონცენტრაცია ეწოდება. თუ ამ სიდიდეს n -ით აღვნიშნავთ, ე. ი. მივიღებთ, რომ

$$n = \frac{N}{V},$$

მაშინ (1-10) გამოსახულებიდან გვექნება

$$p = \frac{nm\bar{w}^2}{3}. \quad (1-11)$$

(1-11) განტოლება შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგნაირადაც:

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m\bar{w}^2}{2}. \quad (1-12)$$

ამ განტოლებაში $\frac{m\bar{w}^2}{2}$ გამოსახულება ერთი მოლეკულის გადატანითი მოძრაობის

საშუალო კინეტიკურ ენერჯიას წარმოადგენს. ამგვარად, (1-12) განტოლება გამოსახავს, რომ აირის წნევა რიცხობრივად მოცულობის ერთეულში მოთავსებულ მოლეკულთა გადატანითი მოძრაობის საშუალო კინეტიკური ენერჯიის ორი მესამედის ტოლია.

(1-12) განტოლების გამოყენების დროს დაშვებულია, რომ ყველა მოლეკულის სიჩქარე ერთი და იგივეა და რაღაც საშუალო w სიჩქარის ტოლია. მაგრამ, როგორც აღნიშნული გვექონდა, მოლეკულები სხვადასხვა სიჩქარით მოძრაობენ; ამის გათვალისწინებისათვის საჭიროა w სიჩქარის განსაზღვრა და (1-12) ფორმულაში მისი მნიშვნელობის ჩასმა. თუ $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ -ით აღვნიშნავთ შემადგენელი მოლეკულების შესაბამის სიჩქარეებს, მაშინ w სიჩქარისათვის, რომელსაც საშუალო კვადრატულ სიჩქარეს ეწოდებთ, გვექნება

$$w = \sqrt{\frac{w_1^2 + w_2^2 + w_3^2 + \dots + w_n^2}{n}}, \quad (1-13)$$

სადაც n მოლეკულთა რიცხვია მოცულობის ერთეულში.

1-7. ბოილ-მარიოტის კანონი

აღვნიშნოთ 1 კგ აირის მოლეკულთა რიცხვი N' -ით და მისი შესაბამისი მოცულობა v -ით, მაშინ n -ის მაგივრად (1-12) განტოლებაში $\frac{N'}{v}$ ჩასმით, მივიღებთ

$$p = \frac{2}{3} \frac{N'}{v} \frac{m\bar{w}^2}{2}, \quad (14)$$

$$p v = \frac{2}{3} N' \frac{m \bar{w}^2}{2}$$

ამის გარდა, თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ $\frac{m \bar{w}^2}{2} = n T$, მაშინ (ა) თანაფარ-
დობა შემდეგნაირად დაიწერება:

$$p v = \frac{2}{3} N' n T. \quad (b)$$

ახლა განვიხილოთ იდეალური აირის ორი მდგომარეობა, რომელთა პარამეტრებია: პირველი მდგომარეობის—წნევა p_1 , ხვედრითი მოცულობა v_1 და ტემპერატურა T_1 , ხოლო მეორისა—წნევა p_2 , ხვედრითი მოცულობა v_2 და ტემპერატურა T_2 . ამ შემთხვევაში (ბ) დამოკიდებულება თითოეული მდგომარეობისათვის შემდეგნაირად გამოისახება:

$$p_1 v_1 = \frac{2}{3} N' n T_1 \quad \text{და} \quad p_2 v_2 = \frac{2}{3} N' n T_2. \quad (c)$$

(c) განტოლებებიდან გამომდინარეობს, რომ, რადგან აირის ალბუმი მასისათვის $N' = \text{const}$ და $n = \text{const}$, ამიტომ, როდესაც $T_1 = T_2$, ე. ი. ტემპერატურა მუდმივია, მაშინ

$$p_1 v_1 = p_2 v_2. \quad (1-14)$$

ალბუმი აირის ორივე მდგომარეობა ნებისმიერად იყო ამორჩეული, ამიტომ შეგვიძლია ზოგადად დავწეროთ

$$p v = \text{const}, \quad (1-15)$$

ე. ი. მუდმივი ტემპერატურის დროს აირის წნევისა და მისი ხვედრითი მოცულობის ნამრავლი მუდმივი სიდიდეა. ეს არის ბოილ-მარიოტის კანონი, რომელიც მათ მიერ წმინდა ექსპერიმენტული გზით იყო მიღებული. ამგვარად, ეს კანონი განსაზღვრული იყო ორი გზით: ექსპერიმენტულად და თეორიულად მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის საფუძველზე, რომელმაც დაადასტურა ექსპერიმენტულად ადრე განსაზღვრული დებულება.

(1-14) განტოლება და, მაშასადამე, (1-15) განტოლება მართებულია აგრეთვე ნებისმიერი რაოდენობის აირისათვის; ამ შემთხვევაში (1-14) განტოლების ორივე მხარე მრავლდება აირის წონაზე და, მაშასადამე, ამ განტოლებებში ხვედრითი მოცულობების მაგიერ შეგვიძლია აირის საერთო მოცულობები ჩავსვათ. აღნიშნული განტოლებები შემდეგ სახეს მიიღებენ:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad \text{და} \quad p V = \text{const}.$$

(1-14) განტოლება შეიძლება შემდეგნაირად გამოისახოს:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{p_2}{p_1}, \quad (1-16)$$

ე. ი. მუდმივი ტემპერატურის დროს აირის ხვედრითი მოცულობა მისი წნევის უკუპროპორციულად იცვლება.

თანხმად (1-9') განტოლებებისა, (1-16) განტოლება გარდაიქმნება შემდეგნაირად:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2}, \quad (1-17)$$

ე. ი. მუდმივი ტემპერატურის დროს აირის ხვედრითი წონა მისი წნევის პირდაპირ პროპორციულად იცვლება.

1-8. გეი-ლუსაკის კანონი

თუ აირის გადასვლა პირველი მდგომარეობიდან მეორეში ისე წარმოებს, რომ წნევა მუდმივი რჩება, ე. ი. $p_1 = p_2$, მაშინ წინა პარაგრაფში მიღებული (c) თანაფარდობების ერთიმეორეზე გაყოფით, მივიღებთ

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}, \quad (1-18)$$

ე. ი. მუდმივი წნევის დროს აირის ხვედრითი მოცულობა მისი აბსოლუტური ტემპერატურის პირდაპირ პროპორციულად იცვლება.

თუ (1-18) განტოლებაში ხვედრითი მოცულობებს ხვედრითი წონებით შევცვლით-მაშინ მივიღებთ

$$\frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{T_1}{T_2}, \quad (1-19)$$

ე. ი. მუდმივი წნევის დროს აირის ხვედრითი წონა მისი აბსოლუტური ტემპერატურის უკუპროპორციულად იცვლება. ზემოთყვანილი (1-18) და (1-19) განტოლებანი გეი-ლუსაკის კანონს გამოსახავენ. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ როგორც ბოილ-მარიოტის კანონს, ასევე გეი-ლუსაკის კანონსაც რეალური აირები ზუსტად არ ემორჩილებიან. ანალოგიურად (1-18) განტოლებისა 1 კგ იდეალური აირის 0°C ტემპერატურიდან t°C ტემპერატურამდე გათბობისას შეიძლება დაიწეროს:

$$\frac{v}{v_0} = \frac{T}{T_0}, \quad (1-18')$$

სადაც v_0 არის 1 კგ აირის მოცულობა ყინულის დნობის წერტილის 0°C შესაბამისი აბსოლუტური ტემპერატურის T_0 დროს. როგორც ფიზიკიდან ცნობილია აირების მოცულობათი გაფართოების კოეფიციენტი მუდმივი წნევის დროს $\alpha = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{273} =$

const. აღნიშნულის საფუძველზე (1-18') განტოლება შეიძლება გარდაიქმნას შემდეგ სახედ:

$$v = v_0 (1 + \alpha t),$$

რომელიც აგრეთვე გეი-ლუსაკის კანონს გამოსახავს.

1-9. ბოილ-მარიოტისა და გეი-ლუსაკის გამართანებული კანონი

აირის მდგომარეობის დამახასიათებელ სიდიდეებს შორის ზემოთყვანილი თანაფარდობების საფუძველზე შეგვიძლია დავადგინოთ ზოგადად პარამეტრებს შორის კავშირი იმ შემთხვევისათვის, როდესაც მათ შორის არც ერთი მუდმივი არ რჩება, ე. ი. როდესაც აირის მდგომარეობის ცვლილების დროს მისი ძირითადი სამივე პარამეტრის მნიშვნელობანი ცვლილებას განიცდიან.

ამისათვის ავიღოთ 1-7 პარაგრაფში გამოყვანილი (c) გამოსახულებები

$$p_1 v_1 = \frac{2}{3} N' B T_1 \quad \text{და} \quad p_2 v_2 = \frac{2}{3} N' B T_2.$$

გავყოთ წვერობრივ პირველი მეორეზე, რის შემდეგ მივიღებთ

$$\frac{p_1 v_1}{p_2 v_2} = \frac{T_1}{T_2},$$

საიდანაც

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2}. \quad (1-20)$$

ამგვარად, იდეალური აირის ერთი მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლის დროს

მისი პარამეტრები ისე იცვლება, რომ აირის ყოველი მდგომარეობისათვის წნევისა და ხვედრითი მოცულობის ნამრავლი, აბსოლუტურ ტემპერატურაზე გაყოფილი, მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს, ე. ი.

$$\frac{pv}{T} = \text{const.} \quad (1-21)$$

ამ გამოსახულებას ბოილ-მარიოტისა და გეი-ლუსაკის გაერთიანებული კანონი ეწოდება.

თუ (1-20) განტოლებაში ხვედრითი მოცულობებს ხვედრითი წონებით შევცვლით, მაშინ იგი შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$\frac{p_1}{\gamma_1 T_1} = \frac{p_2}{\gamma_2 T_2}. \quad (1-22)$$

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ (1-20) განტოლება მართებულია, აგრეთვე, იმ შემთხვევისათვისაც, როდესაც ხვედრითი მოცულობების მაგიერ საერთოდ მოცულობები გვეყენება აღებული.

1-10. იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლება

შემოთ აღენიშნეთ, რომ ზოგად შემთხვევაში, როდესაც აირის მდგომარეობა ისე იცვლება, რომ არც ერთი პარამეტრი მუდმივ სიდიდელ არ რჩება, მაშინ აირის მდგომარეობის პარამეტრების ცვლილება ემორჩილება ბოილ-მარიოტისა და გეი-ლუსაკის გაერთიანებულ კანონს, რომელიც გამოსახება შემდეგნაირად:

$$\frac{pv}{T} = \text{const.}$$

მიღებული გამოსახულება წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს, რომელიც არ არის დამოკიდებული აირის მდგომარეობაზე და დამოკიდებულია მხოლოდ მის ფიზიკურ თვისებებზე. ხსენებული მუდმივი სიდიდის R -ით აღნიშვნით, გვექნება

$$\frac{pv}{T} = R. \quad (a)$$

R სიდიდეს აირის მუდმივ ეწოდება და აირის ყოველივე მდგომარეობისათვის ერთი და იგივე მნიშვნელობა აქვს. ცხადია, რომ (a) განტოლება შეიძლება შემდეგნაირადაც გამოვსახოთ

$$pv = RT. \quad (1-23)$$

ამ განტოლებას იდეალური აირის დამახასიათებელ ან მდგომარეობის განტოლებას უწოდებენ. ეს განტოლება აირის მდგომარეობის დამახასიათებელ p , v და T სიდიდეებს შორის გვაძლევს ზოგად დამოკიდებულებას, რომელიც მართებულია წნევის, ხვედრითი მოცულობისა და ტემპერატურის ყოველი მნიშვნელობისათვის.

ამგვარად, იდეალური აირის დამახასიათებელი განტოლება ძირითადი პარამეტრების ყოველი მნიშვნელობისათვის მართებულია. როდესაც ცნობილია აირის მდგომარეობის დამახასიათებელი ორი პარამეტრი, იგი მესამის განსაზღვრის საშუალებას იძლევა. რადგან აღნიშნულ განტოლებაში შემავალი R სიდიდე აღებული აირისათვის მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს.

R აირის მუდმივას ყოველი აირისათვის სავსებით გარკვეული მნიშვნელობა აქვს და შეიძლება. განისაზღვროს თანათარლობიდან

$$R = \frac{pv}{T}; \quad (1-24)$$

ამის შესაბამისად მისი განზომილება იქნება

$$\frac{\frac{\text{კგ}}{\text{მ}^3} \cdot \frac{\text{მ}^2}{\text{კგ}}}{\text{C}} \text{ ანუ კგ/კგ}^\circ\text{C}.$$

უკანასკნელ გამოსახულებაში კგ მრიცხველში და კგ მნიშვნელში შეკვეცილი არ არის, რადგან პირველი გამოსახავს ძალის განზომილებას, ხოლო მეორე კი ნივთიერების რაოდენობის (მასის) განზომილებას.

(1—23) განტოლება მართებულია ერთი კილოგრამი აირისათვის, რადგან მასში შესულია ν ხედრითი მოცულობა, ე. ი. ერთი კილოგრამი აირის მოცულობა. მაგრამ იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლება შეიძლება, აგრეთვე, გამოყენილ იქნეს ნებისმიერი რაოდენობის აირისათვის. მაგალითად, G კგ რაოდენობის აირისათვის განტოლების მისაღებად (1—23) გამოსახულებაში ჩავსვათ ხედრითი მოცულობის მნიშვნელობა

$$\nu = \frac{V}{G}, \text{ მაშინ } p \frac{V}{G} = RT,$$

საიდანაც

$$pV = GRT. \quad (1-25)$$

ეს უკანასკნელი განტოლება იდეალური აირის დამახასიათებელი განტოლების მეორე სახეა, სახელდობრ, G კგ აირისათვის.

უნდა აღინიშნოს, რომ დამახასიათებელ განტოლებაში მოცულობის განზომილება კუბური მეტრობითაა, რის გამო p წნევის განზომილება უნდა იყოს კგ/მ²; ამიტომ, როდესაც წნევა მოცემულია ატმოსფეროებით, ე. ი. კგ/სმ², მაშინ ამ განტოლებაში წნევის მნიშვნელობის ჩასმის დროს უნდა შევიტანოთ მამრავლი 10⁴, რათა განზომილება მივიღოთ კგ/მ² და განტოლებაში შემაველ განზომილებათა ერთგვარობა არ დაირღვეს. ამასთან უნდა აღვნიშნოთ, რომ დამახასიათებელ განტოლებაში შემაველი წნევა ყოველთვის აბსოლუტურია.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, დამახასიათებელი განტოლება მართებულია მხოლოდ იდეალური აირებისათვის. რეალური აირები კი დამახასიათებელ განტოლებას სცილდება, მით უფრო მეტად, რაც უფრო ნაკლებია აირის ტემპერატურა და მეტია წნევა.

1-11. ავოგადროს კანონი. კილოგრამული ანუ ვოლი

ავოგადრომ ქიმიის მონაცემთა საფუძველზე შემდეგი ჰიპოთეზა ჩამოაყალიბა: აირების ტოლი მოცულობანი ერთნაირი ტემპერატურისა და წნევის დროს, მოლექულთა ტოლ რაოდენობას შეიცავენ.

ამ დებულების დასამტკიცებლად გამოვიყენოთ იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლება (1—10) თანაფარდობის სახით. დავუშვათ, რომ გვაქვს ორი იდეალური აირი ერთნაირი წნევის დროს, ამასთან, პირველის მოცულობა იყოს V_1 , ერთი მოლექულის მასა m_1 , მოლექულთა რიცხვი N_1 და საშუალო კვადრატული სიჩქარე w_1 . მეორე აირისათვის შესაბამისად მივიღოთ V_2 , m_2 , N_2 და w_2 . მაშინ (1—10) განტოლების თანხმად პირველი აირისათვის შეგვიძლია დავწეროთ

$$p = \frac{N_1}{V_1} \frac{m_1 w_1^2}{3} \quad (a)$$

და მეორე აირისათვის

$$p = \frac{N_2}{V_2} \frac{m_2 w_2^2}{3}. \quad (b)$$

რადგან (ა) და (ბ) განტოლებების მარცხენა მხარეები ტოლია, ამიტომ შეგვიძლია დავწეროთ

$$\frac{N_1}{V_1} \frac{m_1 \omega_1^2}{3} = \frac{N_2}{V_2} \frac{m_2 \omega_2^2}{3} \quad (c)$$

მაგრამ პირობის თანახმად ამ ორივე აირის ტემპერატურა ერთი და იგივეა, რის გამო ისინი სითბურ წონასწორობაში იმყოფებიან და მათი მოლეკულების გადატანით მოძრაობის საშუალო კინეტიკური ენერგიაც ტოლია, ე. ი.

$$\frac{m_1 \omega_1^2}{2} = \frac{m_2 \omega_2^2}{2}, \text{ საიდანაც } m_1 \omega_1^2 = m_2 \omega_2^2.$$

ამის გარდა, პირობის თანახმად, აგრეთვე, მოცულობებიც ტოლია, ე. ი. $V_1 = V_2$; ამის გათვალისწინებით (c) განტოლებაში ტოლი ნაწილების შეკვეცით გვექნება

$$N_1 = N_2,$$

რაც ავოგადროს კანონს ადასტურებს.

ავოგადროს კანონი საშუალებას იძლევა დაეამტკიცოთ, რომ ერთი და იგივე ტემპერატურისა და წნევის პირობებში აღებული სხვადასხვა აირის ხვედრით წონათა ფარობა მათი მოლეკულურ წონათა ფარდობის ტოლია.

$$\frac{I_1}{V_1} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \quad \text{ანუ} \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{\mu_1}{\mu_2},$$

საიდანაც

$$\mu_1 V_1 = \mu_2 V_2, \quad (1-26)$$

რაც გვიჩვენებს, რომ ერთი და იმავე წნევისა და ტემპერატურის პირობებში აირის ხვედრითი მოცულობისა და მოლეკულური წონის ნამრავლი ყველა აირისათვის მუდმივი სიდიდეა, ე. ი.

$$\mu v = \text{const.} \quad (1-27)$$

უკანასკნელი გამოსახულების აზრის გამოსარკვევად კილოგრამმოლეკულის ანუ მოლის ცნება შემოვიღოთ.

μ კილოგრამ აირს, სადაც μ აირის მისი მოლეკულური წონა კილოგრამმოლეკულა ანუ მოლი ეწოდება. მისი განზომილების ერთეულია კგ/მოლი.

აღნიშნული ცნების შემოღების შემდეგ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ (1-27) განტოლება, სადაც v აირის აირის ხვედრითი მოცულობა და μ კილოგრამობით გამოსახული წონითი რაოდენობა, ერთი კილოგრამმოლეკულის ანუ ერთი მოლის მოცულობას გამოსახავს. მისი განზომილება შესაბამისად მ³/მოლი იქნება.

ამგვარად, (1-27) განტოლება გვიჩვენებს, რომ ერთი და იგივე წნევისა და ტემპერატურის პირობებში ერთი მოლის მოცულობა ყველა აირისათვის ერთი და იგივეა. ამიტომ მაგალითისათვის, თუ ერთი და იმავე წნევისა და ტემპერატურის პირობებში ავიღებთ (მიახლოებით) 28 კგ აზოტს, 32 კგ ეანგბადს და 44 კგ ნახშირორჟანგს, მაშინ მათი მოცულობები ერთიმეორის ტოლი იქნება. მაშასადამე, თუ რაიმე პირობებში რომელიმე აირის ერთი მოლის მოცულობას განვსაზღვრავთ, მაშინ, ცხადია, რომ ამით იმავე პირობებში სხვა აირის ერთი მოლის მოცულობაც განვსაზღვრული იქნება. ნებისმიერად აღებული რომელიმე აირის ერთი მოლის მოცულობის განსაზღვრა მიღებულია ეგრეთ წოდებულ „ნორმალური პირობებისათვის“, რომელიც აირისათვის გამოისახება შემდეგი სიდიდეებით:

$$p = 760 \text{ მმ ვერცხ.წყ. სვ.} = 1,0333 \text{ ტმქ. ატ.} = 1 \text{ ფიხ. ატ. და } t = 0^\circ\text{C} = 273^\circ\text{K}.$$

განსაზღვრეთ აზოტის ერთი მოლის მოცულობა ნორმალური პირობებისათვის. აღნიშნულ პირობებში აზოტის ხვედრითი მოცულობა ტოლია $v=0,796$ ნ. მ³/კგ, მისი კილოგრამმოლკულა = 28 კგ/მოლი. ამ მნიშვნელობების (1—27) განტოლებაში ჩასმით მივიღებთ

$$0,796 \cdot 28 = 22,4 \text{ ნ. მ}^3/\text{მოლი.}$$

ამგვარად, ნორმალურ პირობებში ერთი მოლის მოცულობა ყველა იდეალური აირისათვის ერთი და იგივეა და გამოისახება შემდეგნაირად:

$$\mu v = 22,4 \text{ ნ. მ}^3/\text{მოლი.} \quad (1-28)$$

ამ გამოსახულებაში ნ. მ³ აღნიშნავს იმას, რომ აირის მოცულობა აღებულია კუბურ მეტრობით ნორმალური პირობების დროს.

თუ ვიცით აირის მოლკულური წონა, მაშინ (1—28) განტოლება ნორმალური პირობებისათვის ნებისმიერად აღებული აირის ხვედრითი მოცულობისა და ხვედრითი წონის განსაზღვრის საშუალებას იძლევა. (1—28) განტოლების გარდაქმნით გვექნება

$$v = \frac{\mu v}{\mu} = \frac{22,4}{\mu} \text{ და } \gamma = \frac{\mu}{22,4}.$$

1-12. აირის უნივერსალური მუდმივა. მდგომარეობის განტოლება მათი მთლიანი იდეალური აირისათვის

აირის ერთი მოლის მოცულობის განსაზღვრის შემდეგ, შეგვიძლია აირის მუდმივა ყოველი აირისათვის მოლკულური წონის საშუალებით გამოვთვალოთ.

აირის მუდმივასათვის მდგომარეობის განტოლებიდან გვაქვს გამოსახულება

$$R = \frac{pv}{T}. \quad (a)$$

როგორც უკვე ცნობილია, ეს დამოკიდებულება თავის მნიშვნელობას აირის ნებისმიერი მდგომარეობისათვის ინარჩუნებს, რის გამოც აირის მუდმივა შეგვიძლია ნორმალური პირობებისათვის განესაზღვროთ, ამისათვის (a) გამოსახულებაში ჩავსვათ შემდეგი მნიშვნელობანი:

$$p = 10333 \text{ კგ/მ}^2, \quad T = 273^\circ \text{ K და } v = \frac{22,4}{\mu}.$$

ამ მნიშვნელობების ჩასმით (a) გამოსახულებაში, მივიღებთ

$$R = \frac{10333 \cdot 22,4}{273 \cdot \mu} = \frac{848}{\mu}$$

ამგვარად,

$$R = \frac{848}{\mu}, \quad (1-29)$$

საიდანაც ყოველი აირის მუდმივა მოლკულური წონის საშუალებით განისაზღვრება.

(1—29) განტოლებიდან

$$\mu R = 848. \quad (1-30)$$

აქედან კი შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ μR ნამრაველი ყველა აირისათვის ერთი და იგივე სიდიდეა და 848-ის ტოლია. ამიტომ მას აირის უნივერსალური მუდმივა ეწოდება. როგორც ვხედავთ, აღნიშნული სიდიდე წარმოადგენს აირის მუდმივას ერთი მოლი აირისათვის. მისი განზომილებაა კგ/მოლი⁰ C.

მიღებული თანაფარდობების საშუალებით შეგვიძლია აირის მდგომარეობის დამახასიათებელი განტოლება ერთი მოლი აირისათვისაც გამოვიყენოთ. ამისათვის საჭი-

როს ერთი კგ აირისათვის აღებული მდგომარეობის განტოლების ორივე მხარე მოლეკულურ წონაზე გავამრავლოთ, რის შემდეგ მივიღებთ

$$p\mu = \mu RT. \quad (b)$$

მაგრამ, რადგან $\mu R = 848$, ამიტომ (b) თანაფარდობა მიიღებს ასეთ სახეს

$$p\mu = 848 T. \quad (1-31)$$

ამ გამოსახულებას ეწოდება მდგომარეობის განტოლება ერთი მოლი იდეალური აირისათვის. ეს განტოლება p , T პარამეტრებსა და μ ერთი მოლი მოცულობის შორის დამოკიდებულებას გვაძლევს.

1-13. რეალური აირების თვისებანი. რეალური აირის მდგომარეობის განტოლება ვან-დერ-ვალსისა

ჩემოთ ჩვენ განვიხილეთ აირის თვისებანი და კანონები, რომლებმაც წარმოდგენა მოგვცეს იდეალურ აირზე, როგორც ქაოსურად მოძრა და ურთიერთ შორის კავშირის გარეშე უამრავი მოლეკულებისაგან შემდგარ ნივთიერებაზე; დაშვებული გვექონდა, რომ აირის მოლეკულებს შორის არ მოქმედებენ შეჭიდულობის ძალები და ამის გამო აირის მთელი შიგა ენერგია—კინეტიკურ ენერგიას წარმოადგენდა. ამ ჰიპოთეზების საფუძველზე აგებული გვექონდა აირების მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია.

მაგრამ დიდი რაოდენობისა და მეტად ზუსტმა გამოკვლევებმა დიდი ხანია რაც უკვე გამოაშკარავეს იდეალური აირების კანონებიდან მნიშვნელოვანი გადახრები, განსაკუთრებით მალალი წნევისა და დაბალი ტემპერატურის პირობებში.

მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის თვალსაზრისით, რეალური აირების გადახრები გასაგები გახდება, თუ წარმოვიდგენთ, რომ დიდი წნევების დროს აირის მოლეკულები ერთმანეთს მეტად უახლოვდებიან, მათ შორის მანძილები მცირე ხდებიან და ამიტომ ერთმანეთზე ზეგავლენას ახდენენ; მოლეკულების გადატანითი მოძრაობის კინეტიკურ ენერგიასთან ერთად მათი მიზიდულობის ძალების პოტენციური ენერგიაც თავს იჩენს.

ამგვარად, კინეტიკური თეორიის საფუძველზე გამოყვანილი, აირის დამახასიათებელი განტოლება

$$p\mu = RT$$

მართებულია მხოლოდ იდეალური აირებისათვის. სინამდვილეში არსებულ ვაზებს კი, რომლებიც ისეთ პირობებში იმყოფებიან, რომ დაუშვებელია მოლეკულების მოცულობისა და შეჭიდულობის ძალების უგულვებლყოფა, ვიხილავთ როგორც რეალურ აირებს და იდეალური აირის დამახასიათებელ განტოლებას მათთვის ვერ გამოვიყენებთ.

რეალური აირების თვისებების გამოსარკვევად და მათი p , v და T პარამეტრებს შორის კავშირის დასამყარებლად საჭიროა მხედველობაში მივიღოთ მოლეკულების მოცულობა და მათ შორის არსებული ურთიერთქმედება. ამისათვის განვიხილოთ იდეალური აირის დამახასიათებელი განტოლება და გამოვარკვიოთ, თუ რა გავლენას მოახდენენ მასზე ზემოაღნიშნული.

დავუშვათ, რომ v მოცულობის ტურქელში მოთავსებულია 1 კგ აირი, რომლის ტემპერატურაა T . თუ აღებულ აირს იდეალურ აირად ჩავთვლით, მაშინ მისი წნევა განისაზღვრება გამოსახულებიდან

$$p = \frac{RT}{v}. \quad (a)$$

მაგრამ, თუ გვაქვს არა იდეალური აირი, არამედ რეალური, მაშინ ამ განტოლებაში უნდა შევიტანოთ შესწორებანი, რომლებსაც მივიღებთ მისი მოლეკულების მოცულობის

და ურთიერთქმედების გათვალისწინების შედეგად. ჯერ განვიხილოთ, თუ რა გავლენას მოახდენს (α) განტოლებით განსაზღვრულ წნევაზე მხოლოდ მოლეკულების მოცულობა სხვა დანარჩენი პირობების შენარჩუნების დროს. განსხვავებით იდეალური აირისაგან, რომლის მოლეკულებს შეეძლო v მოცულობის ყოველ ნაწილში მოხვედრილიყო, რეალური აირის მოლეკულების ყველგან მოხვედრა შეუძლებელია, რადგან თვით მოლეკულებს გარკვეული მოცულობა აქვთ დაკავებული. ამის გამო მოლეკულების მიერ განვიხილი გზა ურთიერთ შორის და კედელთან დაჯახებისას შემოკლებულია, და ამიტომ დაჯახებათა რიცხვი იზრდება; ეს კი გამოიწვევს იმას, რომ წნევა, რომელსაც ჩვენ ვიხილავთ, როგორც მოლეკულთა დაჯახების შედეგს, (α) გამოსახულებით განსაზღვრულზე მეტი იქნება. მაშასადამე, რეალური აირებისათვის

$$p > \frac{RT}{v}.$$

ამ წნევის გამოსათვლელად საჭიროა განსაზღვროთ მოცულობის ის ნაწილი, რომელშიაც შეუძლია მოლეკულებს გადაადგილება. აღებულ შემთხვევაში განსხვავებას შეადგენს მხოლოდ ის, რომ მოლეკულებს შეუძლია გადაადგილება აირის არა მთელ მოცულობაში, არამედ მხოლოდ მის ნაწილში, რომელიც თვით მოლეკულებს დაკავებული არა აქვთ. აქედან კი გამომდინარეობს, რომ რეალური აირის შემთხვევაში თითქოს ჭურჭლის მოცულობა შემცირებულია რაღაც b სიდიდით, რომელიც დამოკიდებულია თვით მოლეკულების მოცულობაზე. ამგვარად, v მოცულობის რეალური აირი შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც $v - b$ მოცულობის იდეალური აირი და მისი განტოლება მხოლოდ მოცულობაზე შესწორებული, იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლებაში v -ს მაგიერ $v - b$ სიდიდის ჩასმით, მივიღოთ. მაშასადამე,

$$p = \frac{RT}{v - b}. \quad (b)$$

გასაგებია, რომ როდესაც იდეალური აირს ვიხილავთ, მაშინ $b = 0$. იმავე (b) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ, რაც მეტი იქნება b სიდიდე, მით უფრო მეტ გადახვევას ექნება ადგილი იდეალური გაზის დამახასიათებელ განტოლებიდან.

გარდა იმ შესწორებისა, რომელიც ჩვენ შევიტანეთ აღნიშნულ განტოლებაში, სახელობრ, მოცულობაზე შესწორებისა, რეალური აირისათვის საჭიროა, აგრეთვე, მოლეკულებს შორის ურთიერთქმედებასთან დაკავშირებული შესწორებაც შევიტანოთ.

როდესაც აირის წნევა მცირეა და, მაშასადამე, მოცულობა შედარებით დიდი, მაშინ აირის მოლეკულები ერთიმეორისაგან დიდი მანძილით არიან დაშორებული და მათ შორის მოქმედი მოქმედულობის ძალები მეტად მცირეა. მაგრამ დიდი წნევების შემთხვევაში აირის მოცულობა მცირდება, მოლეკულები ერთიმეორეს უახლოვდება და მათ შორის მოქმედებს მიზიდულობის ძალები. განსხვავებით იდეალური აირისაგან, რომლის ყოველი მოლეკულის მოძრაობის სიჩქარე დაჯახებათა შორის მთელი დროის მონაკვეთზე მუდმივი სიდიდეა და საშუალო სიჩქარის ტოლია, რეალური აირის მოლეკულა დაჯახების წინ, როდესაც მეორე მოლეკულის მიზიდულობის არეში მოხვდება, უფრო მეტი სიჩქარით დაიწყებს მოძრაობას, ე. ი. მისი სიჩქარე საშუალო სიჩქარეზე მეტი გახდება. დანარჩენი შემთხვევაში კი მოლეკულის სიჩქარე საშუალო სიჩქარეზე ნაკლები იქნება. აქედან კი გამომდინარეობს, რომ რეალური აირის მოლეკულის სიჩქარე კედელზე დაჯახების დროსაც საშუალოზე ნაკლებია, რის გამო იმპულსი, რომელსაც იგი კედელს ანიჭებს, იდეალური აირთან შედარებით, უფრო ნაკლები იქნება და რეალური აირის წნევაც იდეალური აირის წნევაზე ერთი და იმავე ტემპერატურის დროს უფრო ნაკლები

იქნება. თუ შევიდულობის ძალთა შიერ გამოწვეული წნევის შესწორებას გავითვალისწინებთ და მას Δp -თი აღვნიშნავთ, მაშინ (b) გამოსახულებაში ამ შესწორების შეტანით გვექნება

$$p = \frac{RT}{v-b} - \Delta p,$$

საიდანაც

$$p + \Delta p = \frac{RT}{v-b}$$

და

$$(p + \Delta p)(v - b) = RT \quad (c)$$

ახლა განვსაზღვროთ თუ რას წარმოადგენს ამ გამოსახულებაში შემავალი Δp სიდიდე. მოლეკულებს შორის მიზიდულობის ძალები ცდილობენ დაახლოვონ მოლეკულები, ე. ი. აიჩი შეკუმშონ. ამ შემთხვევაში გარე p წნევის გარდა თითქოს აიჩი მოქმედებს კიდევ რაღაც Δp შიგა წნევა, გამოწვეული მოლეკულების მიზიდულობის ძალებით. ამაში გარკვევისათვის მოვიგონოთ, რომ მოლეკულები მთელ მოცულობაში თანაბრად არიან განაწილებული და რადგან აღნიშნული მიზიდულობის ძალები მოლეკულებზე ყველა მიმართულებით თანაბრად მოქმედებენ, ამიტომ მათი ტოლქმედი ნულის ტოლი იქნება, ე. ი. ისინი ერთმეორეს გააბათილებენ. ეს დასკვნა მართებულია გარდა იმ მოლეკულებისათვის, რომლებიც ჭურჭლის კედლებთან იმყოფებიან, რადგან მოლეკულები მხოლოდ ერთ მხარეს არიან მოთავსებული, და ამის გამო მოლეკულაზე მოდებული მიზიდულობის ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლი არ იქნება და აიჩის შიგნით იქნება მიმართული. აქედან კი გამომდინარეობს, რომ კედელთან მოთავსებული მოლეკულები მიიხილება აიჩის შიგნით, რის გამო აიჩი მოქმედ გარე p წნევას მოლეკულების მიზიდულობის ძალებით გამოწვეული დამატებითი შიგა Δp წნევა ემატება. დამატებითი შიგა წნევა დამოკიდებულია როგორც მისაზიდავი, ისე მიმზიდველი მოლეკულების რიცხვზე. მოლეკულების რაოდენობა კი პირდაპირ პროპორციულია ხედრითი წონისა და უკუპროპორციულია ხედრითი მოცულობისა. თუ პროპორციულობის კოეფიციენტს აღვნიშნავთ a -თი, მაშინ

$$\Delta p = \frac{a'}{v^2},$$

რომელსაც შიგა წნევა ეწოდება. (c) გამოსახულებაში Δp -სიდიდის მნიშვნელობის ჩასმით, მივიღებთ

$$\left(p + \frac{a}{v^2} \right) (v - b) = RT. \quad (1-32)$$

მიღებული სახის მდგომარეობის განტოლებას ვან-დერ-ვალსის განტოლება ეწოდება.

თუ გავი შეტად გაუხშობელია, რაც შესაძლებელია იმ შემთხვევაში, როდესაც p შეტად მცირეა ან T შეტად დიდი, მაშინ b შედარებით v -სთან და $\frac{a}{v^2}$ შედარებით p -სთან შეტად მცირე სიდიდეები იქნებიან, რის გამო შეგვიძლია ისინი მხედველობაში არ მივიღოთ და ნულის ტოლი ჩავთვალოთ. ასეთი დაშვებებით (1-32) განტოლება გარდაიქმნება იდე-

ალური აირის დამახასიათებელ განტოლებად. მაშასადამე, რაც ნაკლებია წნევა და რაც მეტია ტემპერატურა, მით უფრო უახლოვდება აღებული აირი იდეალურ აირს.

ვან-დერ-ვალსის განტოლება ზოგიერთ შემთხვევაში ცდის მონაცემებისაგან მნიშვნელოვან გადახრებს იძლევა, განსაკუთრებით წყლის ორთქლისათვის. ამიტომ არაერთხელ ჩატარებულა ცდები ვან-დერ-ვალსის განტოლებას დაზუსტებისათვის.

რეალური აირების პარამეტრთა შორის კავშირის დასამყარებლად და შესაბამისი განტოლების მოსაცემად საბჭოთა კავშირში მუშაობა ჩატარა პროფესორებმა ვუკალოვინმა და ნოვიკოვმა, რომლებმაც მოლეკულთა შორის შევიდულობის ძალთა მოქმედებისა და თვითმოლეკულების მოცულობათა გარდა, გაითვალისწინეს აგრეთვე მოლეკულების ასოციაცია, რაც ერთეული მოლეკულების ერთმაგ და სამმაგ მოლეკულებად გაერთიანებებში მდგომარეობს. მაშასადამე, თუ ასოციაციას მხედველობაში მივიღებთ, მაშინ აირი ერთ-გვაროვანი კი არ არის, არამედ წარმოადგენს აირების ნარევის, რომელიც ერთმაგი, ორმაგი და სამმაგი და ა. შ. მოლეკულებისაგან შედგება.

მხოლოდ ორმაგი მოლეკულების გათვალისწინებით პროფ. მ. პ. ვუკალოვიჩმა რეალური აირისათვის მოგვცა შემდეგი განტოლება:

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT \left(1 - \frac{Cp}{T^2} \frac{5 + 2m}{2}\right), \quad (1-33)$$

სადაც C არის მუდმივა, ხოლო m ორმაგი მოლეკულის თვისებების განმსაზღვრელი სიდიდე.

თ ბ ვ ი 1-3

აირების ნარევი

1-14. სნება აირების ნარევი. დალტონის ძანონი

აირის ძრავებში მუშაობად სიბოზს გარდაქმნისას მუშა სხეულად გამოყენებულია სხვადასხვა აირის ნარევი. აირების ნარევის, აგრეთვე, ეხვედებით ორთქლძალოვან დანადგარებში; ამ შემთხვევაში ქვების საცეცხლეში სათბობის დაწვის შედეგად მიღებული ცხელი აირების ნარევი წყლის ორთქლის მისაღებად გამოიყენება. თვით წყლის ორთქლი კი, განსხვავებით აირების ნარევისაგან, წარმოადგენს ერთგვაროვან აირს, რომელიც, როგორც მუშა სხეული, ორთქლის ძრავებშია გამოყენებული.

თბოტექნიკაში აირების ნარევის თითქმის ყოველთვის ისეთ მდგომარეობაში ეხვედებით, როდესაც მისი მდგენელი აირები თხევადი მდგომარეობიდან საკმაოდ დაცილებული არიან, რის გამო აირების მთელ ნარევის ვიზილატ როგორც იდეალურ აირს. ამიტომ აირების ნარევისათვის ვიყენებთ ბოილ-მარიოტისა და გვი-ალუსაკის ძანონებს, რომლებსაც აირების ნარევის საემარისი სიზუსტით ემორჩილებიან. აირების ნარევის პარამეტრებს შორის დამოკიდებულების გამოსასახავად კი მდგომარეობის განტოლებას ვიყენებთ.

აირების კინეტიკური თეორიის ძირითადი განტოლების გამოყენების დროს მხედველობაში გვქონდა მიღებული ერთგვაროვანი აირი. ახლა კი ვანვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც მოცემულია არაერთგვაროვანი აირი.

დავუშვათ, რომ ჭურჭელში მოთავსებულია აირების ნარევი, რომლის მდგენელი აირები ერთმანეთზე ქიმიურად არ მოქმედებენ. ამ შემთხვევაში თუ აღვნიშნავთ ნარევის

მოლეკულის მასას m -ით, ნარევის მდგენელი აირების მოლეკულების მასას m_1, m_2, \dots, m_n ხოლო შესაბამისად საშუალო კვადრატულ სიჩქარეებს კი w, w_1, w_2, \dots, w_n , მაშინ აირის მთელ მასაში ტემპერატურათა თანასწორობის გამო, ყოველი მდგენელი აირის მოლეკულების კინეტიკური ენერგიები ერთიმეორისა და, ამასთანავე, ალგებრული მთელი ნარევის მოლეკულების კინეტიკური ენერჯიის ტოლი იქნება, ე. ი.

$$\frac{m_1 w_1^2}{2} = \frac{m_2 w_2^2}{2} = \dots = \frac{m_n w_n^2}{2} = \frac{m w^2}{2}. \quad (a)$$

თანახმად იმ დაშვებისა, რომ აირების ნარევის ვიხილათ, როგორც იდეალურ აირს, შეგვიძლია აირების კინეტიკური თეორიის ძირითადი განტოლების საფუძველზე, ნარევის საერთო წნევისათვის დავწეროთ:

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m w^2}{2},$$

სადაც n ნარევის მოცულობის ერთეულში მოთავსებულ მოლეკულთა რიცხვია, მაშასადამე,

$$n = n_1 + n_2 + \dots$$

თავის მხრით, n_1, n_2, \dots ნარევიში შემავალი აირების კონცენტრაციას, ე. ი. მოცულობის ერთეულში მოთავსებულ მოლეკულთა რიცხვს წარმოადგენს. მაშასადამე, თუ N_1, N_2, \dots, N_n -ით ნარევის მდგენელი აირების მოლეკულების რაოდენობას აღვნიშნავთ, მაშინ

$$n_1 = \frac{N_1}{V}; \quad n_2 = \frac{N_2}{V};$$

შემოდანიშნულს თანახმად შეგვიძლია ნარევის წნევის გამოსახულება შემდეგნაირად გარდავქმნათ:

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m w^2}{2} = \frac{2}{3} (n_1 + n_2 + \dots) \frac{m w^2}{2}$$

საიდანაც (a) გამოსახულების მხედველობაში მიღებით, გექნება:

$$p = \frac{2}{3} n_1 \frac{m_1 w_1^2}{2} + \frac{2}{3} n_2 \frac{m_2 w_2^2}{2} + \dots$$

ამ გამოსახულების მარჯვენა ნაწილის ყოველი წევრი იმ წნევას წარმოადგენს, რომელიც ყოველ მდგენელ აირს ექნებოდა, რომ ნარევის ტემპერატურის დროს მას მთელი მოცულობა დაეკავებინა. ამ წნევას პარციალური წნევა ეწოდება. თუ ნარევიში შემავალი აირების პარციალური წნევებს p_1, p_2, \dots, p_n -ით აღვნიშნავთ, მაშინ

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n, \quad (1-34)$$

რაც დალტონის კანონს გამოსახავს. მაშასადამე, დალტონის კანონის თანახმად ნარევის წნევა მდგენელი აირების პარციალური წნევების ჯამის ტოლია.

ამგვარად, აირების ნარევის დამახასიათებელ თავისებურებას ის წარმოადგენს, რომ ქიმიური რეაქციების გარეშე, ყოველი აირი ისე მოქმედებს, თითქოს ნარევის ტემპერატურის დროს მთელი მოცულობა მხოლოდ მას ეკავოს.

დალტონის კანონი, ისევე როგორც იდეალური აირის სხვა კანონები, მაღალი წნევისა და დაბალი ტემპერატურის პირობებში არასაკმაო ზუსტ შედეგებს იძლევა.

1—15. აირების ნარევის შემდგენილობა ფონითი და მოცულობითი ნაწილებით

აირების ნარევის თვისებების განხილვისათვის და იდეალური აირებისათვის მიღებული კანონებისა და თანფარდობების გამოსაყენებლად, საჭიროა ვიცოდეთ განსაზღვრა ნარევის მუდმივასი, მოლეკულური წონისა და ხვედრითი მოცულობის.

აირების ნარევის ზემოაღნიშნული დამახასიათებელი სიდიდეების განსაზღვრისათვის კი საჭიროა ვიცოდეთ აირის შედგენილობა, რომელიც შეიძლება მოცემული იყოს როგორც წონითი, ისე მოცულობითი ნაწილებით ანდა მდგენელი აირების მოლეზის რიცხვით.

განვიხილოთ ჯერ ისეთი შემთხვევა, როდესაც აირი მოცემულია წონითი ნაწილებით. წონითი ნაწილი ეწოდება მდგენელი აირის წონისა და ნარევის წონის ფარდობას. თუ გვაქვს ნარევი, რომლის საერთო წონაა G კგ და მისი მდგენელი აირების წონები შესაბამისად G_1, G_2, \dots, G_n , მაშინ წონითი ნაწილები, რომლებიც g_1, g_2, \dots, g_n -ით აღინიშნება, გამოისახება შემდეგნაირად:

$$g_1 = \frac{G_1}{G}, \quad g_2 = \frac{G_2}{G}, \quad \dots, \quad g_n = \frac{G_n}{G}$$

ცხადია რომ

$$G = G_1 + G_2 + \dots + G_n$$

ამ გამოსახულების ორივე მხრის G -ზე გაყოფით, მივიღებთ

$$1 = \frac{G_1}{G} + \frac{G_2}{G} + \dots + \frac{G_n}{G}$$

საიდანაც შესაბამისად წონითი ნაწილების ჩასმით, გვექნება

$$g_1 + g_2 + \dots + g_n = 1,$$

ანუ

$$\sum_{i=1}^n g_i = 1. \quad (1-35)$$

მოცულობითი ნაწილებით აირების ნარევის შედგენილობის ასეთივე წესით განსაზღვრისათვის, საჭიროა მივღელობაში მივიღოთ, რომ ერთი და იგივე მოცულობის აირს, მისი მდგომარეობის დამახასიათებელი პარამეტრების მიხედვით შეიძლება სხვადასხვა წონა ჰქონდეს. ამიტომ განსაზღვრებლად იმისა, თუ რა ნაწილს შეადგენს ნარევიში შემაჯავალი ყოველი აირის მოცულობა მთელი ნარევის მოცულობასთან შედარებით, საჭიროა მათი მოცულობების ერთნაირ პირობებზე დაყვანა, სახელდობრ, ნარევის წნევისა და ტემპერატურის პირობებზე. მდგენელი აირის ასეთ მოცულობას დაყვანილი მოცულობა ეწოდება.

მოცულობითი ნაწილებით აირების ნარევის განსაზღვრისათვის განვიხილოთ მისი მდგომარეობა ნარევის პირობებზე დაყვანამდე და დაყვანის შემდეგ.

პირველი შემთხვევისათვის, დალტონის კანონის თანახმად, ნარევის მდგენელი ყოველი აირი ნარევის ტემპერატურის დროს თავისი პარციალური წნევის ქვეშ იმყოფება; ამასთან, ივლისსხმება, რომ ყოველ აირს ნარევის ძთელი მოცულობა უკავია. თუ p_1, p_2, \dots, p_n -ით აღვნიშნავთ პარციალურ წნევებს, მაშინ მდგენელი აირების დამახასიათებელი პარამეტრები გამოისახება შემდეგნაირად:

$$p_1, V, T; \quad p_2, V, T; \quad \dots, \quad p_n, V, T.$$

თუ V_1, V_2, \dots, V_n -ით აღვნიშნავთ ნარევის მდგენელი აირების დაყვანილ მოცულობებს, რომლებიც შეესაბამება ნარევის p წნევასა და T ტემპერატურას, მაშინ დაყვანის შემდეგ ცალკეული აირების დამახასიათებელ პარამეტრებად გვექნება

$$p, V_1, T; \quad p, V_2, T; \quad \dots, \quad p, V_n, T.$$

რადგან განხილულ მდგომარეობებისათვის ტემპერატურა ერთი და იგივეა, ამიტომ ყოველი აირისათვის ბოილ-მარიოტის კანონის თანახმად შეგვიძლია დავწეროთ

საიდანაც
$$p_1 V = V_1 p; \quad p_1 V = V_2 p; \quad p; \dots p_n V = V_n p,$$

$$V_1 = \frac{p_1 V}{p}; \quad V_2 = \frac{p_2 V}{p}; \quad \dots V_n = \frac{p_n V}{p}.$$

ამ უკანასკნელი გამოსახულებების შეკრებით, მივიღებთ

$$V_1 + V_2 + \dots + V_n = \frac{(p_1 + p_2 + \dots + p_n) V}{p}. \quad (a)$$

მაგრამ, რადგან დალტონის კანონის თანახმად

$$p_1 + p_2 + \dots + p_n = p,$$

ამიტომ (a) გამოსახულებიდან გვექნება

$$V_1 + V_2 + \dots + V_n = V. \quad (b)$$

აქედან კი შეგვიძლია გამოვიტანოთ დასკვნა, რომ ნარევის მდგენელი აირების დავანილი მოცულობების ჯამი ნარევის მოცულობის ტოლია. რადგან V_1, V_2, \dots, V_n ნარევის ტემპერატურისა და წნევის პირობებში აღებული მდგენელი აირების მოცულობებს გამოსახვენ, ამიტომ მათი საშუალებით შეგვიძლია ნარევი შემაჯალი თითოეული აირის მოცულობითი ნაწილები განვსაზღვროთ. თუ ნარევის მდგენელი აირების მოცულობით ნაწილებს r_1, r_2, \dots, r_n -ით აღვნიშნავთ, მაშინ ისინი განისაზღვრებიან შემდეგი დამოკიდებულებებიდან:

$$r_1 = \frac{V_1}{V_1 + V_2 + \dots + V_n} = \frac{V_1}{V}; \quad r_2 = \frac{V_2}{V_1 + V_2 + \dots + V_n} = \frac{V_2}{V}; \quad \dots$$

$$r_n = \frac{V_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n} = \frac{V_n}{V}.$$

ამ გამოსახულებების შეკრებით, მივიღებთ

$$r_1 + r_2 + \dots + r_n = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{V},$$

საიდანაც, თუ (b) გამოსახულებას გავითვალისწინებთ, გვექნება

$$r_1 + r_2 + \dots + r_n = 1$$

ანუ

$$\sum_{i=1}^n r_i = 1. \quad (1-36)$$

თუ წონით ან მოცულობით ნაწილებს 100-ზე გაავარაულებთ, მაშინ აირის შედგენილობას პროცენტობით მივიღებთ, პირველ შემთხვევაში წონის მიხედვით, მეორეში კი მოცულობის მიხედვით. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ g_1, g_2, \dots, g_n და r_1, r_2, \dots, r_n განყენებული რიცხვებია.

ნარევის შედგენილობა შესაძლებელია მოცემული იყოს აგრეთვე მდგენელი აირების მოლბის რიცხვით, მაგრამ, რადგან ერთნაირ პირობებში სხვადასხვა აირის მოლბს ერთი და იგივე მოცულობა აქვთ, ამიტომ ეს მოცემულობა მოცულობითი ნაწილებით განსაზღვრულს ტოლძალოვანია.

დავუშვათ, რომ მოცემული გვაქვს ნარევი, რომლის მდგენელი აირების მოლეზის რაიცხვი შესაბამისად არის k_1, k_2, \dots, k_n . რადგან მთლი არის სიდიდე, რომელიც აირის წონით რაოდენობას საზღვრავს, ამიტომ, ცხადია, რომ ნარევის მოლეზის რიცხვი მდგენელი აირების მოლეზის რიცხვის ჯამის ტოლი იქნება და, მაშასადამე,

$$k = k_1 + k_2 + \dots + k_n, \quad (1-37)$$

სადაც k მთელი ნარევის მოლეზის რიცხვია.

თუ ერთი მოლის მოცულობას ნარევის მდგენელი აირებისათვის $\mu_1 v_1, \mu_2 v_2, \dots, \mu_n v_n$ -ით გამოვსახავთ, მაშინ მათი დაყენილი მოცულობებისათვის შესაბამისად გვექნება:

$$V_1 = k_1 \mu_1 v_1, \quad V_2 = k_2 \mu_2 v_2, \quad \dots, \quad V_n = k_n \mu_n v_n. \quad (c)$$

ამ გამოსახულებების გამოყენებით უკვე შეგვიძლია დავამტკიცოთ, რომ მოლეზი და მოცულობითი ნაწილები რიცხობრივად ერთმეორის ტოლია. პირველი მდგენელი აირის მოცულობითი ნაწილისათვის გვექნება

$$r_1 = \frac{V_1}{V} = \frac{V_1}{V_1 + V_2 + \dots + V_n} = \frac{k_1 \mu_1 v_1}{k_1 \mu_1 v_1 + k_2 \mu_2 v_2 + \dots + k_n \mu_n v_n}. \quad (d)$$

ნაგრამ, რადგან ერთნაირი პირობებისათვის

$$\mu_1 v_1 = \mu_2 v_2 = \dots = \mu_n v_n,$$

ამიტომ (d) თანაფარდობის გარდაქმნით მივიღებთ

$$r_1 = \frac{k_1}{k_1 + k_2 + \dots + k_n} = \frac{k_1}{k}.$$

შესაბამისად დანარჩენი მდგენელი აირებისათვის, ანალოგიური მსჯელობით, მივიღებთ

$$r_2 = \frac{k_2}{k}, \quad \dots, \quad r_n = \frac{k_n}{k}$$

და ზოგადად შეგვიძლია დავწეროთ

$$r_i = \frac{V_i}{V} = \frac{k_i}{\sum_1^n k_i} = \frac{k_i}{k}. \quad (1-38)$$

ამგვარად, ყოველი მდგენელი აირის მოლთა რიცხვისა და ნარევის მოლთა საერთო რიცხვის შეფარდება მოცულობითი ნაწილს გვაძლევს.

1-16. წონით და მოცულობით ნაწილებს შორის თანაფარდობა

წონით და მოცულობით ნაწილებს შორის თანაფარდობის დასამყარებლად დავუშვათ, რომ მოცემულია აირების ნარევის წონითი ნაწილები g_1, g_2, \dots, g_n და საჭიროა განისაზღვროს მისი მოცულობითი ნაწილები r_1, r_2, \dots, r_n .

ვიცით, რომ

$$r_i = \frac{V_i}{V} = \frac{V_i}{V_1 + V_2 + \dots + V_n} = \frac{\frac{G_i}{\gamma_i}}{\frac{G_1}{\gamma_1} + \frac{G_2}{\gamma_2} + \dots + \frac{G_n}{\gamma_n}}. \quad (a)$$

თუ (ა) გამოსახულებაში მრიცხველს და მნიშვნელს გავყოფთ G ნარევის საერთო წონაზე, მაშინ მივიღებთ, რომ

$$r_1 = \frac{\frac{g_1}{\gamma_1}}{\frac{g_1}{\gamma_1} + \frac{g_2}{\gamma_2} + \dots + \frac{g_n}{\gamma_n}} \quad (b)$$

ვიცით რომ,

$$\mu v = \frac{\mu}{\gamma}, \text{ საიდანაც } \gamma = \frac{\mu}{\mu v} \quad (c)$$

ამ გამოსახულების გათვალისწინებით და (b) განტოლებაში მისი ჩასმით ყოველივე ცალკეული აირისათვის, მივიღებთ

$$r_1 = \frac{\frac{g_1}{\mu_1} \mu_1 v_1}{\frac{g_1}{\mu_1} \mu_1 v_1 + \frac{g_2}{\mu_2} \mu_2 v_2 + \dots + \frac{g_n}{\mu_n} \mu_n v_n}$$

ერთი და იმავე პირობებისათვის ვიცით, რომ $\mu_1 v_1 = \mu_2 v_2 = \dots = \mu_n v_n$. მრიცხველისა და მნიშვნელის ამ სიდიდეზე შეკვეცით, მივიღებთ:

$$\Rightarrow r_1 = \frac{\frac{g_1}{\mu_1}}{\frac{g_1}{\mu_1} + \frac{g_2}{\mu_2} + \dots + \frac{g_n}{\mu_n}} = \frac{\frac{g_1}{\mu_1}}{\sum_1^n \frac{g_i}{\mu_i}}$$

ანალოგიური მსჯელობით მივიღებთ, რომ

$$r_2 = \frac{\frac{g_2}{\mu_2}}{\sum_1^n \frac{g_i}{\mu_i}}; \dots; r_n = \frac{\frac{g_n}{\mu_n}}{\sum_1^n \frac{g_i}{\mu_i}}$$

და ზოგადად შეგვიძლია დავწეროთ, რომ

$$r_i = \frac{\frac{g_i}{\mu_i}}{\sum_1^n \frac{g_i}{\mu_i}} \quad (1-39)$$

ახლა დავუშვათ, რომ ნარევი მოცემულია მოცულობითი ნაწილებით r_1, r_2, \dots, r_n და უნდა განესაზღვროთ წონითი ნაწილები g_1, g_2, \dots, g_n . წონითი ნაწილი პირველი მდგენელი აირისა

$$g_1 = \frac{G_1}{G} = \frac{G_1}{G_1 + G_2 + \dots + G_n} = \frac{V_1 \gamma_1}{V_1 \gamma_1 + V_2 \gamma_2 + \dots + V_n \gamma_n} \quad (d)$$

(d) გამოსახულების V -ზე გაყოფით და სათანადოდ მოცულობითი ნაწილების ჩასმით, გვექნება:

$$g_1 = \frac{r_1 \gamma_1}{r_1 \gamma_1 + r_2 \gamma_2 + \dots + r_n \gamma_n}$$

უკანასკნელი თანფარდობა, (c) გამოსახულების გათვალისწინებით და მოლის მოცულობაზე შეგვეცით, მიიღებს სახეს.

$$g_1 = \frac{\mu_1 r_1}{\mu_1 r_1 + \mu_2 r_2 + \dots + \mu_n r_n} = \frac{\mu_1 r_1}{\sum_1^n \mu_i r_i}$$

ანალოგიურად მივიღებთ

$$g_2 = \frac{\mu_2 r_2}{\sum_1^n \mu_i r_i} ; \dots ; g_n = \frac{\mu_n r_n}{\sum_1^n \mu_i r_i}$$

და ზოგადად შეგვიძლია დავწეროთ, რომ

$$g_i = \frac{\mu_i r_i}{\sum_1^n \mu_i r_i} \quad (1-40)$$

1-17. ნარევის ხვედრითი წონისა და ხვედრითი მოცულობის განსაზღვრა

დაეუშვათ, რომ აირების ნარევი მოცემულია წონითი ნაწილებით g_1, g_2, \dots, g_n . ნარევის ხვედრითი წონის განსაზღვრისათვის გამოვიყენოთ ჩვენთვის უკვე ცნობილი თანაფარდობა

$$\gamma_{ნარ} = \frac{G}{V} = \frac{G}{V_1 + V_2 + \dots + V_n} = \frac{G}{\frac{G_1}{\gamma_1} + \frac{G_2}{\gamma_2} + \dots + \frac{G_n}{\gamma_n}}$$

მრიცხველისა და მნიშვნელის გაყოფით ნარევის G წონაზე და სათანადოდ წონითი ნაწილებით შეცვლით, მივიღებთ:

$$\gamma_{ნარ} = \frac{1}{\frac{g_1}{\gamma_1} + \frac{g_2}{\gamma_2} + \dots + \frac{g_n}{\gamma_n}}$$

საიდანაც შეგვიძლია დავწეროთ, რომ

$$\gamma_{ნარ} = \frac{1}{\sum_1^n \frac{g_i}{\gamma_i}} \quad (1-41)$$

ხვედრითი მოცულობა კი ამ გამოსახულების გათვალისწინებით განისაზღვრება (1-9) განტოლებიდან:

$$v_{ნარ} = \sum_1^n \frac{g_i}{\gamma_i} \quad (1-42)$$

იმ შემთხვევისათვის კი, როცა აირების ნარევი მოცემულია r_1, r_2, \dots, r_n მოცულობითი ნაწილებით, მაშინ ხვედრითი წონა, განისაზღვრება შემდეგი თანაფარდობით:

$$\gamma_{ნარ} = \frac{G}{V} = \frac{G_1 + G_2 + \dots + G_n}{V} = \frac{V_1 \gamma_1 + V_2 \gamma_2 + \dots + V_n \gamma_n}{V}$$

საიდანაც მივიღებთ, რომ

$$\gamma_{ნარ} = r_1 \gamma_1 + r_2 \gamma_2 + \dots + r_n \gamma_n$$

ანუ

$$\tau_{\text{ნარ}} = \sum_1^n r_i \gamma_i, \quad (1-43)$$

ხოლო ხვედრითი მოცულობა განისაზღვრება განტოლებით:

$$\nu_{\text{ნარ}} = \frac{1}{\sum_1^n r_i \gamma_i}. \quad (1-44)$$

ზემოაღნიშნული განტოლებების გამოყენების დროს ცალკეული მდგენელი აირების ხვედრითი წონების განსაზღვრისათვის გამოვიყენებთ განტოლებას

$$\gamma = \frac{p}{RT},$$

ხოლო ნორმალური პირობებისათვის კი შენდევ დამოკიდებულებას:

$$\gamma = \frac{\mu}{22,4}.$$

1-18. ნარევის საშუალო (ანუ წარმოსახვითი) მოლეკულური წონისა და მუდმივს განსაზღვრა

აირების ნარევის საშუალო ანუ წარმოსახვითი მოლეკულური წონა და აირის მუდმივი მოცემულობის თანახმად შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს როგორც წონითი, ისე მოცულობითი ნაწილებით.

ჯერ განვსაზღვროთ ნარევის საშუალო მოლეკულური წონა წონითი ნაწილებით. ამისათვის აღვნიშნოთ ნარევის წონა G -თი, მოლეგების რიცხვი— k -თი და საშუალო მოლეკულური წონა— $\mu_{\text{ნარ}}$ -ით. ცხადია, რომ ამ უკანასკნელი სიდიდის რიცხობრივი მნიშვნელობა ისეთი უნდა იყოს, რომ მოლეგების რიცხვზე გამრავლებულმა ნარევის წონა მოგვცეს, ე. ი. დატული უნდა იყოს თანაბარობა

$$G = k \cdot \mu_{\text{ნარ}},$$

საიდანაც

$$\mu_{\text{ნარ}} = \frac{G}{k}. \quad (1-45)$$

ეს სიდიდე პირობითი სიდიდეა და მას წარმოსახვითი მოლეკულური წონა ეწოდება, რადგან, აირების ნარევი სხვადასხვაგვარი მოლეკულებისაგან შედგება, ხოლო მოლეკულური წონა კი ნამდვილად არსებული მოლეკულის მასის დამახასიათებელი განყენებული რიცხვია. მაშასადამე, ნარევის საშუალო მოლეკულური წონის ცნება განსაზღვრულია ისეთი არარსებული „საშუალო“ მოლეკულებისათვის, რომლებიც განაც შედგენილი იქნებოდა რომელიმე კიმიურად ერთგვაროვანი აირი, რომლის მასა იქნებოდა ნარევის მასის ტოლი და ამავე დროს იმდენივე მოლეკულის. შემცველი, რამდენიც ნარევისაა.

დავუშვათ, რომ მოცემულია აირების ნარევი, რომლის მდგენელი აირების წონებია G_1, G_2, \dots, G_n და შესაბამისად მოლეკულური წონები $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$. ამ შემთხვევაში მდგენელი აირების მოლეგების რიცხვისათვის გვექნება

$$k_1 = \frac{G_1}{\mu_1}, \quad k_2 = \frac{G_2}{\mu_2}, \quad \dots, \quad k_n = \frac{G_n}{\mu_n}.$$

(1-45) განტოლებაში ამ მნიშვნელობების ჩასმით, მივიღებთ:

$$\mu_{\text{ნარ}} = \frac{G}{k} = \frac{G}{k_1 + k_2 + \dots + k_n} = \frac{G}{\frac{G_1}{\mu_1} + \frac{G_2}{\mu_2} + \dots + \frac{G_n}{\mu_n}}$$

მიღებული გამოსახულების პრიციპელისა და მნიშვნელის ნარევის წონაზე გაყოფით, გვიქნება

$$\mu_{\text{ნარ}} = \frac{1}{\frac{G_1}{G\mu_1} + \frac{G_2}{G\mu_2} + \dots + \frac{G_n}{G\mu_n}}$$

სადაც $\frac{G_1}{G}$, $\frac{G_2}{G}$, $\frac{G_n}{G}$ მდგენელი აირების წონით ნაწილებს g_1 , g_2 , ..., g_n -ს გამოსახავს. ამ მნიშვნელობების ჩასმით წარმოსახვითი მოლეკულური წონისათვის მივიღებთ გამოსახულებას

$$\mu_{\text{ნარ}} = \frac{1}{g_1 \mu_1 + g_2 \mu_2 + \dots + g_n \mu_n}$$

ანუ

$$\mu_{\text{ნარ}} = \frac{1}{\sum_1^n \frac{g_i \mu_i}{\mu_i}} \quad (1-46)$$

საშუალო მოლეკულური წონის მოცულობითი ნაწილებით განსაზღვრისათვის განვიხილოთ, თუ რა დამოკიდებულებაა ერთიმეორესთან წონითი და მოცულობითი ნაწილები.

ვიცით, რომ

$$g_i = \frac{G_i}{G} = \frac{\gamma_i V_i}{\gamma_{\text{ნარ}} V} = \frac{\mu_i}{\mu_{\text{ნარ}}} r_i \quad (1-47)$$

რადგან

$$\frac{\gamma_i}{\gamma_{\text{ნარ}}} = \frac{\mu_i}{\mu_{\text{ნარ}}} \quad \text{და} \quad \frac{V_i}{V} = r_i$$

(1-47) განტოლებიდან შეგვიძლია ავწეროთ

$$\sum_1^n g_i = \sum_1^n \frac{\mu_i r_i}{\mu_{\text{ნარ}}} = \frac{\sum_1^n \mu_i r_i}{\mu_{\text{ნარ}}}$$

საიდანაც, თუ გავითვალისწინებთ, რომ $\sum_1^n g_i = 1$, მივიღებთ

$$\mu_{\text{ნარ}} = \sum_1^n \mu_i r_i \quad (1-48)$$

ნარევის მუდმივა შეგვიძლია განესაზღვროთ უნივერსალური მუდმივას გამოსახულების გამოყენებით, საიდანაც

$$R_{\text{ნარ}} = \frac{848}{\mu_{\text{ნარ}}}.$$

თუ ნარევი მოცემულია წონითი ნაწილებით, მაშინ (1-46) განტოლების თანახმად

$$R_{\text{ნარ}} = \frac{848}{1} \quad \text{ან} \quad R_{\text{ნარ}} = 848 \sum_1^n \frac{g_i}{\mu_i}. \quad (1-49)$$

$$\sum_1^n \frac{g_i}{\mu_i}$$

ამ გამოსახულების გარდაქმნით, გვექნება

$$R_{\text{ნარ}} = \sum_1^n \frac{848}{\mu_i} g_i \quad \text{ან} \quad R_{\text{ნარ}} = \sum_1^n R_i g_i, \quad (1-50)$$

სადაც $\frac{848}{\mu_i} = R_i$.

ანალოგიურად, როდესაც ნარევი მოცულობითი ნაწილებითაა მოცემული, მაშინ (1-48) განტოლების თანახმად, გვექნება

$$R_{\text{ნარ}} = \frac{848}{\sum_1^n \mu_i r_i}, \quad (1-50')$$

რომლის გარდაქმნით, მივიღებთ

$$R_{\text{ნარ}} = \frac{1}{\sum_1^n \frac{\mu_i r_i}{848}} \quad \text{ან} \quad R_{\text{ნარ}} = \frac{1}{\sum_1^n \frac{r_i}{R_i}}, \quad (1-51)$$

რადგან

$$\frac{\mu_i}{848} = \frac{1}{R_i}.$$

როდესაც უკვე ვიცით ნარევის მოლეკულური წონისა და მუდმივას განსაზღვრა, მაშინ მოცემულობის მიხედვით ნარევის ხვედრითი წონისა და ხვედრითი მოცულობას ადვილად განესაზღვრავთ; სახელდობრ, ეს სიდიდეები ნორმალური პირობებისათვის განისაზღვრება შემდეგი თანაფარდობებით:

$$T_{\text{ნარ}} = \frac{\mu_{\text{ნარ}}}{22,4}; \quad v_{\text{ნარ}} = \frac{22,4}{\mu_{\text{ნარ}}}.$$

თუ მოცემულია სხვა რაიმე პირობები, მაშინ აირების ნარევის ხვედრითი წონა და ხვედრითი მოცულობა განისაზღვრება ერთი კილოგრამი აირისათვის მიღებული მდგომარეობის განტოლების საშუალებით, სახელდობრ:

$$T_{\text{ნარ}} = \frac{p}{R_{\text{ნარ}} T}, \quad v_{\text{ნარ}} = \frac{R_{\text{ნარ}} T}{p}.$$

მოცემული p წნევისა და T ტემპერატურის პირობებისათვის ნარევის მოცულობა-სა და წონას შორის დამოკიდებულების გამოსახვისათვის გამოიყენება G კვ აირისათვის გამოყვანილი მდგომარეობის განტოლება

$$pV = GR_{\text{ნარ}} T,$$

სადაც V ნარევის მოცულობაა და G ნარევის წონა.

1-19. პარციალური წნევების განსაზღვრა

როგორც ნარევის საშუალო მოლეკულური წონა და მუდმივა, ისე პარციალური წნევებიც, მოცემულობის თანახმად, შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს. როგორც წონითი, ისე მოცულობითი ნაწილებით.

დავუშვათ, რომ მოცემულია ნარევი, რომლის საერთო წონაა G კვ, მოცულობა V , წნევა p და ტემპერატურა T . განვიხილოთ ჯერ ისეთი შემთხვევა, როდესაც ნარევი მოცემულია წონითი ნაწილებით. ვთქვათ, ნარევის მდგენელი აირების წონით ნაწილებს g_1, g_2, \dots, g_n წარმოადგენენ. პარციალური წნევის განსაზღვრისათვის დაეწეროთ მდგომარეობის განტოლება ნარევისა და პირველი მდგენელი აირისათვის, რომლის პარციალური წნევა (p_1) გვინდა განვსაზღვროთ:

$$p_1 V = G R_1 T, \quad (a)$$

$$p_1 V = G_1 R_1 T, \quad (b)$$

სადაც p_1 არის პირველი მდგენელი აირის პარციალური წნევა, G_1 —წონა და R_1 —აირის მუდმივა.

(b) თანათარლობის (a)-ზე გაყოფით, მივიღებთ

$$\frac{p_1 V}{p V} = \frac{G_1 R_1 T}{G R_{\text{ნარ}} T},$$

უკანასკნელში $g_1 = \frac{G_1}{G}$ ჩასმით და შემდგომ მისი p_1 -ის მიმართ ამოხსნით, გვექნება

$$p_1 = p g_1 \frac{R_1}{R_{\text{ნარ}}}. \quad (c)$$

ანალოგიური მსჯელობით, შესაბამისად მივიღებთ მსგავს გამოსახულებებს სხვა დანარჩენი მდგენელი აირებისათვის. ასე რომ, შეგვიძლია ზოგადად დაეწეროთ

$$p_i = p g_i \frac{R_i}{R_{\text{ნარ}}}. \quad (1-52)$$

თუ p წნევისა და T ტემპერატურის პირობებში აღებული ნარევი, რომლის მოცულობა V -ს შეადგენს, მოცემულია r_1, r_2, \dots, r_n მოცულობითი ნაწილებით, მაშინ თანახმად დაყვანილი მოცულობების განსაზღვრისა, ნარევის ტემპერატურის დროს V მოცულობაში ყოველი აირის წნევა p_1, p_2, \dots, p_n პარციალურ წნევას გამოსახავს. ამასთან იმავე ტემპერატურის, ე. ი. ნარევის ტემპერატურის დროს, თუ ყოველი აირის დაყვანილ მოცულობებს V_1, V_2, \dots, V_n ავიღებთ, მაშინ მათი წნევა ნარევის წნევას p წარმოადგენს. რადგან ამ ორივე მდგომარეობას ერთი და იგივე ტემპერატურა აქვს, ამიტომ ამ შემთხვევაში შეგვიძლია ბოილ-მარიოტის კანონი გამოვიყენოთ და შემდეგი დამოკიდებულებანი დაეწეროთ

$$p_1 V = p V_1; \quad p_2 V = p V_2; \quad \dots \quad p_n V = p V_n,$$

საიდანაც

$$p_1 = p \frac{V_1}{V}; \quad p_2 = p \frac{V_2}{V}; \quad \dots \quad p_n = p \frac{V_n}{V}$$

ამ გამოსახულებებში $\frac{V_1}{V} = r_1, \frac{V_2}{V} = r_2; \dots \frac{V_n}{V} = r_n$ მნიშვნელობების ჩასმით,

მივიღებთ

$$p_1 = p r_1; \quad p_2 = p r_2; \dots p_n = p r_n;$$

და ზოგადად შეგვიძლია დავწეროთ

$$p_i = p r_i. \quad (1-52')$$

0) ა 3 0 1-4

სითბობევალოზა

1-20. ენერჯის ხანჯობილუბის მართულუბი

ტექნიკურ თერმოდინამიკაში განჯობილუბის ერთეულუბად მილუბულია: კილოგრამი (ძალა), მეტრი (სიგრძის ერთეული), წამი (დროის ერთეული). ამის გამო მექანიკური მუშაობის განჯობილუბა იქნება კილოგრამმეტრი.

სითბოს რაოდენობის ერთეულად მილუბულია კილოკალორია. ამჟამად სსრკ-ში მილუბული (OCT BKC 6259) სტანდარტის მიხედვით კილოკალორია გამოსახავს სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც საჭიროა, რომ 1 კგ წყლის ტემპერატურა, ნორმალური ატმოსფერული წნევის დროს, 19,5°-დან 20,5°-მდე გავზარდოთ.*

ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ 1 კკალ სითბოს რაოდენობა 426,45 კგ მუშაობის რაოდენობის ეკვივალენტურია. მიახლოებითი გამოთვლების დროს მილუბულია, რომ

$$1 \text{ კკალ} = 427 \text{ კგ}.$$

როგორც ცნობილია, ძრავას სიმძლავრის განჯობილუბად მილუბულია ცხენის ძალა და კილოვატი. განჯასაზღვროთ, თუ რამდენი კილოკალორიის ეკვივალენტურია ეს ერთეულუბი. ვიცით, რომ

$$1 \text{ ც. ძ.} = 75 \text{ კგ/წმ}; \quad 1 \text{ კვტ} = 102 \text{ კგ/წმ}.$$

აქედან კი მუშაობის ერთეულად შეგვიძლია მივიღოთ მუშაობის ის რაოდენობა, რომელიც ერთი საათის განმავლობაში 1 ც. ძ. ან 1 კვტ სიმძლავრის დროს შესრულდება. მაშასადამე,

$$1 \text{ ც. ძ. ს} = 75 \cdot 60 \cdot 60 = 270000 \text{ კგ}.$$

სითბური ერთეულუბით

$$1 \text{ ც. ძ. ს} = \frac{270000}{427} \approx 632 \text{ კკალ}.$$

ანალოგიურად, კვტ. ს-ისათვის მივიღებთ, თუ გავითვალისწინებთ, რომ

$$1 \text{ კვტ. ს} = 1,36 \text{ ც. ძ. ს},$$

საიდანაც სითბური ერთეულუბით

$$1 \text{ კვტ. ს} = 1,36 \cdot 632 \approx 860 \text{ კკალ}.$$

ამასთან დაკავშირებით ორთქლის ცხრილების შესახებ საერთაშორისო კონფერენციამ 1929 წ. ლონდონში სითბოს ერთეულად მიიღო ეგრეთ წოდებული ელექტრული

* 0,02°-მდე სიზუსტით.

კილოკალორია, რომელიც $\frac{1}{860}$ კილოვატსათის (საერთაშორისო კილოკალორის) ეკვივალენტურია.

ელექტრული ერთეულები არიან დამოუკიდებელი ტემპერატურასა და დედამიწის მიზიდულობის ველზე; ამასთან ერთად ეს ერთეულები სტანდარტიზებულია საერთაშორისო მასშტაბით და შესაძლებელია მათი განსაკუთრებულად ზუსტი გაზომვა, რის გამოც კილოკალორის განსაზღვრა ელექტრული გზით მეტად სასურველია.

ამგვარად, ზემოაღნიშნულის თანახმად შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ სითბოსა და მუშაობის განზომილებების ერთეულებს შორის სრულიად გარკვეული თანაფარდობა არსებობს, რის გამოც სავსებით დასაშვებია მუშაობის კილოკალორიებით და სითბოს კილოგრამომეტრებით გაზომვა. მაგრამ, რადგან ენერჯია და მუშაობა ეკვივალენტურია, ამიტომ შესაძლებელი ხდება ენერჯიის, აგრეთვე, კილოკალორიებით გაზომვაც.

1—21. იდეალური აირის შიბა ენერჯია

აირების მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია, რომელიც სითბურ მოვლენებს განმარტავს — როგორც აირის მდგენელი მოლეკულების მოძრაობას — ამჩნობებს იმას, რომ აირის მოლეკულებს მოძრაობის ენერჯია აქვთ. ამის გარდა, მოლეკულებს შორის მოქმედი შევიდულობის ძალებით დაპირობებულია ენერჯია, რომელიც მოლეკულების ურთიერთ შორის მდებარეობაზეა დამოკიდებული. ამგვარად, აირის ენერჯია მოძრაობისა და მდებარეობის ენერჯიათა ჯამისაგან შედგება და საკვებით განისაზღვრება იმ მდგომარეობით, რომელშიაც აირი იმყოფება.

ქრძოდ, იდეალური აირის განხილვისას, რომლის დროსაც მოლეკულებს შორის შევიდულობის ძალებს არ ვითვალისწინებთ, აღვნიშნეთ, რომ მისი მდგენელი მოლეკულები ასრულებენ გადატანით მოძრაობას, რომელსაც აირის აბსოლუტური ტემპერატურა დავეუქვებრეთ. დამოკიდებულება გადატანითი მოძრაობის კინეტიკურ ენერჯიასა და აბსოლუტურ ტემპერატურას შორის გამოვსახეთ შემდეგნაირად:

$$\frac{mv^2}{2} = aT = \frac{3}{2} kT, \quad (a)$$

სადაც k ბოლცმანის მუდმივაა. ამგვარად, აირის მდგენელ მოლეკულებს გადატანითი მოძრაობის კინეტიკური ენერჯია აქვს. იდეალური აირების ცალკეული ატომები იმდენად მცირეა, რომ მათი ინერციის მომენტები, მათზე გამავალი ნებისმიერი ღერძის მიმართ, მერე რაგის უსასრულოდ მცირე სიდიდეებად შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რის გამოც მათი ბრუნვითი ენერჯია დიდ კუთხური სიჩქარეების შემთხვევაშიც კი მეტად მცირე იქნება. ამის გამო ერთატომიანი აირების ატომები შეიძლება განვიხილოთ, როგორც მატერიალური წერტილები და მათი ბრუნვა უგულებელვყოთ. ამგვარად, ერთატომიანი იდეალური აირების მოლეკულების მთელი ენერჯია მხოლოდ გადატანითი მოძრაობის კინეტიკური ენერჯიისაგან შედგება. ორ-, სამ- და მრავლატომიანი აირების მოლეკულები კი შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ, როგორც უცვლელი სიგრძის მოკლე სწორხაზოვანი კავშირით შეერთებული მატერიალური წერტილები; ამ შემთხვევაში მოლეკულების გადატანითი მოძრაობის გარდა, გათვალისწინებული უნდა იქნეს მათი ბრუნვითი მოძრაობაც, რის გამოც მრავლატომიანი აირებს აგრეთვე ბრუნვითი მოძრაობის კინეტიკური ენერჯია აქვთ, ამის გარდა, აირის მოლეკულების ერთმანეთთან დაჯახებისას მათი მდგენელი ატომები, მათი ცენტრების წარმოსახვითი შემავრთბელი ხაზის მიმართ, რყევის განიცდიან. ატომების ეს რყევითი მოძრაობანი შეადგენს მოლეკუ-

ლის ენერჯიას, რომელსაც შიგამოლეკულური რყევითი ენერჯია ეწოდება. საერთოდ, როგორც ყოველი რყევითი მოძრაობის დროს, ისე ამ შემთხვევაშიაც ეს ენერჯია კინეტიკური და პოტენციალურა ენერჯიისაგან შედგება.

თუ რეალურ აირს ვანვიხილავთ, მაშინ ყველა ზემოხსენებული ენერჯიის გარდა, მის მოლეკულას ექნება, აგრეთვე, პოტენციალური ენერჯიაც, რომელიც მოლეკულთა შორის შეჭიდულობის ძალთა მოქმედებით არის დაპირობებული.

მოლეკულის ენერჯიათა ჩამოთვლილი სახეების ჯამს, აღებულს აირის მდგენელ ყველა მოლეკულისათვის—აირის შიგასითბური ენერჯია ანუ აირის შიგა ენერჯია ეწოდება. 1 კგ აირისათვის შიგა ენერჯია აღინიშნება u -თი C_p -სათვის U -თი, და ერთი მოლისათვის u -თი.

(ა) გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ შიგა ენერჯიის პირველი მდგენელი, ე. ი. ვადატანითი მოძრაობის კინეტიკური ენერჯია აბსოლუტური ტემპერატურის ფუნქციაა. შიგა ენერჯიის მეორე და მესამე მდგენელიც, ე. ი. ბრუნვითი მოძრაობის ენერჯია და შიგამოლეკულური რყევითი ენერჯია, აგრეთვე, მხოლოდ ტემპერატურით განისაზღვრება. ამის გამო, იდეალური აირის შიგა ენერჯია, რომელიც პირველი სამი მდგენელისაგან შედგება, აბსოლუტური ტემპერატურის ფუნქციაა, ე. ი.

$$u = f(T) \quad (1-53)$$

შიგა ენერჯიის უკანასკნელი მდგენელი შეჭიდულობის ძალთა პოტენციალური ენერჯია, რომელიც რეალური აირის შიგა ენერჯიის მეოთხე მდგენელს წარმოადგენს, აღებული ტემპერატურისათვის დამოკიდებულია, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, მოლეკულთა შორის საშუალო მანძილზე, ე. ი. 1 კგ აირის შემთხვევაში ხვედრითი მოცულობაზე, რადგან მოლეკულთა შორის საშუალო მანძილით შეჭიდულობის ძალთა სიდიდე განისაზღვრება.

ამგვარად, რეალური აირის შიგა ენერჯია, რომელიც ყველა ზემოჩამოთვლილი ოთხი მდგენლისაგან შედგება, ფუნქციაა ტემპერატურისა და ხვედრითი მოცულობის, ე. ი.

$$u = f(T, v) \quad (1-54)$$

მაგრამ, რადგან აირის ყოველი მდგომარეობისათვის სამ ძირითად p , v და T პარამეტრებს შორის გვაქვს განსაზღვრული დამოკიდებულება, სახელდობრ, აირის დამახასიათებელი განტოლება, ამიტომ შიგა ენერჯია შეიძლება განისაზღვროს ამ სამთაგან რომელიმე ორი პარამეტრით. ასე, რომ შეგვიძლია დაწეროთ:

$$u = f_1(p, v) \quad \text{და} \quad u = f_2(p, T)$$

მაშასადამე, u შიგა ენერჯიის მნიშვნელობა აირის მდგომარეობის დამახასიათებელ p , v , T პარამეტრთაგან რომელიმე ორით განისაზღვრება და, რადგან აირის ყოველ მდგომარეობას მისი ძირითადი პარამეტრების სრულიად გარკვეული მნიშვნელობა შეესაბამება, ამიტომ u შიგა ენერჯიისაც აირის ამ მდგომარეობისათვის საესებით განსაზღვრული მნიშვნელობა ექნება. ამის გამო u შიგა ენერჯიაც შეიძლება იყოს აირის მდგომარეობის დამახასიათებელი სიდიდე, ე. ი. შეიძლება, რომ აირის რომელიმე ძირითად პარამეტრთან ერთად იგი აირის მდგომარეობას საზღვრავდეს. ამიტომ u შიგა ენერჯიაც აირის მდგომარეობის პარამეტრს წარმოადგენს.

ტენჯიურ თერმოდინამიკაში ვსაზღვრავთ შიგა ენერჯიის არა აბსოლუტურ მნიშვნელობას, არამედ მის ცვლილებას, ამიტომ არავითარი მნიშვნელობა არა აქვს იმას, თუ სხეულის რა მდგომარეობას მივაკუთვნებთ შიგა ენერჯიის ნულის მნიშვნელობას. ჩვეულებრივად აირის შიგა ენერჯიის ნულის მნიშვნელობად მიღებულია შიგა ენერჯიის მნიშვნელობა, რომელიც შეესაბამება აირის მდგომარეობას, აღებულს აბსოლუტური ნულისა $0^\circ K$, ან $0^\circ C$ ტემპერატურისა და ატმოსფერული წნევის პირობებში.

შიგა ენერჯიის განზომილების ერთეულად მიღებულია განზომილების იგივე ერთეული, რაც საერთოდ ენერჯიისათვის, ე. ი. კილოგრამამეტრი; ერთი კილოგრამი აირის

შემთხვევაში კი შიგა ენერგიის განზომილებად იქნება კჯმ/კგ. მაგრამ, რადგან მეცნიერთა მიერ მექანიკურ ენერგიასა და სითბურ ენერგიას შორის დამყარებულია განსაზღვრული დამოკიდებულება, სახელდობრ,

$$1 \text{ კკალ} = 427 \text{ კჯმ},$$

ამიტომ თერმოდინამიკაში შეხვედებით შიგა ენერგიის განზომილებას კილოკალორიებით.

1—22. ძირითადი ცნებანი სითბოტექნოლოგიაში. აირის წონითი, მოცულობითი და მოლური სითბოტექნოლოგიური და მათ შორის დამოკიდებულება. სითბოტექნოლოგია მუდმივი მოცულობისა და მუდმივი წნევის დროს

თბოძრავებში სითბური ენერგიის მექანიკურ ენერგიად გარდაქმნა ყოველთვის დაკავშირებულია, მთელი რიგი მდგომარეობის გავლით, მუშა სხეულის ერთი მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლასთან. მუშა სხეულის მდგომარეობის ცვლილებასთან ერთად ცვლილებას განიცდის, აგრეთვე, პროცესში მონაწილე სითბოს რაოდენობა, რომლის განსაზღვრა თბოტექნიკური გაანგარიშების დროს ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს და, ამასთან ერთად, მეტად საპასუხისმგებლო საკითხს წარმოადგენს.

როგორც ცნობილია დაკვირვებებიდან, ერთი და იმავე გრადუსთა რაოდენობაზე, ერთი კილოგრამი სხვადასხვა სახის ნივთიერების გასათბობად სხვადასხვა სითბოს რაოდენობაა საჭირო. მაშასადამე, ერთი და იგივე წონის, მაგრამ სხვადასხვა შედგენილობის სხეულები ერთი და იმავე ტემპერატურაზე გათბობის დროს შეიძლება სითბოს სხვადასხვა რაოდენობას მოითხოვდეს. აქედან კი გამომდინარეობს, რომ საბოლოო შედეგი, სხვა დანარჩენი პირობების თანხებევისას, სხეულის ბუნებრივ თვისებებზეა დამოკიდებული. ამგვარად, ერთეული რაოდენობის სხვადასხვა სხეულის ერთი გრადუსით გასათბობად სითბოს სხვადასხვა რაოდენობა იქნება საჭირო.

სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც საჭიროა ერთეული რაოდენობის სხეულის ტემპერატურის 1°C -ზე გასათბობად, ხვედრითი სითბოტექვადობა ან მარტივად სითბოტექვადობა ეწოდება.

რაოდესაც სხეულის რაოდენობის ერთეულად 1 კგ-ს მივიღებთ, მაშინ გვექნება წონითი სითბოტექვადობა, რომელსაც c -თი აღვნიშნავთ. ამ უკანასკნელის განზომილებაა კკალ/კგ $^{\circ}\text{C}$.

თუ სხეულის რაოდენობის ერთეულად მოცულობითი ერთეულს მივიღებთ, სახელდობრ, 1 მ³-ს, მაშინ მოცულობითი სითბოტექვადობა გვექნება. ამ შემთხვევისათვის უნდა აღინიშნოს, რომ, რადგან 1 მ³ აირი აღებული პირობების მიხედვით შეიძლება სხვადასხვა წონისა იყოს, ამიტომ აირის მოცულობა განსაზღვრულ პირობებს უნდა შევეფარდოთ. ჩვეულებრივად ასეთ პირობებად მიღებულია ნორმალური პირობები, ე. ი. $t = 0^{\circ}\text{C}$ და $p = 760$ მმ ვერცხ. წყ. სვ.

მოცულობითი სითბოტექვადობას აღვნიშნავთ c' -ით, მისი განზომილებაა კკალ/მ³ $^{\circ}\text{C}$. წონითი სითბოტექვადობასთან ეს უკანასკნელი დაკავშირებულია დამოკიდებულებით

$$c' = \gamma c, \quad (1-55)$$

სადაც γ ნორმალურ პირობებში აღებული აირის ხვედრითი წონაა.

დაბოლოს, მოლექულური წონისა μ და წონითი სითბოტექვადობის ნამრავლი, ე. ი. μc , მოგვექმნება სითბოტექვადობას, რომელიც აღებულია ერთი მოლი აირისათვის. ამ უკანასკნელს მოლური სითბოტექვადობა ეწოდება. მისი განზომილებაა კკალ/მოლი $^{\circ}\text{C}$. წონითსა და მოლურ სითბოტექვადობებს შორის გვაქვს შემდეგი დამოკიდებულება:

$$c = \frac{\mu c'}{\mu}. \quad (1-56)$$

მოლურ და მოცულობით სითბოტევადობებს შორის დამოკიდებულების დასადგენად, ამ უკანასკნელი განტოლების მარცხენა მხარეში (1—55) განტოლებიდან c წონითი სითბოტევადობის მნიშვნელობა ჩავსვათ, რის შემდეგ მივიღებთ:

$$\frac{c'}{\gamma} = \frac{\mu c}{\mu}$$

საიდანაც, თუ გავითვალისწინებთ, რომ $\gamma = \frac{1}{\nu}$, გვექნება

$$c' = \frac{\mu c}{\mu \nu} \quad \text{და} \quad c' = \frac{\mu c}{22,4}, \quad (1-57)$$

რადგან $\mu \nu = 22,4$ მ³/მოლ.

აღსანიშნავია, რომ გარდა სხვა დანარჩენი ფაქტორებისა, აირის სითბოტევადობა არსებითად დამოკიდებულია იმ პირობებზე, რომელთა დროს მისი გათბობა მიმდინარეობს; ამ პირობებს შორის თბოტექნიკურ გამოთვლებში დიდი მნიშვნელობა აქვს პროცესებს მუდმივი მოცულობისა და მუდმივი წნევის დროს.

მუდმივი მოცულობის დროს აირის გათბობა შეგვიძლია განვახორციელოთ, თუ მას დახურულ ჭურჭელში მოვათავსებთ და სითბოს მივაწოდებთ. ამ შემთხვევაში გათბობის მთელი პროცესის დროს მოცულობა უცვლელი გვექნება და 1 კგ აირის 1°C-ზე გათბობისათვის საჭირო სითბოს რაოდენობას ეწოდება სითბოტევადობა მუდმივი მოცულობის დროს, რომელსაც c_v -ით აღვნიშნავთ. ცხადია, რომ, რადგან აირი არ ფართოვდება, მიწოდებული სითბოს მთელი რაოდენობა აირის მოლეკულთა კინეტიკური ენერჯის გაზრდაზე, ე. ი. ტემპერატურის ამაღლებაზე იხარჯება.

თუ პირობებს შევცვლით და აირის გათბობას ვაწარმოებთ ცილინდრში, რომელსაც მუდმივი ტვირთით დატვირთული დგუში აქვს, მაშინ გათბობის მთელი პროცესის დროს წნევა მუდმივი იქნება და 1 კგ აირის 1°C-ზე გათბობისათვის საჭირო სითბოს რაოდენობას ეწოდება სითბოტევადობა მუდმივი წნევის დროს; უკანასკნელს c_p თი აღვნიშნავთ. სითბოს ეს რაოდენობა იხარჯება არა მარტო ენერჯის გაზრდაზე, არამედ აირის გაფართოების მუშაობაზეც, რაც აირის გაფართოების გამო ტვირთიანი დგუშის აწევაში გამოისახება. მაშასადამე, მიუხედავად იმისა, რომ ორივე შემთხვევაში ერთი და იგივე რაოდენობის აირს ერთი გრადუსით გავათბობთ, მაინც მეორე შემთხვევაში უფრო მეტი სითბო დაიხარჯება, ვიდრე პირველში, რადგან მეორე შემთხვევაში აირი მუშაობას ასრულებს, რაც სითბოს მეტი რაოდენობის დახარჯვას მოითხოვს. აქედან კი გამომდინარეობს, რომ ყოველთვის

$$c_p > c_v$$

ე. ი. სითბოტევადობა მუდმივი წნევის დროს ყოველთვის მეტია სითბოტევადობაზე მუდმივი მოცულობის დროს.

როგორც ვხედავთ, სითბოტევადობების მნიშვნელობანი მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული, რაც ართულებს მის განსაზღვრას. უპირველესად სითბოტევადობების მნიშვნელობის გამოთვლა ექსპერიმენტული გზით წარმოებდა; მაგრამ ასეთი გზით მიღებული მნიშვნელობანი ერთიმეორისაგან დიდად განსხვავდებოდნენ. ჩამოყალიბებულმა აირების კინეტიკურმა თეორიამ კი სითბოტევადობების უფრო ზუსტი მნიშვნელობების თეორიულად განსაზღვრის საშუალება მოგვცა.

1—23. აირთა სითბოტევადობის მოლომპულუკ-კინეტიკური თეორია

მთელ რიგი თბოტექნიკური ამოცანების გადაწყვეტის დროს, თანამედროვე ტექნიკა და მეცნიერება სითბურ პროცესში მონაწილე სხეულის სითბოტევადობის განსაზღვრას დიდი სიზუსტით მოითხოვს. აირებისა და ორთქლების სითბოტევადობის ექსპერი-

მენტულად განსაზღვრა საქმოდ სიძნელეებთან არის დაკავშირებული. ამის გარდა, ტემპერატურასა და ნივთიერების მოლეკულურ-ატომურ თვისებებზე სითბოტევადობის დამოკიდებულების სირთულე საჭიროდ ხდის სითბოტევადობის გამოთვლას თეორიის საფუძველზე. სწორედ აირების მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია საშუალებას გვაძლევს თეორიულად გამოვიყვანოთ აირების მოლური სითბოტევადობების მნიშვნელობანი. ამ თეორიის საფუძველზე ყველაზე უფრო მარტივად განსაზღვრება აირის მოლური სითბოტევადობა მუდმივი მოცულობის დროს, რადგან აღნიშნული პროცესის დროს აირი მუშაობას არ ასრულებს და მიწოდებული სითბოს მთელი რაოდენობა მხოლოდ მისი შიგა ენერჯიის ცვლილებაზე იხარჯება.

ამგვარად, აირის მოლური სითბოტევადობა მუდმივი მოცულობის დროს წარმოადგენს სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც ტემპერატურას ერთი გრადუსით შეცვლის დროს ერთი მოლი აირის შიგა ენერჯიის ცვლილებაზე იხარჯება. უპირველესად განვსაზღვროთ ერთატომიანი იდეალური აირის მოლური სითბოტევადობა მუდმივი მოცულობის დროს.

მოლეკულების გადატანითი კინეტიკური ენერჯიისათვის ჩვენ გვექონდა

$$\frac{m\bar{w}^2}{2} = aT = \frac{3}{2} kT. \quad (a)$$

ამ გამოსახულებაში $k = \frac{\mu R}{N_\mu}$ მნიშვნელობის ჩასმით, გვექნება

$$\frac{m\bar{w}^2}{2} = \frac{3}{2} \frac{\mu R}{N_\mu} T, \quad (b)$$

სადაც N_μ ერთ მოლში მოთავსებულ მოლეკულთა რიცხვია.

(b) გამოსახულების ორივე მხრის N_μ -ზე გამრავლებით, მივიღებთ

$$N_\mu \cdot \frac{m\bar{w}^2}{2} = \frac{3}{2} \mu R T. \quad (c)$$

მიღებული განტოლების მარცხენა ნაწილი ერთატომიანი აირებისათვის წარმოადგენს ერთი მოლი აირის გადატანითი მოძრაობის კინეტიკურ ენერჯიას და ამავე დროს მის შიგა ენერჯიასაც, რადგან ერთატომიანი იდეალური აირის შიგა ენერჯია წინა პარაგრაფში ჩამოთვლილი ოთხი მდგენელიდან შეიცავს მხოლოდ პირველს, სახელდობრ, გადატანითი მოძრაობის კინეტიკურ ენერჯიას. ამგვარად, ერთატომიანი იდეალური აირის ერთი მოლის შიგა ენერჯიისათვის შეგვიძლია დავწეროთ:

$$u = N_\mu \frac{m\bar{w}^2}{2}.$$

თანახმად (c) გამოსახულებისა კი გვექნება

$$u = \frac{3}{2} \mu R T. \quad (d)$$

თუ აღებული მდგომარეობის აირს, რომლის ტემპერატურაა T , ტემპერატურას ერთი გრადუსით გაუფიქრებთ ისე, რომ მოცულობა უცვლელი დარჩეს, მაშინ აირის შიგა ენერჯია გამოსახება შემდეგნაირად:

$$u_1 = \frac{3}{2} \mu R (T + 1). \quad (e)$$

ერთი მოლი აირის შიგა ენერჯიის ცვლილებას კი, გამოწვეულს მისი 1°-ზე გათბობით, (c) და (d) თანაფარდობების სხვაობით მივიღებთ; მაშასადამე, გვექნება

$$u_1 - u = \frac{3}{2} \mu R (T + 1) - \frac{3}{2} \mu RT = \frac{3}{2} \mu R.$$

თუ შიგა ენერჯიის მიღებულ ცვლილებას კილოკალორიებით გამოვსახავთ, მაშინ ზემოხსენებული განმარტებების თანახმად ეს უკანასკნელი განტოლება წარმოადგენს სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც მუდმივი მოცულობის დროს ერთი მოლი აირის 1°-ზე გასათბობად აირის საჭირო, ე. ი. მოლურ სითბოტევადობას მუდმივი მოცულობის დროს. მაშასადამე, მარჯვენა მხრის გამრავლებით მუშაობის სითბურ ექვივალენტზე, გვექნება

$$\mu c_v = \frac{3}{2} A \mu R.$$

ამ გამოსახულებაში A და μR სიდიდეების რიცხობრივი მნიშვნელობების ჩასმით, მივიღებთ ერთატომიანი აირის მოლურ სითბოტევადობას მუდმივი მოცულობის დროს, სახელდობრ,

$$\mu c_v = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{427} \cdot 848 \approx 2,98 \frac{\text{ქკალ}}{\text{მოლ. გრად.}}.$$

ამგვარად, ერთატომიანი იდეალური აირის მოლური სითბოტევადობა მუდმივი მოცულობის დროს საბოლოოდ შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ $3 \frac{\text{ქკალ}}{\text{მოლ. გრად.}}$ უდრის,

ე. ი.

$$\mu c_v = 3 \frac{\text{ქკალ}}{\text{მოლ. გრად.}}.$$

აქედან კი გამომდინარეობს, რომ ერთატომიანი ყველა აირის მოლური სითბოტევადობა ერთიმეორის ტოლია და დამოუკიდებელია ტემპერატურაზე.

ახლა, თუ ავიღებთ ორატომიან აირს ერთი მოლის რაოდენობით და მივაწოდებთ 3 კკალ სითბოს რაოდენობას, მისი ტემპერატურა ერთი გრადუსით არ გადიდდება, რადგან აღებული აირის მოლეკულებს, გადატანითი მოძრაობის გარდა, აქვს აგრეთვე ბრუნვითი მოძრაობაც, რომლის გადიდებაზე მიწოდებული სითბოს ნაწილი იხარჯება. ამგვარად, ერთი მოლი ორატომიანი აირების ერთ გრადუსზე გასათბობად 3 კკალ სითბო საკმარისი არ იქნება.

ორ-სამ და მრავალატომიანი აირების სითბოტევადობის განსაზღვრისათვის საჭიროა წინასწარ გავეცნოთ ეგრეთ წოდებულ თავისუფლების ხარისხს, რომელიც სივრცეში სისტემის მდებარეობის განსაზღვრელ კოორდინატთა რიცხვს გამოსახავს. ერთატომიანი იდეალური აირის ყოველ მოლეკულას თავისუფლების სამი ხარისხი აქვს, რადგან მას ვიხილავთ, როგორც მატერიალურ წერტილს, რომლის მდებარეობა სივრცეში სამი კოორდინატით განისაზღვრება. ერთატომიანი აირებისათვის აღნიშნული თავისუფლების სამი ხარისხი არის გადატანითი მოძრაობის თავისუფლების ხარისხები, რადგან აღებული აირის მოლეკულის გადატანითი მოძრაობა შეიძლება სამი კოორდინატთა ღერძის მიმართულების მიხედვით იქნეს დაშლილი, რაც თავისუფლების ხარისხთა რაოდენობას განსაზღვრავს. ამის შემდეგ, როდესაც გავეცანით თავისუფლების ხარისხის ცნებას, იხადება კითხვა—რა კავშირი აქვს ამ თავისუფლების ხარისხთან მოლეკულისადმი მიწოდებულ ენერჯიას? მაქსველ-ბოლცმანის დებულების თანახმად, ენერჯიის განაწილება თავისუფლების ხარისხთა მიხედვით თანაბრად ხდება, რადგან ქაოსური მოძრაობის დროს ასეთი განაწილება ყველაზე მეტად არის შესაძლებელი. აქედან კი ერთატომიანი აირის

მოლური სითბოტევალობისათვის განსაზღვრული მნიშვნელობიდან გამომდინარე, შეგვიძლია გამოვიტანოთ დასკვნა, რომ თითოეულ თავისუფლების ხარისხზე ერთი კილოკალორია სითბო მოდის.

ორატომიანი აირისათვის მსგავსი შედეგების მისაღებად განვიხილოთ, თუ რამდენი თავისუფლების ხარისხი ახასიათებს მას. ორატომიანი აირის მოლეკულები შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ, როგორც ერთმანეთთან სწორხაზოვნად დაკავშირებული ორი მატერიალური წერტილი, რომელთა შორის მანძილი უცვლელია. ამის გამო, გადატანითი მოძრაობის გარდა, ორატომიანი აირის მოლეკულას შეუძლია აგრეთვე სიმძიმის საერთო ცენტრზე გამავალი პერპენდიკულარული ღერძების ირგვლივ ბრუნვითი მოძრაობაც. მასადაამე, ორატომიანი აირის მოლეკულისათვის თავისუფლების ხუთი ხარისხი გვაქვს; ამასთან, მათ შორის სამი ეკუთვნის გადატანით მოძრაობას და ორი კი ბრუნვით მოძრაობას. ამ შემთხვევაში ორატომიანი აირის სითბოტევალობის განსაზღვრის საკითხი დაიყვანება სითბოს იმ რაოდენობის განსაზღვრაზე, რომელიც ყველა თავისუფლების ხუთ ხარისხზე მოდის. დაშვების თანახმად, რომ ნერგია თავისუფლების ხარისხის მიხედვით თანაბრად განაწილებული, შეგვიძლია დავასკვნათ: მუდმივი მოცულობის დროს, ერთატომიანი აირის ერთი მოლის 1²-ზე გასათბობად საჭირო სითბოსთან შედარებით, ორატომიანი აირის ერთი მოლის 1²-ზე გასათბობად იმდენჯერ უფრო მეტი სითბოა საჭირო, რამდენჯერაც ორატომიანი აირის მოლეკულის თავისუფლების ხარისხი მეტია ერთატომიანი მოლეკულის თავისუფლების ხარისხზე, ე. ი. რამდენჯერაც ხუთი მეტია სამზე, ანუ $\frac{5}{3}$ -ჯერ.

$$\mu c_v = 2,98 \frac{5}{3} \approx 4,96 \frac{\text{კალ.}}{\text{მოლ. გრად.}}$$

ამგვარად, ორატომიანი აირისათვის მოლური სითბოტევალობა მუდმივი მოცულობის დროს შეგვიძლია მივიღოთ

$$\mu c_v = 5 \frac{\text{კალ.}}{\text{მოლ. გრად.}}$$

უნდა აღინიშნოს, რომ ექსპერიმენტული მონაცემები ორატომიანი აირების მოლური სითბოტევალობისათვისაც ისეთ შედეგებს იძლევა, რომლებიც უმეტეს შემთხვევაში თეორიულს უთავსდებიან.

სამატომიანი აირებს, რომელთა ატომები ერთ სწორ ხაზზე არ არიან განლაგებული, გადატანითი მოძრაობის თავისუფლების სამი ხარისხის გარდა, აქვთ კიდევ ბრუნვითი მოძრაობის თავისუფლების სამი ხარისხი. ამ შემთხვევისათვის ორატომიანი აირის მოლეკულის ჩამოთვლილი თავისუფლების ხარისხის რაოდენობას უნდა დავამატოთ კიდევ ერთი, მესამე ატომის ბრუნვის გამო იმ ღერძის ირგვლივ, რომელიც პირველი ორის ცენტრებზე გადის. ორატომიანი აირისათვის მოყვანილი მსჯელობის ანალოგიურად, თუ განვსაზღვრავთ მუდმივი მოცულობის დროს სამატომიანი აირის ერთი მოლის ერთ გრადუსზე გასათბობად საჭირო სითბოს რაოდენობას, მივიღებთ

$$\mu c_v = 2,98 \frac{6}{3} = 5,96 \approx 6 \frac{\text{კალ.}}{\text{მოლ. გრად.}}$$

სამზე მეტი ატომიანი აირების მოლეკულას აქვს იგივე ექვსი თავისუფლების ხარისხი, რაც სამატომიანი აირის მოლეკულას, რადგან მეოთხისა და ყოველი დანარჩენი ატომის მდებარეობა სივრცეში განისაზღვრება მანძილით, რომელიც აღებულ ატომსა და დანარჩენ სამ ატომს შორის არის მოქცეული. ამგვარად, მრავლატომიანი აირების მოლური სითბოტევალობა უნდა იყოს $6 \frac{\text{კალ.}}{\text{მოლ. გრად.}}$.

მაგრამ, აღწერილი თეორიის თანხედენა ცდასთან სამ- და მრავალატომიანი აირებისათვის ზუსტი არ არის. გვაქვს, აგრეთვე, ზოგიერთი ორატომიანი აირიც, რომლისათვის თეორიულად მიღებული სითბოტევადობის მნიშვნელობანი ცდებით მიღებული სიდიდეებისაგან საგრძნობლად განსხვავდება.

თეორიულად და ცდებით მიღებულ მნიშვნელობათა დაუმთხვევლობა შეიძლება ახსნილი იყოს იმით, რომ თეორიაში არ გაეთვალისწინეთ მოლეკულის კიდევ რაღაც შინაგანი თავისუფლების ხარისხები. მართლაც, თეორიული გამოთვლების დროს დაშვებული გვექნა, რომ მოლეკულაში ატომებს შორის მანძილები უცვლელია, რაც სინამდვილეს არ შეესაბამება. ატომები მოლეკულაში ყველაზე უფრო მდგრად მდებარეობას იკავებენ, მაგრამ ურთიერთშეჯახების გამო ამ მდებარეობის ირგვლივ რყევით მოძრაობაში მოდიან, ზემოთ კი მოლეკულების მხოლოდ გადატანითი და ბრუნვითი მოძრაობანი გაეთვალისწინეთ. (ჯადია, რომ ატომების რყევით მოძრაობასაც ენერჯიის გარკვეული რაოდენობა შეესაბამება. რყევითი მოძრაობა ორატომიან აირებში მცირეა, ხოლო სამ- და მრავალატომიან აირებში იგი მნიშვნელოვანია და მას აუცილებლად ანგარიში უნდა გაეწიოს. მაშასადამე, უნდა გაეთვალისწინოთ, რომ რყევითი მოძრაობა მიწოდებული სითბოს რაოდენობის ნაწილს შთანთქავს და ამის გამო, საჭიროა მიწოდებული სითბოს საერთო რაოდენობა გაზრდილ იქნეს, რათა ერთი მოლი გაზის 1°-ზე გათბობის უზრუნველსაყოფად გადატანით მოძრაობაზე 3 კკალ სითბოს რაოდენობა მოვიდეს. ამის გამო, ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე სამ- და მრავალატომიანი აირებისათვის მიღებულია, რომ

$$\mu_{C_3} = 7 \frac{\text{კკალ.}}{\text{მოლ. გრად.}}$$

ამგვარად გვექნება:

ერთატომიანი აირებისათვის $\mu_{C_3} = 3 \frac{\text{კკალ.}}{\text{მოლ. გრად.}}$,

ორატომიანი აირებისათვის $\mu_{C_2} = 5 \frac{\text{კკალ.}}{\text{მოლ. გრად.}}$,

სამ- და მრავალატომიანი აირებისათვის $\mu_{C_n} = 7 \frac{\text{კკალ.}}{\text{მოლ. გრად.}}$.

როგორც შემდეგში დავრწმუნდებით, მუდმივი მოცულობისა და მუდმივი წნევის დროს მოლურ სითბოტევადობებს შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება:

$$\mu_{C_p} - \mu_{C_v} = 1,986 \approx 2 \frac{\text{კკალ.}}{\text{მოლ. გრად.}}$$

საიდანაც

$$\mu_{C_p} = \mu_{C_v} + 2$$

ამ დამოკიდებულებიდან კი სხვადასხვა რაოდენობის ატომიანობის აირებისათვის გვექნება:

ერთატომიანი აირებისათვის $\mu_{C_p} = 5 \frac{\text{კკალ.}}{\text{მოლ. გრად.}}$,

რ.ჩ.:ლ.ჩ.ჩ.ჩი ა.რ.ჩ.ჩ.ჩ.ს:ფ.ჯ.ს $\mu_{C_p} = 7 \frac{\text{კკალ.}}{\text{მოლ. გრად.}}$,

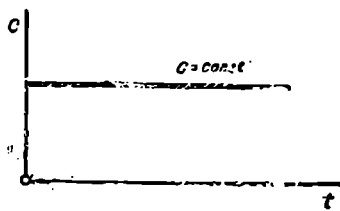
სამ- და მრავალატომიანი აირებისათვის $\mu_{C_p} = 9 \frac{\text{კკალ.}}{\text{მოლ. გრად.}}$.

მოლური სითბოტევადობების მნიშვნელობათა გამოთვლის დროს დაშვებული იყო, რომ ეს სიდიდეები ტემპერატურაზე დამოუკიდებელია. მაგრამ ცდებით დადგენილია

რომ სითბოტევადობის სიდიდე დამოკიდებულია ტემპერატურაზე. აირის კინეტიკური თეორია, რომელიც გულისხმობს თავისუფლების ხარისხის მიხედვით შიგა ენერჯიის თანაბრად განაწილებას და მოლეკულაში ატომების ხისტ შეერთებას, ვერ ხსნის ტემპერატურაზე სითბოტევადობის დამოკიდებულებას. ამის ახსნას იძლევა მხოლოდ კვანტური თეორია, რომელიც მოლეკულაში ატომების რყევებსა და ტემპერატურაზე სითბოტევადობის დამოკიდებულებას ითვალისწინებს. აღნიშნული თეორიისა და აირების სპექტრალური ანალიზის საფუძველზე მიღებული სითბოტევადობების მნიშვნელობანი ყველა თბოტექნიკურ განგარიშებანია გამოყენებული.

1-24. მუდმივი და ცვალებადი სითბოტევადობანი, საშუალო და ნამდვილი სითბოტევადობანი

თბოტექნიკურ განგარიშებებში, როდესაც მოთხოვნილი არ არის დიდი სიზუსტე, შესაძლებელია ტემპერატურაზე სითბოტევადობის დამოკიდებულება არ იქნეს გათვალისწინებული და ტემპერატურის სკალის ყოველ ინტერვალში სითბოტევადობა მუდმივი სიდიდედ მივიღოთ. თუ ამ დამოკიდებულებას გამოვსახებთ დიაგრამაზე, სადაც აბსცისთა ღერძზე ტემპერატურებისა და ორდინატთა ღერძზე სითბოტევადობათა მნიშვნელობებს გადავზომავთ, მივიღებთ რომ სითბოტევადობა აღწერილ დიაგრამაზე აბსცისთა ღერძის პარალელური სწორი ხაზით გამოისახება (ნაგ. 1-3).



ნაგ. 1-3.

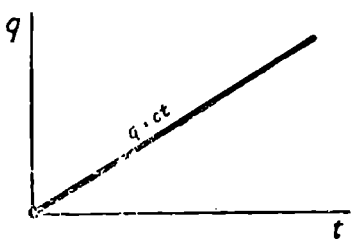
ამ შემთხვევაში, ე. ი. მუდმივი სითბოტევადობის დროს, თუ q სითბოს რაოდენობის მიწოდებით 1 კგ აირს 0°C -დან $t^{\circ}\text{C}$ -მდე გავათბობთ, მაშინ თეთი სითბოტევადობის განსაზღვრის საფუძველზე შეგვიძლია დავწეროთ:

$$c = \frac{q}{t}$$

საიდანაც სითბოს რაოდენობისათვის გვექნება

$$q = ct \tag{1-58}$$

თუ ამ დამოკიდებულებას q და t კოორდინატთა ღერძებიან დიაგრამაზე გამოვსახებთ (ნაგ. 1-4), მაშინ, როგორც ეს ანალიზური გეომეტრიიდან ვიცით, იგი გრაფიკულად კოორდინატთა სთავეში გამავალი სწორი ხაზით გამოისახება. აბსცისთა ღერძის მიმართ ამ სწორი ხაზის დახრილობის კუთხის ტანგენსით c მუდმივი სითბოტევადობის მნიშვნელობა განიზომება.



ნაგ. 1-4.

როდესაც სითბოტევადობას მუდმივი სიდიდედ ვთვლით, მაშინ კოველივე ცალკეული აირის სითბოტევადობის მნიშვნელობას ადვილად განვსაზღვრავთ მუდმივი მოცულობისა და მუდმივი წნევისათვის, თუ წინა პარაგრაფში მიღებული მოლეკული სითბოტევადობების მნიშვნელობებს გამოვიყენებთ.

თითოეული მათგანი შესაბამისად განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებებით:

$$c_v = \frac{\mu c_v}{\mu} \quad \text{და} \quad c_p = \frac{\mu c_p}{\mu}$$

მიღებულ სითბოტევადობაა მნიშვნელობანი ნებისმიერი რაოდენობის აირის t_1 ტემპერატურიდან t_2 ტემპერატურამდე გასათბობად საჭირო სითბოს რაოდენობის განსაზღვრის საშუალებას იძლევა. პროცესის სახის შესაბამისად Q_v ან Q_p -თი სითბოს რაოდენობანი აღვნიშნოთ. იმისდა მიხედვით, თუ რა ერთეულებითაა აირის რაოდენობა მოცემული, სითბოს რაოდენობანი გამოისახება შემდეგნაირად:

$$Q_v = Gc_v(t_2 - t_1) = V_{\text{ნორ}} c'_v(t_2 - t_1). \quad (1-59)$$

$$Q_p = Gc_p(t_2 - t_1) = V_{\text{ნორ}} c'_p(t_2 - t_1). \quad (1-60)$$

ამ ორივე ფორმულაში პირველი ნაწილი გამოსახავს სითბოს რაოდენობას, როდესაც აირი მოცემულია წონითი ერთეულებით, ხოლო მეორე კი, როდესაც აირი მოცემულია მოცულობითი ერთეულებით. მაშასადამე, (1-59) და (1-60) ფორმულებში G აღნიშნავს პროცესში მონაწილე აირის წონას კილოგრამობით, ხოლო $V_{\text{ნორ}}$ კი კუბური მეტრობით მოცულობას, რომელიც იღებულა იმ პირობებში, რომლისთვისაც მოცულობითი სითბოტევადობაა განსაზღვრული, სახელდობრ, ნორმალურ პირობებში.

იმ შემთხვევაში, როდესაც წარმოებს აირის არა გათბობა, არამედ გაციელება, მაშინაც ზემოთყვანილი ფორმულები მართებულია, ხოლო აქ უკვე t_1 ტემპერატურის მნიშვნელობა t_2 -ზე მეტი იქნება და სითბოს რაოდენობა უარყოფითი მიიღება, რაც იმის მაჩვენებელი იქნება, რომ აირს სითბო აქვს ართმეული.

როდესაც თბოტექნიკურ გაანგარიშებებს სიზუსტის უფრო მეტი მოთხოვნილება წაყვება, ე. ი. როდესაც საჭიროა, რომ სითბოტევადობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე მხედველობაში იქნეს მიღებული, მაშინ სითბოს რაოდენობის გაანგარიშებისას პირობის მიხედვით საშუალო ან ნამდვილი სითბოტევადობის მნიშვნელობა უნდა განისაზღვროს.

ორ-, სამ- და მრავალატომიანი აირების შემთხვევაში, მკვეთრად იჩენს თავს აღნიშნული აირების სითბოტევადობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება. ამგვარად, სითბოტევადობა ცვლადი სიდიდეა და, კერძოდ, ტემპერატურის ფუნქციაა, ე. ი.

$$c = f(t).$$

ეს უკანასკნელი გამოსახულება გვიჩვენებს, რომ სითბოს რაოდენობა, რომელიც საჭიროა აირის ერთ გრადუსზე გათბობისათვის ტემპერატურული სკალის სხვადასხვა ადგილას ერთნაირი არ არის. ამგვარად, სხეულის სითბოტევადობა ტემპერატურის შეცვლასთან ერთად იცვლება. ზოგადად ტემპერატურის ამალეების დროს მოლური სითბოტევადობანი იზრდება და სწრაფად მცირდება ტემპერატურის დაწვევის დროს. ამის გარდა, ცდებით აღდგენილია, რომ სითბოტევადობა, აგრეთვე, წნევაზეც არის დამოკიდებული. მაგრამ წნევის გავლენა სითბოტევადობაზე მით უფრო ნაკლებია, რაც უფრო მეტად უახლოვდება აღებულთი აირი იდეალურ აირს, რის გამო იდეალური აირისათვის მას მხედველობაში არ ვლდებულბთ. რეალური აირებისათვის კი წნევის გავლენა სითბოტევადობაზე გათვალისწინებული უნდა იქნეს და ამ შემთხვევისათვის ზემომოყვანილი დამოკიდებულება გამოისახება შემდეგნაირად:

$$c = F(p, t).$$

ამ თავში ჩვენ ვიხილავთ იდეალურ აირებს, რის გამო წნევის გავლენას სითბოტევადობაზე უგულბებლვყოფთ; განვიხილავთ მხოლოდ თბოტევადობის დამოკიდებულებას ტემპერატურაზე. აღებულ შემთხვევაში სითბოტევადობა, წინა პარაგრაფში განხილულისაგან განსხვავებით, მუდმივი სიდიდე კი აღარ იქნება, არამედ ცვლადი და თუ სითბოს მიწოდების პროცესს q და t კოორდინატთა სისტემაში გამოვსახავთ, მაშინ მიწოდებული სითბოს რაოდენობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე არა სწორი ხაზით, არამედ მრუდით გამოისახება.

დავუშვათ, რომ Δq სითბოს მიწოდებით 1 კგ აირი t_1 -დან t_2 -მდე გავათბეთ. ამ პროცესს დიაგრამაზე AB (ნაქ. 1—5) მრული შეესაბამება. ცხადია, რომ ასეთი დამოკიდებულების დროს აირის ტემპერატურის ყოველ ერთ გრადუსზე ვადიდებისათვის სხვადასხვა რაოდენობის სითბო დაიხარჯება. მაგრამ, ხშირად თბოტექნიკურ გაანგარიშებაში იყენებენ სითბოტევადობას, რომელიც აღებული t_1 -დან t_2 -მდე ტემპერატურულ შუალედში საშუალოს წარმოადგენს. თუ ტემპერატურის ნაზრდს აღვნიშნავთ Δt -თი, ე. ი.

$$t_2 - t_1 = \Delta t,$$

მაშინ სითბოს რაოდენობა, რომელიც ამ ტემპერატურულ შუალედში 1 კგ აირის 1° -ზე გასათბობად იხარჯება, გამოისახება შემდეგნაირად: $\frac{\Delta q}{\Delta t}$.

ამ სიდიდეს t_1 -დან t_2 -მდე შუალედში საშუალო სითბოტევადობა ეწოდება და აღინიშნება $[c_m]_{t_1}^{t_2}$ ან მარტივად c_m . ამგვარად,

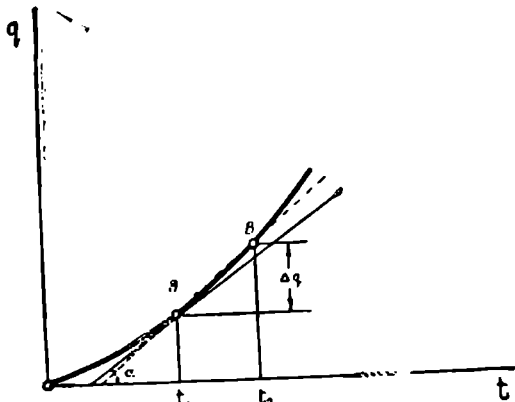
$$c_m = \frac{\Delta q}{\Delta t}. \quad (1-61)$$

როდესაც ტემპერატურული ფარგლები მცირდება, მაშინ საშუალო სითბოტევადობის მნიშვნელობა ნამდვილი სითბოტევადობის მნიშვნელობას უახლოვდება. სხვანაირად რომ ვთქვათ, საშუალო სითბოტევადობა მით უფრო განსხვავდება ნამდვილისაგან, რაც უფრო ნეტივ ტემპერატურული შუალედი. ამიტომ, A წერტილით გამოსახული მდგომარეობის აირის ნამდვილი სითბოტევადობის განსაზღვრისათვის, საჭიროა განვიზილოთ უსასრულო მცირე პროცესი და (1—61) თანაფარდობის ზღვარი ავიღოთ, როდესაც Δt ნულისაკენ მიისწრაფვის.

ამგვარად, სითბოტევადობისათვის გვექნება:

$$c = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad \text{და} \quad c = \frac{dq}{dt}.$$

c სითბოტევადობას ნამდვილი სითბოტევადობა ეწოდება და, როგორც ჩანს, იგი აღებულია არა ტემპერატურათა რომელიმე შუალედისათვის, არამედ საცესით გარკვეული ტემპერატურისათვის, რომელზედაც იგი დამოკიდებულია. მაშასადამე, ნამდვილი სითბოტევადობა წარმოადგენს ზღვარს, რომლისკენაც საშუალო სითბოტევადობა მიისწრაფვის, როდესაც აღებული ტემპერატურული შუალედი (ანუ ტემპერატურათა სხვაობა) ნულისაკენ მიისწრაფვის. რადგან Δt სიდიდის ნულისაკენ მიისწრაფვის დროს B წერტილი A წერტილს უახლოვდება და A და B წერტილებზე გატარებული მკვეთი A წერტილში მრუდის მხებს უთავსდება, ამიტომ ნამდვილი სითბოტევადობა გრაფიკულად



ნაქ. 1—5.

იმ კუთხის ტანგენსით გამოისახება, რომელსაც $q = f(t)$ მრუდის A წერტილში მიღებულ მხები აბსცისთა ლერძთან შეადგენს. თუ ამ კუთხეს α -თი აღვნიშნავთ, მაშინ

$$c = \frac{dq}{dt} = \operatorname{tg} \alpha .$$

ზემონათქვამიდან ჩანს, რომ როგორც საშუალო, ისე ნამდვილი სითბოტევიადობების მნიშვნელობანი დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, რის გამოც პროცესში მონაწილე სითბოს რაოდენობა განისაზღვრება იმისდა მიხედვით, თუ რა სახის დამოკიდებულება არსებობს სითბოტევიადობასა და ტემპერატურას შორის. თუ დავუშვებთ, რომ მათ შორის მრუდხაზოვანი დამოკიდებულება გვაქვს, მაშინ ამ შემთხვევისათვის:

$$dq = c dt \quad \text{და} \quad q = \int_{t_1}^{t_2} c dt . \quad (n)$$

მაშასადამე, ზოგად შემთხვევაში პროცესში მონაწილე სითბოს რაოდენობის განსაზღვრისათვის საჭიროა ვაწარმოთ ინტეგრირება, რისთვისაც უნდა ვიკოდეთ სითბოტევიადობასა და ტემპერატურას შორის $c = f(t)$ ფუნქციონალური დამოკიდებულება. როდესაც აღებულ t_1 და t_2 ტემპერატურულ შუალედში შეგვიძლია დავუშვათ, რომ სითბოტევიადობა მუდმივი სიდიდეა და საშუალო სითბოტევიადობის ტოლია, მაშინ

$$q = c_m (t_2 - t_1) . \quad (1-62)$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც სითბოტევიადობა ცვალებად სიდიდედ არის მიღებული, მაშინ სითბოტევიადობის მაგიერ (a) გამოსახულებაში უნდა ჩავსვათ ნამდვილი სითბოტევიადობის მნიშვნელობა, რაც მრუდხაზოვანი დამოკიდებულების შემთხვევაში გამოისახება შემდეგნაირად:

$$c = a + bt + et^2, \dots ,$$

სადაც a , b და e მუდმივი კოეფიციენტებია.

მაშასადამე, ზოგადად $c = f(t)$ დამოკიდებულების დროს გვყენება

$$q = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt . \quad (b)$$

მათემატიკიდან ცნობილია, რომ, როდესაც გვაქვს რომელიმე მრუდი $c = f(t)$ (ნაკ. 1-6), მაშინ მოცემული მრუდით და t_1 და t_2 ორდინატებით შემოსაზღვრული ფართობი $MBCDM$ განისაზღვრება შემდეგი-გამოსახულებით:

$$F = \int_{t_1}^{t_2} f(t) \cdot dt . \quad (c)$$

(b) და (c) გამოსახულებათა შედარებიდან ჩანს, რომ მათი მარჯვენა ნაწილები ტოლია, რის გამო t_1 -დან t_2 -მდე გაზის გასათბობად საჭირო სითბოს q რაოდენობა c კოორდინატთა სისტემაში პროცესის მრუდით $c = f(t)$, ნაპირა t_1 და t_2 ორდინატებით და აბსცისთა ლერძით შემოსაზღვრული ფართობით გამოისახება.

მაშასადამე, პროცესში მონაწილე სითბოს რაოდენობის განსაზღვრა დაიყვანება გამოთვლად $MBCDM$ ფართობის სიდიდისა, რომელიც შეგვიძლია შეეცვალოთ ორი ფართობის სხვაობით, სახელდობრ

$$q = \text{ფართ. } MBCDM = \text{ფართ. } OABCO - \text{ფართ. } OAMDO. \quad (d)$$

განსაზღვრის თანახმად, მარჯვენა ნაწილის თითოეული ფართობი სიბრტყის რაოდენობას გამოსახავს. პირველი მათგანი წარმოადგენს სიბრტყის რაოდენობას, რომელიც საჭიროა აირის 0-დან t_2 -მდე გასათბობად, მეორე კი 0-დან t_1 -მდე გასათბობად. ამგვარად, თუ აღებული მრუდხაზოვანი დამოკიდებულებისათვის საშუალო თბოტევადობას აღვნიშნავთ 0-დან t_2 -მდე შუალედისათვის $[c_m]_0^{t_2}$ და 0-დან t_1 -მდე კი $[c_m]_0^{t_1}$, მაშინ (1-62) განტოლების თანახმად შევიძლია დავწეროთ:

$$\text{ფართობი } OABCO = [c_m]_0^{t_2}(t_2 - 0) = [c_m]_0^{t_2} \cdot t_2; \quad \text{ფართობი } OAMDO = [c_m]_0^{t_1}(t_1 - 0) = [c_m]_0^{t_1} \cdot t_1.$$

(d) ტოლობაში ამ გამოსახულების ჩასმით, გვექნება

$$q = [c_m]_0^{t_2} \cdot t_2 - [c_m]_0^{t_1} \cdot t_1. \quad (1-63)$$

აქედან კი გამომდინარეობს, რომ სიბრტყის რაოდენობის განსაზღვრის საკითხი 0-დან t_2 -მდე და 0-დან t_1 -მდე ტემპერატურათა შუალედებში საშუალო სიბრტყეადობების განსაზღვრაზე დაიყვანება. მაშასადამე, თუ გვაქვს სიბრტყეადობების აღნიშნული მნიშვნელობანი, რაც ცხრილებით არის მოცემული, მაშინ (1-63) განტოლებაში მათი ჩასმით პროცესში მონაწილე სიბრტყის რაოდენობას განვსაზღვრავთ.

ზემოთ სიბრტყეადობის განსაზღვრისას ტემპერატურაზე დამოკიდებულება მრუდხაზოვანი გვექნა. მაგრამ უმარავლეს შემთხვევაში პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის საკმარისი სიზუსტის დაცვით შევიძლია ტემპერატურაზე სიბრტყეადობის გამომსახველი მრუდი მისი მახლობელი სწორი ხაზით შევცვალოთ (ნაკ. 1-7).

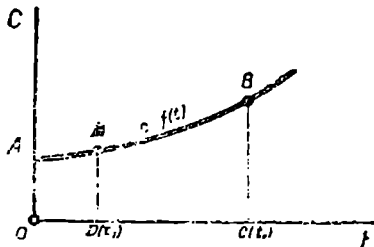
სწორხაზოვანი დამოკიდებულების შემთხვევაში სიბრტყეადობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე გამოისახება შემდეგნაირად:

$$c = a + bt, \quad (1-64)$$

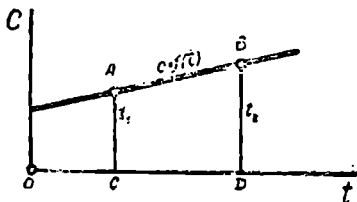
სადაც a და b მუდმივი კოეფიციენტებია. თუ მივიღებთ, რომ $t = 0$, მაშინ (1-64) განტოლებიდან გვექნება $c = a$ და, მაშასადამე, a სიდიდე 0°C ტემპერატურის დროს აირის ნამდვილ სიბრტყეადობას გამოსახავს. რაც შეეხება b სიდიდეს, როგორც ცნობილია, იგი იმ სწორი ხაზის დახრილობის კუთხის ტანგენსს წარმოადგენს, რომელიც ტემპერატურის მიხედვით სიბრტყეადობის ცვლილებას გამოსახავს.

სწორხაზოვანი დამოკიდებულების შემთხვევაში t_1 -დან t_2 -მდე შუალედში სიბრტყის რაოდენობის განსაზღვრისათვის (1-64) განტოლებიდან სიბრტყეადობის მნიშვნელობა (a) გამოსახულებაში ჩავსვთ. მაშინ სიბრტყის რაოდენობა ტოლი იქნება

$$q = \int_{t_1}^{t_2} c dt = \int_{t_1}^{t_2} (a + bt) dt = \int_{t_1}^{t_2} a dt + \int_{t_1}^{t_2} bt dt = a(t_2 - t_1) + b \frac{t_2^2 - t_1^2}{2} =$$



ნაკ. 1-6.



ნაკ. 1-7.

$$= \left[a + b \frac{t_2 + t_1}{2} \right] (t_2 - t_1). \quad (1-65)$$

მიღებული განტოლების შედარებით (1-62) განტოლებასთან დავინახავთ, რომ პირველ ფრჩხილებში მოთავსებული სიდიდე t_1 -დან t_2 -მდე შუალედში საშუალო სითბოტევადობას გამოსახავს, ე. ი.

$$c_m = a + b \frac{t_2 + t_1}{2} = a + \frac{b}{2} (t_1 + t_2). \quad (1-66)$$

ამგვარად, ამ შემთხვევაში საშუალო სითბოტევადობის მნიშვნელობის განსაზღვრისათვის, საკმარისია ნამდვილი სითბოტევადობის გამოსახულებაში (1-64) t ტემპერატურის მაგიერ აღებულ ტემპერატურათა ნახევარჯამი ჩავსვათ, ხოლო სითბოს რაოდენობის გამოთვლისათვის უნდა გამოვიყენოთ განტოლება:

$$Q = c_m (t_2 - t_1).$$

როდესაც გათბობის პროცესი 0°C -დან რომელიღაც t ტემპერატურამდე მიმდინარეობს, მაშინ (1-66) გამოსახულებაში $t_1 = 0$ და $t_2 = t$ ჩასმით მივიღებთ

$$c_m = a + \frac{b}{2} t. \quad (1-67)$$

ამრიგად, (1-64) და (1-67) გამოსახულებების შედარებიდან ჩანს, რომ ნამდვილი და საშუალო სითბოტევადობის ფორმულები ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან მხოლოდ იმ წევრის კოეფიციენტით, რომელშიაც ტემპერატურა შედის, ამასთან საშუალო სითბოტევადობის ფორმულაში ამ კოეფიციენტის მნიშვნელობა ორჯერ ნაკლებია, ვიდრე ნამდვილი სითბოტევადობის ფორმულაში. აქედან კი ცხადია, რომ, როდესაც სწორხაზობრივი დამოკიდებულების დროს საჭიროა 0 -დან t -მდე ფარგლებში აღებული საშუალო სითბოტევადობების ცხრილის მიხედვით $t_1 \div t_2$ შუალედისათვის საშუალო სითბოტევადობის მნიშვნელობის გამოთვლა, მაშინ საშუალო სითბოტევადობის ფორმულაში t ტემპერატურის მაგიერ ტემპერატურათა ჯამი $t_1 + t_2$ უნდა ჩავსვათ.

ყოველივე ზემონათქვამი 1 კვ აირს შეეხებოდა. ნებისმიერი რაოდენობის აირისათვის კი სითბოს რაოდენობის განსაზღვრა უნდა ვაწარმოოთ შემდეგი ფორმულებით:

$$Q_v = G c_{vm} (t_2 - t_1) = V_{\text{ნორ.}} c'_{vm} (t_2 - t_1), \quad (1-68)$$

$$Q_p = G c_{pm} (t_2 - t_1) = V_{\text{ნორ.}} c'_{pm} (t_2 - t_1). \quad (1-69)$$

1-25. აირთა ნარევის თბოტევადობა

აირთა ნარევი, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, შეიძლება პირობის მიხედვით სხვადასხვა სახის შედგენილობით იყოს მოცემული. ამის შესაბამისად ნარევის სითბოტევადობაც, როგორც ცალკეული აირების სითბოტევადობა, შეიძლება მიღებულ იქნას 1 კგ, 1 ნ.მ³ და 1 მოლი ნარევისათვის.

დავუშვათ, რომ ნარევი მოცემულია წონითი ნაწილებით და ამ ნარევის შედგენილი აირების წონითი ნაწილები გამოისახება g_1, g_2, \dots, g_n -ით. სათანადოდ აღვნიშნოთ ნარევის მდგენელი აირების წონითი სითბოტევადობანი c_1, c_2, \dots, c_n -ით. ამ შემთხვევაში ყოველი მდგენელი ცალკეული აირების 1°C -ზე გასათბობად საჭირო სითბო შესაბამისად გამოისახება შემდეგნაირად:

$$g_1 c_1; \quad g_2 c_2; \quad \dots; \quad g_n c_n. \quad (a)$$

ცხადია, რომ მთელი ნარევის წონითი სითბოტევადობა, ე. ი. 1°C -ზე გასათბობად საჭირო სითბოს რაოდენობა (a) გამოსახულებაში მიღებული სითბოების ჯამის ტოლი უნდა იყოს, მაშასადამე,

$$c_{\text{ნარ}} = g_1 c_1 + g_2 c_2 + \dots + g_n c_n \quad \text{ანუ} \quad c_{\text{ნარ}} = \sum_1^n g_i c_i. \quad (1-70)$$

თუ ნარევი მოცემულია r_1, r_2, \dots, r_n მოცულობითი ნაწილებით და შესაბამისად მდგენელი აირების მოცულობითი სითბოტევადობებს c'_1, c'_2, \dots, c'_n -ით აღენიშნავთ, მაშინ ანალოგიური მსჯელობით ნარევის მოცულობითი სითბოტევადობისათვის გვექნება

$$c'_{\text{ნარ}} = r_1 c'_1 + r_2 c'_2 + \dots + r_n c'_n \quad \text{ანუ} \quad c'_{\text{ნარ}} = \sum_1^n r_i c'_i. \quad (1-71)$$

და, ბოლოს, თუ საჭიროა ნარევის მოლური თბოტევადობის განსაზღვრა მისი მოლური შედგენილობით, რომელსაც ავრთვევ r ასოთი აღენიშნავთ, მაშინ, ცხადია, რომ ეს უნდა ვაწარმოოთ შემდეგი ფორმულით:

$$(\mu c)_{\text{ნარ}} = r_{1\mu} c_1 + r_{2\mu} c_2 + \dots + r_{n\mu} c_n \quad \text{ანუ} \quad (\mu c)_{\text{ნარ}} = \sum_1^n r_{i\mu} c_i. \quad (1-72)$$

თ ა ვ ი 1-5

თერმოდინამიკის პირველი კანონი

1-56. თერმოდინამიკის პირველი კანონი და ენერჯიის მუდმივობის კანონი. სითბური და მექანიკური ენერჯიების ეკვივალენტობა

თერმოდინამიკის პირველი კანონის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ ყოველთვის, როდესაც განსაზღვრული რაოდენობის სითბო ქრება, სავსებით გარკვეული რაოდენობის მექანიკური ენერჯია მიიღება, და პირიქით, განსაზღვრული რაოდენობის მექანიკური ენერჯიის დახარჯვის დროს მისი შესაბამისი რაოდენობის სითბური ენერჯია ჩნდება. როგორც ამ კანონის შინაარსიდან ვხედავთ, იგი წარმოადგენს კერძო შემთხვევას ენერჯიის მუდმივობის საერთო კანონისა, რომელიც მდგომარეობს იმაში, რომ ენერჯიის რაოდენობა ყოველგვარი გარდაქმნის დროს განუზღოვებულ სისტემაში მუდმივი რჩება. ამ პრინციპის თანახმად შეუძლებელია, რომ ენერჯია შეიქმნეს ან მოისპოს, შესაძლებელია მხოლოდ ერთი სახის ენერჯიის მეორე სახის ენერჯიად გარდაქმნა. ამასთან, ერთი სახის ენერჯიის გარკვეული რაოდენობა მისი ეკვივალენტური რაოდენობის მეორე სახის ენერჯიას იძლევა. აღნიშნული ენერჯიის მუდმივობის კანონი და ამასთან ერთად ნივთიერების (მასის) მუდმივობის კანონი ჯერ კიდევ 1748 წ. დიდმა რუსმა მეცნიერმა ლომონოსოვმა გამოთქვა.

ორმოცი წლით ადრე, ვიდრე ლაუაზიე მივიდა მასის მუდმივობის ცნებამდე და 100 წლით ადრე, ვიდრე მაიერა მივიდა ენერჯიის მუდმივობის ცნებამდე, ლომონოსოვმა ორივე ეს აღმოჩენა წინასწარ განქვირტა. თავის დისერტაციაში „Рассуждение о твердости и жидкости тел“ მან ასე გამოთქვა თავისი აზრი:

* В. В. Данилевский „Русская техника“, изд. 1949 г.

„ბუნებაში მომხდარი ყოველგვარი ცვლილების არსი იმაში მდგომარეობს, რომ რაც ერთ სხეულს აკლდება, ის მეორეს ემატება. ასე, თუ სადმე რამდენიმე მატერია დააკლდება, მაშინ მეორე ადგილას დაემატება... ეს საერთო ბუნების კანონი ვრცელდება, აგრეთვე, მოძრაობის თვით წესებშიც, რადგან სხეული, რომელიც თავისი ძალით მეორეს ამოძრავებს, იმდენივეს ჰკარგავს, რამდენსაც გადაეცემს მეორეს, რომელიც პირველისაგან მოძრაობას ღებულობს“.

ამგვარად, როგორც ვხედავთ, ლომონოსოვმა პირველად გამოთქვა ენერჯიის მუდმივობის კანონი, რომლის კერძო შემთხვევას წარმოადგენს ზემოთ ჩამოყალიბებულნი თერმოდინამიკის პირველი კანონი.

მექანიკური ენერჯიის სითბოდ გარდაქმნის შესაძლებლობა ადამიანისათვის ცნობილი იყო ჯერ კიდევ მისი განვითარების პირველდაწყებით პერიოდში, როდესაც იგი ხის ორი მშრალი ნაჭრის ერთმანეთზე ხახუნის საშუალებით ცეცხლს ღებულობდა. სითბოს წარმოქმნა მრავალ შემთხვევაში სწორედ იმით აიხსნება, რომ სითბოს ვღებულობთ ხახუნის, დარტყმისა და სხვა სახის მექანიკური ენერჯიის დახარჯვის შედეგად. მაგალითად, საკისრებში ლილეების ხახუნის შედეგად შესაძლებელია სითბოს ისეთი დიდი რაოდენობა გამოიყოს, რომ მოხახუნე ზედაპირების დნობა გამოიწვიოს. ამგვარად, სითბო შეიძლება მიღებული იყოს არა მხოლოდ საბოთბის დაწვის საშუალებით, არამედ მუშაობას შესრულების ხარჯზედაც.

ჯერ კიდევ 1798 წელს რუმფორდმა ზარბაზნის ლულის ბურღვაზე დაკვირვებით შენიშნა, რომ ამ დროს სითბოს ისეთი მნიშვნელოვანი რაოდენობა გამოიყოს, რომ წყალმა, რომელშიც ეს ლულა იყო ჩაშვებული, დუღილი დაიწყო.

ხახუნის დროს სითბოს გამოყოფაზე ცდებს, აგრეთვე, დევი (1799) აწარმოებდა. მან ჰაერტუმბოს ხუფის ქვეშ სპეციალური მექანიზმის საშუალებით ორი ერთმანეთთან მოხახუნე ყინულის ნაჭერი მოათავსა. ხახუნის შედეგად ყინულის გარკვეული რაოდენობა წყლად იქცა.

მექანიკური ენერჯიის სითბოდ გარდაქმნის შემთხვევები მეტად ხშირია და ადვილია მათი შემჩნევა და შესწავლა, მაგრამ, რაც შეეხება შექცეულ პროცესს, უნდა ითქვას, რომ ეს გაცალბებით უფრო რთული პროცესია და მისი შესწავლა უფრო ძნელიც არის. სწორედ ამით აიხსნება ის, რომ მუშაობად სითბოს გარდაქმნის პრაქტიკულად დამტკიცება მხოლოდ მაშინ გახდა შესაძლებელი, როდესაც გამოჩნდნენ პირველი ორთქლის მანქანები (XVIII საუკუნის ბოლოს), რომელთა საშუალებით საბოთბის დაწვით მიღებული სითბოს ხარჯზე მექანიკური ენერჯიის მიღებას მიაღწიეს.

ამგვარად, ორთქლის მანქანების გამოჩენამ და რუმფორდისა (1753—1814) და, აგრეთვე, ჯოვალის (1840) მიერ ჩატარებულმა ცდებმა მექანიკურსა და სითბურ ენერჯიის შორის ეკვივალენტობა დააშვარეს. აღსანიშნავია, რომ აზრი სითბურ და მექანიკურ ენერჯიას შორის კავშირის შესახებ, როგორც უკვე ზემოთ აღვნიშნეთ, გაცილებით უფრო ადრე ლომონოსოვმა გამოთქვა.

მაშასადამე, ვხედავთ, რომ ყოველთვის, როდესაც მუშაობის შესრულების დროს მექანიკური ენერჯიის გარკვეული რაოდენობა იხარჯება, სითბო ჩნდება და, პირიქით, ყოველთვის, როდესაც სითბოს ხარჯზე მუშაობა სრულდება, სითბოს გარკვეული ნაწილი იკარგება.

ამ მოვლენაზე დამყარებით მაიერმა 1842 წ. გამოთქვა აზრი, რომ სითბო და მუშაობა ერთიმეორის ეკვივალენტურია და მათი ერთმანეთში გადასვლა ექვემდებარება პროპორციულობის კანონს, ე. ი.

$$Q = AL,$$

(1—73)

სადაც Q —მუშაობად გარდაქმნილი სითბოს რაოდენობაა კკალ-ებით;

L — სითბოს ხარჯზე მიღებული მუშაობა კილოგრამომეტრობით;

A — პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელიც ორივე სახის ენერგიის შერჩეული განზომილების ერთეულებზეა დამოკიდებული.

(1—73) განტოლებაში შემავალი პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელიც შემდგენიარად გამოისახება.

$$A = \frac{Q}{L},$$

აირის სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც ერთეულ მუშაობას იძლევა. ამის შესაბამისად ამ სიდიდეს მუშაობის სითბური ეკვივალენტი ეწოდება.

მაშასადამე, მუშაობის სითბური ეკვივალენტი საზღვრავს, თუ რამდენი კილოკალორიის ეკვივალენტურია ერთი კილოგრამომეტრი მუშაობა. როგორც უკვე ზემოთ აღვნიშნეთ, მისი სიდიდე განსაზღვრულია ცდების საშუალებით და უკანასკნელი მონაცემების საფუძველზე მიღებულია, რომ A სიდიდის რიცხობრივი მნიშვნელობა შემდეგია:

$$A = \frac{1}{427} \text{ კკალ/კგმ.}$$

მის შექცეულ სიდიდეს სითბოს მექანიკური ეკვივალენტი ეწოდება. იგი წარმოადგენს კილოგრამომეტრობით გამოსახული მუშაობის იმ რაოდენობას, რომელიც უნდა დაეხარჯოს, რომ ერთი კილოკალორია სითბო მივიღოთ. მაშასადამე, თუ სითბოს მექანიკურ ეკვივალენტს E ასეთი აღვნიშნავთ, გვექნება

$$E = \frac{1}{A} = 427 \text{ კგმ/კკალ.}$$

ამგვარად, მუშაობის ყოველი კილოგრამომეტრი $1/427$ კილოკალორია სითბოს იძლევა და, მაშასადამე, ყოველი დახარჯული კილოკალორია სითბოს რაოდენობა 427 კილოგრამომეტრ მუშაობას იძლევა.

1—27. აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესების გარეშეხული გამოსახვა PV დიაგრამაზე

აირის ყოველი მდგომარეობა, როგორც უკვე ვიცით, ხასიათდება p , v და T სიდიდეებით, რომლებსაც აირის ძირითადი პარამეტრები ეწოდება. როდესაც აირს ვათბობთ ან ვაცივებთ, მაშინ მისი მდგომარეობა იცვლება, ე. ი. დროის განმავლობაში აირი მთელ რიგ მდგომარეობებს გაივლის. ტექნიკურ თერმოდინამიკაში სხეულის მდგომარეობის ყოველ ცვლილებას პროცესი ეწოდება. აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესის დროს მისი დამახასიათებელი p , v და T სიდიდეებიც იცვლება. ამასთან, მათი შეცვლა არ აირის ერთმეორისაგან დამოუკიდებელი და ექვემდებარება განსაზღვრულ ფუნქციონალურ დამოკიდებულებას

$$F(p, v, T) = 0, \quad (1-74)$$

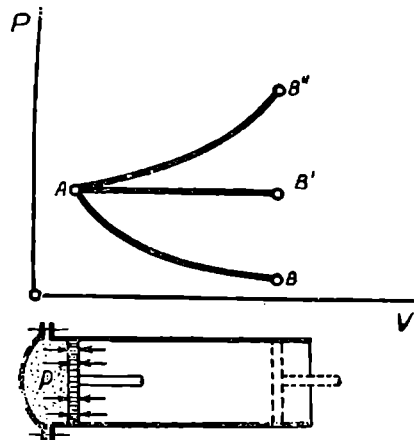
რომელსაც, ზოგადი სახით, აირის მდგომარეობის დამახასიათებელი განტოლება ეწოდება. კერძოდ, იდეალური აირებისათვის ეს განტოლება, როგორც ვიცით, გამოსახულია შემდეგნაირად:

$$pv = RT.$$

რეალური აირებისათვის დამახასიათებელ განტოლებასაც (1—74) განტოლების მსგავსი სახე აქვს.

იდეალური აირის დამახასიათებელი განტოლება გამოყენილია აირის ისეთი მდგომარეობისათვის, როდესაც აღებულია განსაზღვრული მოცულობის სხვადასხვა ნაწილში

ერთი და იგივე წნევაა, ერთნაირია მოლეკულების კონცენტრაცია და მათი (მოლეკულების) საშუალო კინეტიკური ენერჯია, ანუ სხეანაირად რომ ვთქვათ, როდესაც აირის მთელ მასაში ყოველ პარამეტრს ერთი და იგივე მნიშვნელობა აქვს. აირის ასეთ მდგომარეობას წონასწორული მდგომარეობა ეწოდება. მაშასადამე, აირის მდგომარეობის დამახასიათებელი განტოლება გამოყვანილია და მართებულია მხოლოდ წონასწორული მდგომარეობისათვის. ტექნიკურ თერმოდინამიკაში პირველ რიგში განვიხილავთ სწორედ წონასწორულ მდგომარეობას და პროცესებს, რომლებიც ასეთი წონასწორული მდგომარეობებისაგან შედგება. ასეთ პროცესს წონასწორული პროცესი ეწოდება. აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესები განსაკუთრებით თვალსაჩინოდ შეგვიძლია გრაფიკულად წარმოვიდგინოთ. კოორდინატთა სამღერძიანი სისტემით სარგებლობა მოუხერხებელია, რის გამო ჩვეულებრივად იყენებენ ორღერძიან კოორდინატთა სისტემას, რომელიც საშუალებას იძლევა სიბრტყეზე გრაფიკულად გამოვსახოთ რომელიმე ორი პარამეტრის ცვლილების კანონი და ერთის საშუალებით მეორე განვსაზღვროთ. მესამე პარამეტრის მნიშვნელობას პროცესის გამომსახველი მრუდის ყოველი წერტილისათვის დამახასიათებელი განტოლებიდან $F(p, v, T) = 0$ ანალიზური ხერხით განვსაზღვრავთ.



ნაკ. 1—8.

p დიაგრამაზე აირის მდგომარეობის ცვლილების განხილვისათვის დავეუშვათ, რომ 1 კგ აირი მოთავსებულია მოძრავდღუშთან ცილინდრში, რომელიც ისეა განლაგებული, როგორც ეს ნაკ. (1—8)-ზეა ნაჩვენები. თუ მოცემულია აირის საწყისი მდგომარეობა, რომელიც p_1 და v_1 სიდიდეებით ხასიათდება, მაშინ შესაბამისი მასშტაბის მიხედვით აბსცისთა ღერძზე ხვედრითი მოცულობისა, ხოლო ორდინატთა ღერძზე წნევის მნიშვნელობათა გადაზომვით და პერპენდიკულარების გატარებით მივიღებთ თანაკვეთის A წერტილს, რომელიც დიაგრამაზე ცილინდრში მოთავსებული აირის საწყის მდგომარეობას გამოსახავს. ამასთან, ხვედრითი მოცულობების მასშტაბი ისე უნდა იქნეს შერჩეული, რომ v_1 მონაკვეთი ცილინდრის იმ ნაწილის სიგრძის ტოლი იყოს, რომელშიაც აირი იმყოფება.

p და v სიდიდეების ცვლილების დროს აირის მდგომარეობის გამომსახველი წერტილიც სხვა მდებარეობებს დაიკავებს. დღუშის მარჯვნივ მოძრაობისას თუ დიაგრამაზე მოქცენით p და v სიდიდეების ცვლილების სათანადო წერტილებს და შემდეგ ამ წერტილებს შევადრთებთ, მაშინ რომელიღაც AB მრუდს მივიღებთ. ეს AB მრუდი p დიაგრამაზე გამოსახავს აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესს p_1, v_1 პარამეტრებით დახასიათებულ A წერტილიდან B წერტილამდე, რომლის პარამეტრებს შესაბამისად p_2

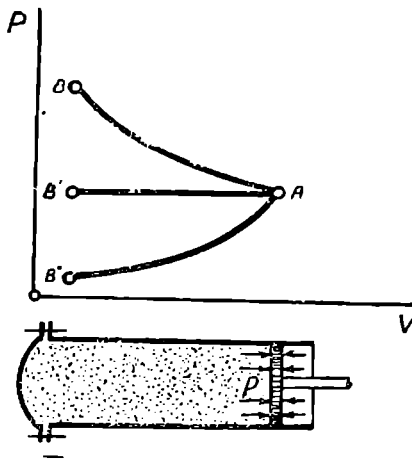
და v_2 წარმოადგენს. AB მრუდს, როდესაც $v_2 > v_1$, გაფართოების მრუდი ეწოდება.

აღებულ შემთხვევაში აირის გაფართოება ისე მიმდინარეობდა, რომ მოცულობის ზრდის დროს წნევა მცირდებოდა. მაგრამ შესაძლებელია სითბოს მიწოდების საშუალებით აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესი A წერტილიდან ისე წარემართოს, რომ წნევა მუდმივი რჩებოდეს (AB') ანდა იზრდებოდეს (AB''). და მართლაც, თუ განვიხილავთ დამახასიათებელ განტოლებას შემდეგი სახით: $p = \frac{RT}{v}$, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ აირის ტემპერატურის შესაბამისი ვადიდებით შესაძლებელია v სიდიდის ზრდის დროს წნევა მუდმივი დარჩეს, ანდა გაიზარდოს. მაშასადამე, აირის გაფართოების ერთადერთი ნიშანია მოცულობის ვადიდება და არა წნევის შემცირება.

იმ შემთხვევაში, როდესაც 1 კგ აირის საწყისი მდგომარეობა გამოსახულია A წერტილით (ნაკ. 1—9), რომლის პარამეტრებია p_1, v_1 და დგუში მარჯენიდან მარცხნივ მოძრაობს B წერტილამდე, რომლის პარამეტრებია p_2, v_2 , ხოლო ამასთან $v_2 < v_1$, მაშინ აირის მდგომარეობის ცვლილების გამომსახველ AB მრუდს შეკუმშვის მრუდი ეწოდება.

ანალოგიურად, შეკუმშვის პროცესი სითბოს რაოდენობის შეცვლით შეგვიძლია ისე წარემართოს, რომ წნევა მუდმივი რჩებოდეს (AB') ანდა მცირდებოდეს (AB''), რის გამო შეკუმშვის პროცესის ნიშანი მხოლოდ მოცულობის შემცირება იქნება.

ანალოგიურად, შეკუმშვის პროცესი სითბოს რაოდენობის შეცვლით შეგვიძლია ისე წარემართოს, რომ წნევა მუდმივი რჩებოდეს (AB') ანდა მცირდებოდეს (AB''), რის გამო შეკუმშვის პროცესის ნიშანი მხოლოდ მოცულობის შემცირება იქნება.



ნაკ. 1—9.

1—28. თერმოდინამიკის პირველი კანონის მათემატიკური გამოხატულება

თერმოდინამიკის პირველი კანონის მათემატიკური დამოკიდებულებით გამოხატვისათვის განვიხილოთ მოძრავდგუშიან ცილინდრში მოთავსებული 1 კგ აირი, რომელსაც dx უსასრულო მცირე რაოდენობის სითბოს ეაწვდით. ამ შემთხვევაში მიწოდებული სითბოს ნაწილი იხარჯება აირის ტემპერატურის dt სიდიდით გაზრდაზე, რაც თავის მხრივ, აირის ნაწილაკების მოძრაობის სიჩქარის მომატებით არის გამოწვეული და, მაშასადამე, სითბოს ეს ნაწილი აირის ნაწილაკების მოლეკულური და შიგამოლეკულური მოძრაობის ენერჯის გაზრდაზე იხარჯება.

სითბოს მეორე ნაწილი აირში შიგა მუშაობის შესრულებაზე იხარჯება, რადგანაც აირის გაფართოების დროს საჭირო ხდება მოლეკულებს შორის მოქმედი შევიდულობის ძალების წინააღმდეგობის დაძლევა. ამგვარად, სითბოს ეს ნაწილი აირის ნაწილაკების პოტენციალური ენერჯის გაზრდაზე იხარჯება.

აირის მოლეკულების ვადატანითი მოძრაობის კინეტიკური ენერჯის გაზრდის დროს მოლეკულების ვადატანითი მოძრაობის სიჩქარე იზრდება და, მაშასადამე, კურკლის კე-

დელზე მოლექულების დაჯახებათა' რიცხვი და ძალა მატულობს, რის გამო მოძრავი დგუში ds მანძილზე გადაადგილდება. ამ დროს აირს გარეგანი ძალების წინააღმდეგობის დაძლევა უხდება და გარეგან dl მუშაობას ასრულებს. ამგვარად, სითბოს მესამე ნაწილი გარე მუშაობის შესრულებაზე იხარჯება.

თუ აირის კინეტიკურ და პოტენციალურ ენერჯიათა ჯამს ავიღებთ და მთელი შიგა ენერჯიის ცვლილებას du სიდიდით აღვნიშნავთ, მაშინ ენერჯიის მულტიპლიკაციის კანონისა და სითბოსა და მუშაობის ეკვივალენტობის პრინციპის თანახმად შეგვიძლია დავწეროთ:

$$dq = du + Adl. \quad (1-75)$$

ეს განტოლება ანალიზური სახით თერმოდინამიკის პირველ კანონს გამოსახავს. მაშასადამე, ამ განტოლების საფუძველზე შეგვიძლია ვთქვათ, რომ სითბოს რაოდენობა, რომელიც აირს მიეწოდება, შიგა ენერჯიის ცვლილებასა და გარე მუშაობის შესრულებაზე იხარჯება.

როდესაც აირს ვაწვდით არა უსასრულო მცირე რაოდენობის სითბოს, არამედ რომელიმე სასრულ q რაოდენობას, მაშინ (1-75) განტოლება სასრული პროცესისათვის მიიღებს სახეს:

$$q = \Delta u + Al, \quad (1-76)$$

სადაც Δu აირის შიგა ენერჯიის ნაზრდი და l —შესრულებული გარე მუშაობა.

უნდა აღვნიშნოს, რომ პირობის მიხედვით (1-75) და (1-76) განტოლებანი შეიძლება გამოყენებულ იქნენ როგორც გაფართოების, ისე შეკუმშვის პროცესებისათვის. ასე, რომ dl აირის მუშაობის ალგებრული სიდიდე. q სითბოს რაოდენობაც ალგებრული სიდიდეა, რადგან გარე არესთან სითბოს ცვლა შეიძლება სხვადასხვა მიმართულებით მიმდინარეობდეს. ამასთან, როდესაც სხეულს სითბოს ვაწვდით, მაშინ მას ვთვლით დადებითად ($q > 0$), ხოლო, როდესაც სხეული სითბოს გარემოს გადასცემს, მაშინ — უარყოფითად ($q < 0$).

(1-75) განტოლების განსაზღვრისას მხედველობაში არ მივიღეთ ის, რომ სითბო ზოგიერთ შემთხვევაში იხარჯება როგორც გარე მუშაობის შესრულებაზე, ისე აირის ხილული კინეტიკური ენერჯიის ცვლილებაზე. ამას ადგილი აქვს მაშინ, როდესაც მდგომარეობის ცვლილებასთან ერთად ხდება ცვალებადი c სიჩქარით სივრცეში აირის ხილული გადაადგილება, მაგალითად, აირების ან ორთქლების გამოდენა. თუ ამ მოვლენასაც ვავითვალისწინებთ და სხეულის ხილული მოძრაობის კინეტიკური ენერჯიის ცვლილებას აღვნიშნავთ $d\left(\frac{mc^2}{2}\right)$, სადაც $m = \frac{1}{g}$ ერთი კილოგრამი აირის მასაა, მაშინ

(1-75) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$dq = du + Adl + Ad\left(\frac{c^2}{2g}\right). \quad (1-77)$$

კერძო შემთხვევაში, როდესაც $c = 0$ და $c = \text{const}$, მაშინ (1-77) განტოლება-ში ამ მნიშვნელობების ჩასმით (1-75) განტოლებას მივიღებთ.

დასასრულს, უნდა ითქვას, რომ არსი თერმოდინამიკის პირველი კანონისა, რომელიც ენერჯიის მულტიპლიკაციის კანონის კერძო შემთხვევას წარმოადგენს, სითბურ მოვლენებზე გამოყენებით, იმაში მდგომარეობს, რომ შესაძლებელია მუშაობა შესრულდეს სითბური ენერჯიის ხარჯზე, რაც ტოლძალოვანია იმისა, რომ შეუძლებელია გვეკონდეს ვერც ერთ წოდებულ პირველ გვარის „perpetuum mobile“, ე. ი. მანქანა, რომელიც ენერჯიის დაუხარჯავად მუშაობას შეასრულებს.

განვიხილოთ რომელიმე ერთგვაროვანი სხეული, რომლის მოცულობაა V (ნაქ. 1-10). ერთდერტო ძალას, რომლითაც ეს სხეული გარემოზე მოქმედებს, წარმოადგენს წნევა მის საზღვარზე. აღნიშნული წნევა კედლის ზედაპირის ნორმალით არის მიმართული და გაწონასწორებულია გარემოს წნევით.

დავუშვათ, რომ გარედან უსასრულო მცირე რაოდენობის dQ სითბოს მიწოდებით სხეული წყვეტილი ხაზით აღნიშნულის შესაბამის $V \rightarrow dV$ მოცულობაში გაფართოვდა. სხეულის გაფართოებისას შესრულებული მუშაობის განსაზღვრავად განვიხილოთ უსასრულოდ მცირე df ფართობი, რომელიც გაფართოების შედეგად ზედაპირის ნორმალის მიმართულებით უსასრულო მცირე ds მანძილით გადაადგილდა. ამ უსასრულო მცირე df ფართობზე მოქმედი ძალა იქნება $p df$, და მის მიერ შესრულებული მუშაობა ds მანძილზე გადაადგილებისას კი $p df ds$.

გასაგებია, რომ მთელი სხეულის მიერ შესრულებული ელემენტარული მუშაობისათვის გვექნება

$$dL = \int p df ds.$$

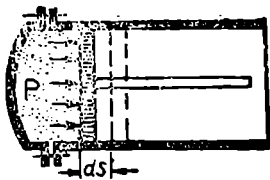
იმის გამო, რომ ზემოაღნიშნული გადაადგილება უსასრულო მცირედ გვაქვს მიჩნეული, წნევა შეგვიძლია ჩავთვალოთ მუდმივ სიდიდედ და dL -სათვის მიღებული გამოსახულება მიიღებს სახეს:

$$dL = p \int df ds.$$

მაგრამ, რადგან $\int df ds$ მთელი სხეულის მოცულობის dV ნაზრდს წარმოადგენს, ამიტომ უკანასკნელი თანაფარდობა მიიღებს სახეს:

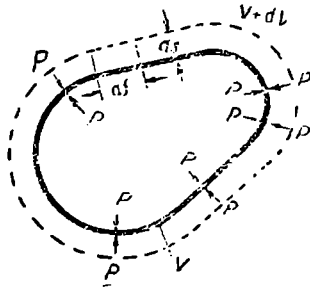
$$dL = p dV. \quad (1-78)$$

ამ ვანტოლებით გამოსახულ მუშაობას, რომელიც სხეულის გაფართოების შედეგად მივიღეთ, გაფართოების მუშაობა ეწოდება. იგი შესრულებულია სხეულის მიერ და დამდებითად ითვლება, მაშინ, როდესაც გარე სისტემის ძალებით სხეულზე წარმოებულ მუშაობას უარყოფითად ვთვლით.



ნაქ. 1-11.

როდესაც აირის წნევა გარე წნევის ტოლია, მაშინ აირის ხვედრითი მოცულობა უცვლელია. აირის უსასრულო მცირე გაფართოება შესაძლებელია მხოლოდ გარე წნევის უსასრულო მცირე სიდიდეზე შემცირებით, ანდა აირის წნევის უსასრულო მცირე სიდიდეზე გაზრდით. ამ შემთხვევაში დღეში მარჯვნივ უსასრულო მცირე dx მანძილზე გადაადგილდება და აირი გაფართოების მუშაობას შესრულებს. ცხადია, რომ



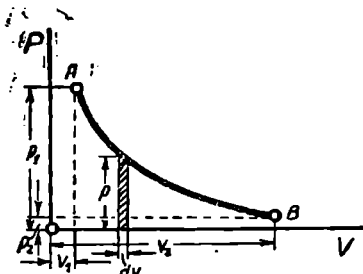
ds მანძილზე დღუშის მარჯვნივ გადაადგილებისას აირის მოცულობაც უსასრულო მცირე dv ნაზრდს მიიღებს. თუ დღუშის ფართობს F -ით აღვნიშნავთ, მაშინ

$$dv = Fds.$$

დღუშზე მოქმედი ძალა $P = pF$, ამიტომ თანახმად ზემომოყვანილი მსჯელობისა, აირის მიერ შესრულებული მუშაობა დღუშის ds მანძილზე გადაადგილებისას გამოისახება შემდეგნაირად:

$$dl = Pds = pFds = p dv. \quad (1-79)$$

აქედან გამომდინარეობს, რომ რადგან წნევა ყოველთვის დადებითია, ამიტომ, როდესაც $dv > 0$, მაშინ $dl > 0$, ე. ი. თუ აირის გაფართოების პროცესი გვაქვს, მაშინ მუშაობა დადებითია და პირიქით, როდესაც $dv < 0$, მაშინ $dl < 0$, ე. ი. აირის მოცულობის შემცირებისას ანუ აირის შეკუმშვის დროს მუშაობა უარყოფითია. პირველ შემთხვევაში აირი მუშაობას ასრულებს გარე ძალების გადალახვით, ამის გამო აირის გაფართოების მუშაობას ხშირად გარე მუშაობას უწოდებენ.



ნაკ. 1-12.

თების პროცესი გვაქვს. გაფართოების დროს შესრულებული მუშაობის გამოთვლა სიძნელეს წარმოადგენს, თუ $p \neq \text{const}$. ამის გამო ამ პროცესიდან გამოვიყოთ აირის გაფართოების პროცესი, რომლის დროსაც იგი ds უსასრულო მცირე ნაზრდს ღებულობს. აღებული შემთხვევისათვის შეგვიძლია p წნევა მუდმივ სიდიდედ ჩავთვალოთ და მუშაობა (1-79) განტოლების თანახმად განვსაზღვროთ, ე. ი. $dl = p dv$.

A -დან B წერტილამდე 1 კგ აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესის დროს მთელი შესრულებული მუშაობის გამოთვლისათვის საჭიროა, რომ მიღებული გამოსახულების ინტეგრირება v_1 -დან v_2 -მდე მოვახდინოთ და, მაშასადამე, შესრულებული მთელი მუშაობისათვის გვექნება

$$l = \int_{v_1}^{v_2} p dv. \quad (1-80)$$

ნაკრამ, რადგან p საერთოდ ცვალებადი სიდიდეა, ამიტომ ინტეგრირება და, მაშასადამე, მუშაობის განსაზღვრა შესაძლებელი გახდება მხოლოდ მაშინ, როდესაც p და v სიდიდეებს შორის განსაზღვრული ფუნქციონალური დამოკიდებულება გვეცოდინება. ამგვარად, თუ მოცემული გვაქვს, რომ $p = f(v)$, მაშინ

$$I = \int_{v_1}^{v_2} f(v) dv. \quad (1-81)$$

მათემატიკიდან ცნობილია, რომ როდესაც გვაქვს მრუდი $p = f(v)$ (ნაკ. 1-13), რომელიც გამოსახულია pv კოორდინატთა სისტემაში, მაშინ (1-81) განტოლების მარჯვენა მხარე გამოსახავს $ABCD$ ფართობს, ე. ი.

$$F = \int_{v_1}^{v_2} f(v) dv.$$

აქედან კი გამომდინარეობს, რომ pv დიაგრამაზე პროცესის მრუდით, ნაპირა ორდინატებით და აბსცისთა ღერძით შემოსაზღვრული ფართობი განსაზღვრული მასშტაბით აირის გაფართოების მუშაობას იძლევა.

იმ შემთხვევაში, როდესაც პროცესი B -დან A -სკენ მიმდინარეობს, მაშინ შეკუმშვის პროცესი გვექნება და იგივე ფართობი შეკუმშვის მუშაობას გამოსახავს. შეკუმშვის მუშაობაც (1-80) ფორმულით განისაზღვრება, მხოლოდ აქ ინტეგრირების შემდეგ უარყოფით მნიშვნელობას მივიღებთ, რაც იმის მარჩენებელი იქნება, რომ აირის მიერ კი არ არის შესრულებული მუშაობა, არამედ მის შეკუმშვაზე გარედან არის დახარჯული მუშაობა.

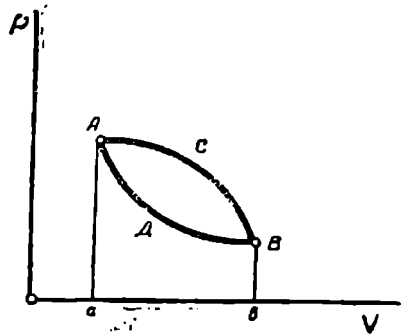
ამგვარად, pv დიაგრამაზე აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესის გრაფიკული გამოსახულება ნათელ წარმოდგენას იძლევა პროცესის მიმდინარეობისა და p და v შორის დამოკიდებულების შესახებ, ხოლო მრუდით შემოსაზღვრული ფართობი კი მუშაობის განსაზღვრის შესაძლებლობას იძლევა. ეს უკანასკნელი გარემოება კი მნიშვნელოვანი დასკვნის გამოტანის საშუალებას გვაძლევს. ნაკ. (1-13)-დან ჩანს, რომ A და B წერტილები აირის ორ მდგომარეობას გამოსახავს; ამასთან, აირის მდგომარეობის ცვლილების დროს პროცესი AB მრუდით გამოისახება. ამ მრუდის სახე შეიძლება სხვადასხვაგვარი იყოს იმისდა მიხედვით, თუ რა შუალედურ მდგომარეობებს გადის აირი.

ნაკ. (1-14)-დან ჩანს, რომ A -დან B წერტილამდე აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესი შეიძლება მიმდინარეობდეს როგორც ACB , ისე ADB მრუდით. რადგან დიაგრამაზე მიღებული ფართობით შესრულებული მუშაობის სიდიდე განისაზღვრება, ამიტომ ამ ორივე შემთხვევაში სხვადასხვა სიდიდის მუშაობას მივიღებთ. აქედან კი გამომდინარეობს, რომ აირის ერთი მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლის დროს მუშაობის სიდიდე არსებითად გადასვლის გზის სახით განისაზღვრება, ე. ი. პროცესის ხასიათზე დამოკიდებული. მაშასადამე, მუშაობა მიმდინარე პროცესის ფუნქციაა. აქედან კი შეგვიძლია გამოვიტანოთ დასკვნა, რომ dl არ არის სრული დიფერენციალი.

და, ბოლოს, აღსანიშნავია, რომ თანამდებლობის ელემენტარული მუშაობისათვის გამოყენებული $dl = p dv$ განტოლებისა, თერმოდინამიკის პირველი კანონის მათემატიკური გამოსახულება შეიძლება შემდეგნაირად გამოისახოს

$$dq = du + p dv, \quad (1-82)$$

სადაც du წარმოადგენს შიგა ენერჯიის უსასრულოდ მცირე ნაზრდს, ხოლო $p dv$ —სითბური ერთეულებით გამოსახულ ელემენტარულ მუშაობას.



ნაკ. 1-14.

ზემოთ შიგა ენერჯიის განხილვის დროს ჩვენ დავადგინეთ, რომ შიგა ენერჯია ფუნქციად აირის ძირითადი პარამეტრებისა, რომლებიც, თავის მხრივ, აირის მდგომარეობას საზღვრავენ. სხვანაირად რომ ვთქვათ, შიგა ენერჯია აირის მდგომარეობის ფუნქციაა. აქედან კი გამომდინარეობს, რომ თუ აირის მდგომარეობის დამახასიათებელი სიდიდეებია p , v და t , მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ, რომ

$$u = f(p, v, t)$$

და შიგა ენერჯიის უსასრულო მცირე ნაზრდი

$$du = df(p, v, t).$$

თუ განვიხილავთ ნაკ. 1—14-ზე მოყვანილ მაგალითს, დაერწმუნდებით, რომ, როგორც გზითაც არ უნდა მიმდინარეობდეს აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესი (ACB და ADB მიმართულებით), A და B წერტილებში აირისათვის ყოველთვის შიგა ენერჯიის ერთსა და იმავე მნიშვნელობებს მივიღებთ, რადგან მათ ამ წერტილებით გამოსახულ მდგომარეობაში საესებოთ გარკვეული დამახასიათებელი სიდიდეები აქვთ. თუ აღვნიშნავთ A წერტილით გამოსახული მდგომარეობის განმსაზღვრელ სიდიდეებს p_1 , v_1 და t_1 -ით, ხოლო B წერტილით გამოსახულისა p_2 , v_2 და t_2 -ით, მაშინ პროცესის მსვლელობის მიუხედავად ყოველთვის გვექნება

$$u_1 = f(p_1, v_1, t_1) \quad \text{და} \quad u_2 = f(p_2, v_2, t_2)$$

და საბოლოოდ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ აირის შიგა ენერჯია დამოკიდებულია ალგებულ მომენტში მის მდგომარეობაზე და არა იმ პროცესზე, რომლითაც იგი ამ მდგომარეობაში იყო მიყვანილი. ეს კი იმის მაჩვენებელია, რომ du არის აირის მდგომარეობის დამახასიათებელი სიდიდეების სრული დიფერენციალი და შიგა ენერჯიის ცვლილება A და B წერტილით გამოსახულ მდგომარეობებს შორის იქნება

$$\int_1^2 du = u_2 - u_1 = f(p_2, v_2, t_2) - f(p_1, v_1, t_1). \quad (1-83)$$

მაშასადამე, აირის შიგა ენერჯიის ცვლილება სავსებით განსაზღვრულია მისი საწყისი და საბოლოო მდგომარეობებით და დამოუკიდებელია შუალედური მდგომარეობებისაგან.

რაც შეეხება dq სითბოს რაოდენობას, უნდა ითქვას, რომ რადგან იგი სრული და არასრული დიფერენციალების ჯამია, ამიტომ იგი არასრულ დიფერენციალს წარმოადგენს.

ზემომოყვანილი მსჯელობის თანახმად, თერმოდინამიკის პირველი კანონის მათემატიკური გამოსახულება სასრული პროცესისათვის ასეთ სახეს მიიღებს:

$$q = u_2 - u_1 + A l. \quad (1-84)$$

თ ა მ ი 1—6

ძირითადი თერმოდინამიკური პროცესების გამოკვლევა

1—31. გამოკვლევის თანამიმდევრობა და მეთოდი

აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესები ზოგადად ხასიათდებიან იმით, რომ იცვლება აირის მდგომარეობის ძირითადი პარამეტრები—წნევა, ხვედრითი მოცულობა და ტემპერატურა. პროცესების გამოკვლევის ამოცანას შეადგენს, აირის მდგომარეობის

ცვლილების დროს პროცესში მონაწილე სითბოს რაოდენობის, გაფართოებისას აირის მიერ შესრულებული ან მისი შექმენთვისას დახარჯული მუშაობისა და შიგა ენერჯის ცვლილების განსაზღვრა.

ცხადია, რომ ერთ-ერთი ამ სიდიდეთაგანი შეგვიძლია განვსაზღვროთ თერმოდინამიკის პირველი კანონის ანალიზური გამოსახულების საშუალებით, სახელდობრ,

$$dq = du + Adl$$

განტოლებით, თუ ვიცით დანარჩენი სიდიდეები, რადგან შიგა ენერჯის ცვლილების სიდიდე დამოკიდებულია სხეულის მდგომარეობის დამახასიათებელი სიდიდეების ცვლილებაზე, ამიტომ მისი განსაზღვრისათვის საჭიროა წინასწარ განვსაზღვროთ, თუ რა მნიშვნელობები ექნება ძირითად პარამეტრებს საწყის და საბოლოო მდგომარეობებში. მუშაობის სიდიდე კი, თავის მხრით, პროცესის ბუნებრივად განვსაზღვრავთ. ამგვარად, პროცესების გამოკვლევის დროს საჭირო ხდება იმ მათემატიკური დამოკიდებულების მოძებნა, რომლის მიხედვითაც იცვლება აირის მდგომარეობის პარამეტრები. ამ შენთხვევაში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება p და v პარამეტრებს შორის დამოკიდებულების მოძებნას, რადგან იგი p -ს სისტემაში პროცესის მრუდის აგებისა და მუშაობის რაოდენობის განსაზღვრის საშუალებას იძლევა. პროცესის მრუდის აგების შესაძლებლობა, თავის მხრით, თერმოდინამიკის მრავალი საკითხისა და ამოცანის გრაფიკული ხერხით გადაწყვეტის საშუალებას იძლევა, რაც ხშირად ანალიზური ხერხით გადაწყვეტასთან შედარებით უფრო ადვილია.

საბოლოოდ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ პროცესების გამოკვლევის დროს საჭიროა აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესების მიხედვით განვსაზღვროთ პროცესის განტოლება და მისი საშუალებით ავაგოთ მრუდი. შემდეგ პროცესის განტოლებისა და მდგომარეობის განტოლების საშუალებით განვსაზღვროთ უცნობი პარამეტრები. ამის შემდეგ კი განვსაზღვროთ შიგა ენერჯის ცვლილება, შესრულებული ან დახარჯული მუშაობა და პროცესში მონაწილე სითბოს რაოდენობა.

რადგან აირების მდგომარეობის ცვლილების პროცესის გამოკვლევის დროს უნარგებლობთ გრაფიკული გამოსახულებით და მდგომარეობის განტოლებით, ამიტომ, ცხადია, რომ ჩვენ ვიხილავთ წინასწორულ მდგომარეობებს და შექცევად პროცესებს, რომლებიც ამ წინასწორულ მდგომარეობათა მთელი რიგიდან შედგება.

აირების მდგომარეობის ცვლილება შეიძლება ისე ხდებოდეს, რომ პროცესის ნიმუშის დინამიკის დროს აირის მდგომარეობის დამახასიათებელი p , v და T პარამეტრებიდან რომელიმე მუდმივი რჩებოდეს, რაც ზოგადი შემთხვევის კერძო შემთხვევას წარმოადგენს. ასეთ პროცესებს, რომლებსაც თბობტექნიკაში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება, წარმოადგენენ:

1. აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესი მუდმივი მოცულობის დროს, $v = \text{const}$, რომელსაც იზოქორული პროცესი ეწოდება;
2. აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესი მუდმივი წნევის დროს, $p = \text{const}$, რომელსაც იზობარული პროცესი ეწოდება;
3. აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესი მუდმივი ტემპერატურის დროს, $T = \text{const}$, რომელსაც იზოთერმული პროცესი ეწოდება.
4. აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესი სითბოს მიწოდებისა და აღინების გარეშე; $dq = 0$ და $d\tau = 0$, რომელსაც ადიბატური პროცესი ეწოდება.
5. პოლიტროპული პროცესი, რომელიც ხასიათდება $p \cdot v^n = \text{const}$ განტოლებით. პოლიტროპის მაჩვენებელი n შესაძლებელია იყოს ნებისმიერი მუდმივი რიცხვი (+ დან — ა. მდე).

იზოქორული პროცესის განტოლებას $v = \text{const}$ წარმოადგენს. თუ ამ პროცესს გრაფიკულად p - v დიაგრამაზე განვიხილავთ, მაშინ როგორც ეს ცნობილია მათემატიკიდან, $v = \text{const}$ განტოლება გამოსახავს ორდინატა ღერძის პარალელურ სწორ ხაზს (ნაკ. 1-15), რომელსაც იზოქორა ეწოდება.

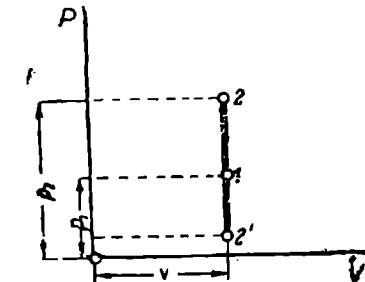
იზოქორული პროცესის დროს პარამეტრებს შორის კავშირის დასამყარებლად, განვიხილოთ უძრავი დგუშის მქონე ცილინდრში მოთავსებული 1 კგ აირი, რომელსაც სითბოს ვაწოდებთ. თუ აღვნიშნავთ აირის საწყისი მდგომარეობის პარამეტრებს p_1 , v და T_1 -ით და სითბოს მიწოდების შემდეგ მიღებული საბოლოო მდგომარეობის პარამეტრებს p_2 , v და T_2 -თი, მაშინ ბოილ-მარიოტისა და გეი-ლუსაკის გაერთიანებული კანონის თანახმად შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\frac{p_1 v}{T_1} = \frac{p_2 v}{T_2}$$

საიდანაც

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (1-85)$$

აქედან კი გამომდინარეობს, რომ იზოქორული პროცესის დროს აირის წნევათა ცვლილება აბსოლუტურ ტემპერატურათა ცვლილების პირდაპირ პროპორციულია. მაშასადამე, აირის გაბობნის დროს წნევა იზრდება, ხოლო გაციეებისას კი მცირდება. დიაგრამაზე (ნაკ. 1-15) სითბოს მიწოდების პროცესი 1-2 ხაზით გამოისახება. სითბოს არინების პროცესი კი 1-2' ხაზით.



ნაკ. 1-15.

გვექნება

სასრული მნიშვნელობისათვის კი

იზოქორული პროცესის დროს გარე მუშაობა $dl = p dv$ ნულის ტოლი იქნება, რადგან $v = \text{const}$ და $dv = 0$. ამავე შედეგს მივიღებთ, თუ p - v დიაგრამას განვიხილავთ. ვიცი, რომ p - v დიაგრამაზე მუშაობა გრაფიკულად პროცესის მრუდით, ნაპირა ორდინატებით და აბსცისთა ღერძით შემოსაზღვრული ფართობით გამოისახება; ამ შემთხვევაში ფართობი, რომელიც მუშაობას შეესაბამება, ნულის ტოლი იქნება, რადგან პროცესი ორდინატთა ღერძის პარალელური სწორი ხაზით გამოისახება. მაშასადამე, $p dv = 0$ და მუდმივი მოცულობის დროს აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესი ისე მიმდინარეობს, რომ მუშაობა არ სრულდება.

თუ ამას გავითვალისწინებთ, მაშინ პროცესში მონაწილე dq_v სითბოს უსასრულო მცირე რაოდენობისათვის, თანახმად თერმოდინამიკის პირველი კანონის ანალიზური გამოსახულებისა

$$dq_v = du_v + A p dv, \quad (1-86)$$

$$dq_v = du_v \quad (1-86)$$

$$q_v = (u_2 - u_1), \quad (1-87)$$

ე. ი. იზოქორული პროცესის დროს მიწოდებული სითბოს მთელი რაოდენობა აირის შიგა ენერჯიის ცვლილებაზე იხარჯება. ამასთან, სულერთია—იდეალურ აირს ვიხილავთ, თუ რეალურს.

თანახმად სითბოტევალობის განმარტებისა გვაქვს:

$$c_v = \frac{dq_v}{dt},$$

საიდანაც მდგომარეობის უსასრულოდ მცირე ცვლილებისათვის

$$dq_v = c_v dt \quad (1-85)$$

სასრული მნიშვნელობისათვის კი

$$q_v = c_{v,m} (t_2 - t_1). \quad (1-89)$$

ჩოდესაც ერთი კილოგრამი აირის ნაცვლად აღებული გვაქვს G კგ აირი, რომლის მოცულობაა $V_{\text{ნორ}}$. მაშინ სითბოს რაოდენობა შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$Q_v = Gc_{v,m} (t_2 - t_1) = V_{\text{ნორ}} \cdot c'_{v,m} (t_2 - t_1).$$

ჩოდგან იზოქორული პროცესის დროს სითბოს მიწოდება ან არინება მიოლოდ 'შიგა ენერჯიის ცვლილებას იწვევს, ამიტომ შიგა ენერჯიის ცვლილება შეგვიძლია განვისაზღვროთ იმავე ფორმულებით, რომლებმაც განისაზღვრება სითბოს რაოდენობა.

ამგვარად, მდგომარეობის უსასრულო მცირე ცვლილებისათვის, გვაქვება:

$$du_v = c_v dt, \quad (1-90)$$

სოლო სასრული მნიშვნელობისათვის კი

$$\Delta u_v = c_{v,m} (t_2 - t_1). \quad (1-91)$$

შიგა ენერჯიის ცვლილება ნებისმიერი რაოდენობის აირისათვის კი განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$\Delta U_v = Gc_{v,m} (t_2 - t_1) = V_{\text{ნორ}} \cdot c'_{v,m} (t_2 - t_1). \quad (1-92)$$

1-33. იდეალური აირის შიგა ენერჯიის გამოთვლა. თერმოდინამიის პირველი კანონის განტოლება იდეალური აირისათვის

'სემოთ ჩვენ აღვნიშნეთ, რომ იზოქორული პროცესის დროს, ვიხილავთ რღე-ალურ თუ რეალურ აირს, შიგა ენერჯიის ცვლილება განისაზღვრება გამოსახულებით

$$du_v = c_v dt.$$

თუ განვიხილავთ, რომელიმე სხვა პროცესს, ჩოდესაც $v \neq \text{const}$, მაშინ ეს გამოსახულება რეალური აირისათვის არ იქნება მართებული და ზართლაც ვიცით, რომ აირის 'შიგა ენერჯია შედგება ოთხი მდგენლისაგან, რომელთაგან ნეოთზე მდგენელი წარმოადგენს შექვიდულობის ძალთა პოტენციალურ ენერჯიას, რომელიც $v = \text{const}$ დროს მუდმივია. ჩოდესაც მოცულობა მუდმივია არ აირის, მაშინ აღნიშნული პოტენციალური ენერჯია იცვლება მოლკეულთა შორის საშუალო მანძილის ცვლილების გამო. ამიტომ რეალური აირის შიგა ენერჯიის ცვლილება, გარდა ტემპერატურისა, $v \neq \text{const}$ დროს დამოკიდებულია აგრეთვე შექვიდულობის ძალთა პოტენციალური ენერჯიის ცვლილებაზე და

$$du \neq c_v dt.$$

ემ შემთხვევაში კი, ჩოდესაც იდეალურ აირს ვიხილავთ, მაშინ სხვა დანარჩენ პროცესებში შიგა ენერჯიის ცვლილება განისაზღვრება იმავე ფორმულით, რაც მუდმივი მოცულობის დროს; ეს კი გამომდინარეობს იქიდან, რომ იდეალური აირის შიგა ენერჯია შედგება მხოლოდ პირველი სამი მდგენლისაგან, რადგან იდეალური აირის განსაზღვრის თანახმად მას შექვიდულობის ძალები არა აქვს, და მათ მიერ გამოწვეული პოტენ-

ციალური ენერჯიის ცვლილება, ცხადია, ნულის ტოლია. აქედან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ იდეალური აირის შიგა ენერჯიის ცვლილება მხოლოდ იმ მდგენელების ცვლილებით განისაზღვრება, რომლებიც ტემპერატურაზეა დამოკიდებული და, მაშასადამე, იდეალური აირის შემთხვევაში ნებისმიერი პროცესისათვის გვექნება

$$du = du_0 = c_v dt, \quad (1-93)$$

ხოლო სასრული პროცესისათვის

$$\Delta u = c_{vm} (t_2 - t_1). \quad (1-94)$$

რადგან შიგა ენერჯიის ნულოვან მნიშვნელობად ვთვლით იმ მნიშვნელობას, რომელიც შეესაბამება იდეალური აირის მდგომარეობას 0°C დროს, ამიტომ $t_1 = 0$ და $u_1 = 0$ დაშვებით $t_2 = t$ ნებისმიერი ტემპერატურისათვის გვექნება:

$$u = c_{vm} t. \quad (1-95)$$

როდესაც ათვლას კელვინის აბსოლუტურ 0° -დან ვიწყებთ, მაშინ

$$u = c_{vm} T. \quad (1-96)$$

ზემოაღნიშნული საშუალებას იძლევა თერმოდინამიკის პირველი კანონის ანალიზური გამოსახულება იდეალური აირებისათვის $du = c_v dt$ გათვალისწინებით, უსასრულო მცირე ცვლილებისათვის, შემდეგნაირად დავწეროთ:

$$dq = c_v dt + A p dv, \quad (1-97)$$

ხოლო სასრულისათვის კი

$$q = c_{vm} (t_2 - t_1) + A l. \quad (1-98)$$

დასასრულ, ზემოაღნიშნული ფორმულების თანახმად და თერმოდინამიკის პირველი კანონის ანალიზური გამოსახულების გამოყენებით შეგვიძლია კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი დასკვნა გამოვიტანოთ. განვიხილოთ წონითი სითბოტევადობის გამოსახულება

$$c = \frac{dq}{dt},$$

რომელშიაც თერმოდინამიკის პირველი კანონის განტოლების თანახმად dq სითბოს რაოდენობის მნიშვნელობა ჩავსვათ, რის შემდეგ გვექნება

$$c = \frac{du + A dl}{dt} = \frac{du}{dt} + \frac{A dl}{dt}$$

ამ ტოლობის მარჯვენა ნაწილის მეორე წევრი, ცხადია, გამოსახავს 1°C გათბობის დროს აირის გაფართოების მუშაობას, რომელსაც ხვედრითი მუშაობა ეწოდება. თუ ხვედრითი მუშაობას აღვნიშნავთ h -ით, ე. ი. დავუშვებთ, რომ

$$h = \frac{A dl}{dt} = \frac{A p dv}{dt},$$

მაშინ მივიღებთ

$$c = \frac{du}{dt} + h. \quad (1-99)$$

იდეალური აირისათვის $du = c_v dt$ და

$$c = \frac{c_v dt}{dt} + h,$$

საიდანაც

$$c = c_v + h. \quad (1-100)$$

მასასადასე, იდეალური აირის წონითი სითბოტევალობა, ზოგად შემთხვევაში, მუდმივი მოცულობის დროს წონითი სითბოტევალობისა და ხვედრითი მუშაობის ჯამს წარმოადგენს.

1-34. პროცესი მუდმივი წნევის დროს (იზობარული პროცესი)

იზობარული პროცესის განტოლებას $p = \text{const}$ წარმოადგენს. თუ ამ პროცესს გრაფიკულად p დიაგრამაზე განვიხილავთ, მაშინ აღებული განტოლება გამოსახავს აბსცისთა ღერძის პარალელურ სწორ ხაზს (ნაკ. 1-16), რომელსაც იზობარა ეწოდება.

აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესი მუდმივი წნევის დროს შევიძლია განვხარტოთ, თუ ავიღებთ მუდმივი ტემპრატურით დატვირთულ მოძრავდგუშთან ცილინდრს, რომელშიაც 1 კგ აირს მოვთავსებთ და მის გათბობას ან გაციელებას მოვახდენთ. ამ შემთხვევაში აირი სათანადოდ გაფართოვდება ან შეიკუმშება და დგუში შესაბამისად გადაადგილდება, რის გამო მოცულობა შეიცვლება და წნევა კი მუდმივი დარჩება.

იზობარული პროცესის დროს პარამეტრებს შორის კავშირის დასამყარებლად გამოვიყენოთ, ჩვენთვის უკვე ცნობილი, გეოლუსაკის კანონი, რომლის საფუძველზე, თუ აირის საწყისი მდგომარეობის პარამეტრებს p, v_1 და T_1 -ით აღვნიშნავთ, ხოლო გათბობის შემდეგ კი p, v_2 და T_2 -ით, გვექნება

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

აქედან კი გამომდინარეობს, რომ როდესაც მუდმივია, გათბობის დროს აირის ტემპრატურა იზრდება და აირი ფართოვდება, რის გამო p დიაგრამაზე აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესი 1-2 სწორი ხაზით გამოისახება. გაციელების დროს კი ტემპრატურის დაცემა გვექნება, აირი შეიკუმშება და p დიაგრამაზე პროცესი 1-2' ხაზით გამოისახება.

მუშაობა ამ პროცესშიაც უნდა განვსაზღვროთ ფორმულით:

$$dl = p dv, \quad \text{საიდანაც} \quad l = \int p dv. \quad (a)$$

რადგან $p = \text{const}$, ამიტომ v_1 და v_2 ზღვრებს შორის ინტეგრირებით, მივიღებთ:

$$l = p(v_2 - v_1). \quad (1-101)$$

იმავე შედეგს მივიღებთ, თუ მუშაობას p დიაგრამაზე გამოსახული ფართობის საშუალებით გამოვთვლით. ნაკ. 1-16-დან ჩანს, რომ იზობარული პროცესის დროს ფართობი წარმოადგენს სწორკუთხედს, რომლის სიმაღლეა p და ფუძე კი $(v_2 - v_1)$, აღებული სათანადო მასშტაბით. მასასადასე, მუშაობის გამოთვლა სწორკუთხედის ფართობის გამოთვლაზე დაიყვანება და სიმაღლისა და ფუძის ვადამრავლებით სავსებით (1-101) გამოისახულებას მივიღებთ.

მუშაობის გამოსათვლელი ფორმულა შეიძლება სხვა სახითაც გამოვსახოთ, თუ გამოვიყენებთ მდგომარეობის დამახასიათებელ განტოლებას $pv = RT$

ამ გამოსახულების ორივე მხრის დიფერენცირებით, მივიღებთ $p dv = R dT$. მიღებული მნიშვნელობის (a) გამოსახულებაში ჩასმით, გვექნება $dl = R dT$; საიდანაც

$$l = \int_{T_1}^{T_2} R dT$$

და საბოლოოდ გვექნება

$$l = R(T_2 - T_1) = R(t_2 - t_1). \quad (1-102)$$

ნებისმიერი რაოდენობის აირისათვის, რომლის წონაა G კგ. მუშაობა გამოითვლება ფორმულით

$$L = GR(t_2 - t_1). \quad (1-103)$$

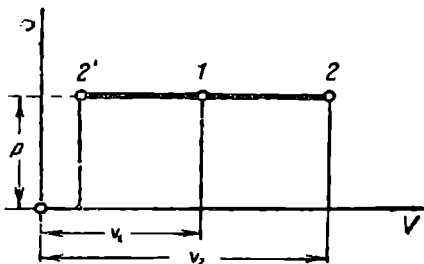
ეს გამოსახულება საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ R აირის მუდმივას ფიზიკური არსი (1-103) განტოლებიდან თუ

$$R = \frac{L}{G(t_2 - t_1)}$$

დაეუშვებთ, რომ $G = 1$ კგ და $t_2 - t_1 = 1^\circ\text{C}$, მაშინ L -ის ნაცვლად აღებული უნდა იქნეს l და, მაშასადამე,

$$R = l.$$

მაშასადამე, აირის მუდმივა R წარმოადგენს მუდმივი წნევის დროს 1 კგ აირის გაფართოების მუშაობას, რომელიც სრულდება აირის ერთი გრადუსით გათბობის დროს.



ნაქ. 1-16.

სითბოს რაოდენობის განსაზღვრისათვის გამოვიყენოთ ჩვენთვის უკვე ცნობილი დამოკიდებულება

$$c_p = \frac{dq_p}{dt},$$

საიდანაც $dq_p = c_p dt$ და სასრული მნიშვნელობისათვის გვექნება

$$q_p = c_{pm} (t_2 - t_1). \quad (1-104)$$

მიწოდებული ან არჩენებული სითბოს რაოდენობა იზობარული პროცესის დროს ნებისმიერი რაოდენობის აირისათვის, რომლის წონაა G კგ და მოცულობა ნორმალურ პირობებში $V_{ნორ}$, განისაზღვრება ფორმულით:

$$Q_p = Gc_{pm} (t_2 - t_1) = V_{ნორ} c'_{pm} (t_2 - t_1).$$

იზობარული პროცესის დროს იდეალური აირის შიგა ენერჯიის ცვლილება, როგორც უკვე ზემოთ ვთქვი, განისაზღვრება

$$du = c_v dt,$$

სასრული ცვლილებისათვის კი

$$\Delta u = c_v (t_2 - t_1).$$

რადგან ამ პროცესის დროს აირის გაფართოებისას მისი ტემპერატურა იზრდება, ამიტომ აირის შიგა ენერჯიაც მატულობს, შეკუმშვის დროს კი შიგა ენერჯია მცირდება. მაშასადამე, იზობარული პროცესის დროს მიწოდებული სითბოს რაოდენობა შიგა ენერჯიის ცვლილებასა და მუშაობის შესრულებაზე იხარჯება.

1-35. მაიერის ფორმულა. სითბოტევადობათა ფაქტობა k .

მაიერის ფორმულის გამოყენებისათვის განვიხილოთ აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესი მუდმივი წნევის დროს და ვნახოთ თუ რა სახეს მიიღებს ამ პროცესისათვის თერმოდინამიკის პირველი კანონის განტოლება. ამისათვის

$$dq = du + A p dv.$$

განტოლებაში ჩაესვით მნიშვნელობანი

$$dq \quad c_p dt, \quad du = c_v dt \quad \text{და} \quad A p dv = AR dT$$

რის შემდეგ გვექნება

$$c_p dt = c_v dt + AR dT.$$

რადგან $dt = dT$, ამიტომ მიღებული გამოსახულების ორივე მხრის dt -ზე შეკვეცით მივიღებთ:

$$c_p = c_v + AR \quad \text{და} \quad c_p - c_v = AR. \quad (1-105)$$

ამ გამოსახულებას მაიერის ფორმულა ეწოდება. როგორც ამ დამოკიდებულებიდან ჩანს, მუდმივი წნევის დროს მიწოდებული სითბოს ნაწილი მუშაობის შესრულებაზე იხარჯება. მაიერის ფორმულა მიღებული გვაქვს ერთი კილოგრამი აირისათვის. ერთი შოლი აირისათვის კი იგი მიიღებს სახეს

$$\mu c_p - \mu c_v = A \mu R. \quad (1-105')$$

ამ ფორმულაში $A = \frac{1}{427}$ კკალ/კგმ და $\mu R = 848$ კგმ/მოლ. გრად. მნიშვნელობების ჩასმით გვექნება:

$$\mu c_p - \mu c_v = \frac{1}{427} \cdot 848 = 1,986 = 2 \text{ კკალ/მოლ. გრად.} \quad (1-106)$$

მოცულობით სითბოტევალობებს შორის (1-105) გამოსახულების შესაგავსი თანაფარდობის დასამყარებლად გამოვიყენოთ (1-105') ფორმულა, რომლის საფუძველზე, მუდმივი წნევისა და მუდმივი მოცულობის დროს მოცულობით სითბოტევალობათა სხვაობისათვის გვექნება

$$-c' = \frac{\mu c_p}{22,4} - \frac{\mu c_v}{22,4} = \frac{A \mu R}{22,4} = \frac{1 \cdot 848}{427 \cdot 22,4} = 0,088 \text{ კკალ/ნ. მ}^3 \text{ გრად.} \quad (1-107)$$

პრაქტიკულად მნიშვნელოვანი ზოგიერთი სიდიდის გამოსათვლელად $c_p - c_v$ სხვაობის ცოდნასთან ერთად საჭიროა ვიცოდეთ $\frac{c_p}{c_v}$ თვარდობა, რომელიც k ასოთი აღინიშნება. იმის დაშვებით, რომ სითბოტევალობანი მუდმივი სიდიდეებია, მივიღებთ: ერთატომიანი აირისათვის

$$k = \frac{c_p}{c_v} = \frac{\mu c_p}{\mu c_v} = \frac{5}{3} = 1,66;$$

ორატომიანი აირისათვის

$$k = \frac{\mu c_p}{\mu c_v} = \frac{7}{5} = 1,4;$$

სამ. და მრავალატომიანი აირისათვის

$$k = \frac{\mu c_p}{\mu c_v} = \frac{9}{7} = 1,29.$$

როდესაც სითბოტევალობანი მუდმივი სიდიდეებს არ წარმოადგენენ, მაშინ k სიდიდე ტემპერატურის ფუნქციაა. ამასთან, ტემპერატურის გადიდებისას მისი სიდიდე მცირდება, რაც აიხსნება იმით, რომ c_v სითბოტევალობა მუდმივი მოცულობის დროს ტემპერატურის გადიდებისას უფრო მეტად იზრდება, ვიდრე c_p სითბოტევალობა მუდმივი წნევის დროს. ეს ცხადია აგრეთვე შემდეგი დამოკიდებულებიდან:

$$k = \frac{c_p}{c_v} = \frac{c_v + AR}{c_v} = 1 + \frac{AR}{c_v} = 1 + \frac{A \mu R}{\mu c_v} = 1 + \frac{1,986}{\mu c_v}. \quad (1-108)$$

ამ გამოსახულებიდან ნათლად ჩანს, რომ, რადგან ტემპერატურის გადიდებისას μ -ს იზრდება, ამიტომ k სიდიდე ტემპერატურის ზრდის დროს მცირდება.

k სიდიდის საშუალებით შეგვიძლია გამოვსახოთ c_p და c_v სითბოტევადობანი და მივიღოთ თანაფარდობები, რომლებიც ხშირად გამოიყენება. ეიცით, რომ

$$k = \frac{c_p}{c_v}, \quad \text{საიდანაც} \quad k = \frac{c_v + AR}{c_v} = 1 + \frac{AR}{c_v}.$$

ამ გამოსახულებიდან მივიღებთ:

$$c_v = \frac{AR}{k-1}. \quad (1-109)$$

სითბოტევადობა მუდმივი წნევის დროს კი ტოლია $c_p = kc_v$, სადაც (1-109) დამოკიდებულებიდან c_v -ს მნიშვნელობის ჩასმით, მივიღებთ

$$c_p = \frac{k}{k-1} AR \quad (1-110)$$

1-36. სითბოშემცველობა

როგორც უკვე ვიცით, თერმოდინამიკის პირველი კანონის განტოლება 1 კვ აირის სასრული ცვლილებისათვის გამოისახება შემდეგნაირად:

$$q = \Delta u + A l.$$

თუ ამ გამოსახულებას განვიხილავთ იზობარული პროცესისათვის და ჩაესვათ მნიშვნელობებს საწყისი და საბოლოო მდგომარეობებისათვის

$$\Delta u = u_2 - u_1 \quad \text{და} \quad l = p(v_2 - v_1),$$

მივიღებთ:

$$q_p = u_2 - u_1 + Ap(v_2 - v_1), \quad (a)$$

რომელიც შეიძლება შემდეგნაირადაც გამოისახოს:

$$q_p = (u_2 + A p v_2) - (u_1 + A p v_1). \quad (b)$$

$u + A p v$ სიდიდე აღინიშნება i ასოთი და მას სითბოშემცველობა ან ენტალპია ეწოდება. მაშასადამე,

$$i = u + A p v. \quad (1-111)$$

როგორც ამ გამოსახულებიდან ჩანს, i სიდიდე აირის ყოველი მდგომარეობისათვის საეცებით გარკვეულ მნიშვნელობას ლებულობს, რადგან მის გამოსახულებაში შემავალი სიდიდეები მდგომარეობის პარამეტრებია. აქედან კი გამომდინარეობს, რომ, რადგან სითბოშემცველობის გამოსახულებაში შემავალი სიდიდეები მდგომარეობის პარამეტრებია, ამიტომ თვით სითბოშემცველობაც შეგვიძლია მივიღოთ როგორც აირის მდგომარეობის პარამეტრი.

თუ აირის მდგომარეობა იცვლება და ამასთან ისე, რომ საწყისი მდგომარეობის პარამეტრებია p_1 , v_1 და u_1 და სითბოშემცველობა

$$i_1 = u_1 + A p_1 v_1,$$

ხოლო საბოლოო მდგომარეობის პარამეტრებია p_2 , v_2 და u_2 , მაშინ საბოლოო მდგომარეობის სითბოშემცველობის სიდიდე განისაზღვრება გამოსახულებით

$$i_2 = u_2 + A p_2 v_2.$$

ამასთან სულერთია, თუ რა გზით ჩატარდება აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესი საწყისიდან საბოლოო მდგომარეობამდე.

სითბოშემცველობის არსის ნათელსაყოფად მოყახდინოთ მისი ძირითადი (1-11) გამოსახულების დიფერენცირება, რის შემდეგ გვექნება

$$di = du + Ad(pv),$$

რადგან

$$du = c_v dt = c_v dT \text{ და } d(pv) = d(RT) = R dT,$$

ამიტომ

$$di = c_v dT + AR dT = (c_v + AR) dT$$

და $c_p = c_v + AR$ ჩასმით საბოლოოდ მივიღებთ

$$di = c_p dT. \quad (1-112)$$

ამგვარად, di წარმოადგენს სითბოს ელემენტარულ რაოდენობას, რომელიც 1 კგ აირს შეუღმივი წვევის დროს მიეწოდება.

სითბოშემცველობის ათვლა შეიძლება წარმოებდეს როგორც აბსოლუტური, ისე ასკრადუსიანი სკალის 0°-დან. ასე რომ

$$i = \int_0^T c_p dT = c_{pm} T \text{ და } i = \int_0^t c_p dt = c_{pm} t. \quad (1-113)$$

გასაგებია, რომ ამ განტოლებებით განსაზღვრული სითბოშემცველობათა რიცხობრივი მნიშვნელობანი ერთმეორისაგან განსხვავდებიან. მაგრამ, რადგან თბოტექნიკურ გაანგარიშებებში ჩვენ სითბოშემცველობის აბსოლუტურ მნიშვნელობას კი არ ვსაზღვრავთ, არამედ მის ცვლილებას, ამიტომ სულერთია, თუ რომელი სკალით მოყახდენთ ათვლას და, მაშასადამე, რომელ ფორმულას გამოვიყენებთ. ეს ცხადია შემდეგი ტოლობიდან:

$$\Delta i = i_2 - i_1 = c_{pm} T_2 - c_{pm} T_1 = c_{pm} t_2 - c_{pm} t_1, \text{ რადგან } T_2 - T_1 = t_2 - t_1$$

თუ დავეუბრუნდებით ამ პარაგრაფში მოყვანილ (b) გამოსახულებას და აღვნიშნავთ $i_1 = u_1 + Apv_1$ და $i_2 = u_2 + Apv_2$, მაშინ გვექნება

$$q_p = i_2 - i_1. \quad (1-114)$$

მაშასადამე, იზობარულ პროცესში მონაწილე სითბოს რაოდენობა საბოლოო და საწყისი მდგომარეობების სითბოშემცველობათა სხვაობით განისაზღვრება. როგორც ვხედავთ, ეს შედეგი მართებულია როგორც იდეალური, ისე რეალური აირებისათვის და საზოგადოდ ყოველი სხეულისათვის. ამ გარემოებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ორთქლებისათვის, რადგან ადვილი ხდება პროცესში მონაწილე სითბოს განსაზღვრა იმის გამო, რომ ორთქლებისათვის სითბოშემცველობათა მნიშვნელობანი მოცემულია ცხრილებით და საექციალური დიაგრამებით.

1-37. პროცესი მუდმივი ტემპრატურის დროს (იზოთერმული პროცესი)

იზოთერმული პროცესი იმით ხასიათდება, რომ ტემპერატურა მუდმივია. თუ მას გრაფიკულად გამოვსახავთ, მაშინ ამ პროცესის გამომსახველი მრუდი წარმოადგენს აირის ყველა მდგომარეობის შესაბამისი გეომეტრიულ წერტილთა ერთობლიობას, რომლებიც ერთი და იგივე ტემპერატურას ეთანადებიან. მაშასადამე, ამ პროცესის დროს ტემპერატურის ნაზრდი არა გვაქვს $dT = 0$ და $T = \text{const.}$

იზოთერმული პროცესისათვის, რომ განესაზღვროთ, თუ რა კანონს ემორჩილება აირის მდგომარეობის ცვლილება, განვიხილოთ 1 კგ აირისათვის მდგომარეობის განტოლება $p v = RT$, მაშინ, რადგან აღებული შემთხვევისათვის $T = \text{const}$, მივიღებთ

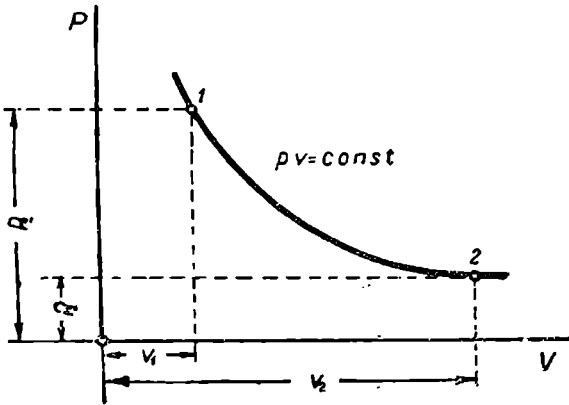
$$p v = \text{const} . \quad (1-115)$$

ეს კი, როგორც ვიცით, $p v$ სისტემაში წარმოადგენს ტოლვერდა ჰიპერბოლას, რომლის ასიმპტოტები კოორდინატთა ღერძებია. $p v = \text{const}$ განტოლებით გამოსახულ მრუდს (ნაქ. 1-17) იზოთერმა ეწოდება.

იზოთერმის აგება იმ წესით უნდა შესრულდეს, რომელიც ტოლვერდა ჰიპერბოლის აგებისას აირის გამოყენებული. მაგრამ აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ უფრო ზუსტია და მარტივი მისი აგება p და v კოორდინატების საშუალებით. v სიდიდეების მთელი რიგი მნიშვნელობების შერჩევით (1-115) განტოლებიდან უნდა განესაზღვროთ p სიდიდეები და დიაგრამაზე მიღებული წერტილების მიხედვით ავაგოთ მრუდი.

როდესაც ვიხილავთ იზოთერმული პროცესის დროს აირის მდგომარეობის ცვლილებას, რომლის საწყისი მდგომარეობის პარამეტრებია p_1, v_1 და T და საბოლოო მდგომარეობისა კი p_2, v_2 და T , მაშინ პარამეტრებს შორის კავშირის დასამყარებლად უნდა გამოვიყენოთ ბოილ-მარიოტის კანონი, რის საფუძველზე შევიძლია დავწეროთ.

როდესაც ვიხილავთ იზოთერმული პროცესის დროს აირის მდგომარეობის ცვლილებას, რომლის საწყისი მდგომარეობის პარამეტრებია p_1, v_1 და T და საბოლოო მდგომარეობისა კი p_2, v_2 და T , მაშინ პარამეტრებს შორის კავშირის დასამყარებლად უნდა გამოვიყენოთ ბოილ-მარიოტის კანონი, რის საფუძველზე შევიძლია დავწეროთ.



ნაქ. 1-17.

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{v_1}{v_2} ,$$

აქედან კი გამომდინარეობს, რომ იზოთერმული გაფართოებისას აირის წნევა მცირდება ბოლო შექუშვის დროს კი იზრდება. ცხადია, რომ ტემპერატურის მუდმივობის შენარჩუნებისათვის გაფართოებისას აირს სითბო უნდა მივაწოდოთ, შექუშვისას კი უნდა მოვასდინოთ სითბოს არინება.

მუშაობის გამოსათვლელად გამოვიყენოთ ჩვენთვის უკვე ცნობილი გამოსახულება

$$l = \int_{v_1}^{v_2} p dv ,$$

რომელშიაც აირის მდგომარეობის დამახასიათებელი განტოლებიდან $p = \frac{RT}{v}$ მნიშვნელობის ჩასმით მივიღებთ

$$l = \int_{v_1}^{v_2} RT \frac{dv}{v} = RT \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v} ,$$

რადგან RT ნამრავლი მუდმივი სიდიდეა. ამ გამოსახულების ინტეგრირებით მუშაობისათვის მივიღებთ განტოლებას

$$l = RT \ln \frac{v_2}{v_1} = RT 2,303 \lg \frac{v_2}{v_1} \quad (1 - 116)$$

თუ მივიღებთ მხედველობაში იმას, რომ $\frac{v_2}{v_1} = \frac{p_1}{p_2}$, მაშინ მუშაობა შეგვიძლია ასე გამოვსაზოთ:

$$l = RT \ln \frac{p_1}{p_2} = RT 2,303 \lg \frac{p_1}{p_2}. \quad (1 - 117)$$

(1-116) და (1-117) განტოლებებში შეგვიძლია RT ნამრავლის მაგიერ $p_1 v_1$ ნამრავლი ჩავსვათ, რის შემდეგ გვექნება

$$l = p_1 v_1 \ln \frac{v_2}{v_1} = p_1 v_1 2,303 \lg \frac{v_2}{v_1} \quad \text{ან} \quad l = p_1 v_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = p_1 v_1 2,303 \lg \frac{p_1}{p_2}.$$

შიგა ენერგიის ცვლილების მნიშვნელობა იდეალური აირისათვის, როგორც უკვე ვიცით, განისაზღვრება გამოსახულებით $du = c_v dt$; მაგრამ, რადგან ამ შემთხვევაში $T = \text{const}$, ამიტომ $dT = dt = 0$ და $du = 0$, ე. ი. იზოთერმული პროცესის დროს აირის შიგა ენერგია უცვლელია. აქედან კი, იზოთერმული პროცესისათვის თერმოდინამიკის პირველი კანონის განტოლებებს

$$dq = du + Adl$$

საფუძველზე, შეგვიძლია გამოვიტანოთ დასკვნა, რომ რადგან $du = 0$, ამიტომ

$$dq = Adl,$$

ხოლო სასრული ცვლილებისათვის

$$q = Al,$$

ე. ი. იზოთერმული პროცესის დროს მიწოდებული სითბოს მთელი რაოდენობა აირის გაფართოების მუშაობაზე იხარჯება და, მაშასადამე, აირის იზოთერმული შეკუმშვის დროს კი სითბოს ის რაოდენობა უნდა არინდეს, რომელიც შეკუმშვაზე გარედან დახარჯული მუშაობის ეკვივალენტურია. აქედან კი გამომდინარეობს, რომ იზოთერმულ პროცესში მონაწილე სითბოს რაოდენობა განისაზღვრება მუშაობის გამოსათვლელი ფორმულების A -ზე გამრავლებით, ე. ი. 1 კვ აირის შემთხვევისათვის გვექნება

$$q = ART \ln \frac{v_2}{v_1} = ART 2,303 \lg \frac{v_2}{v_1} = ART \ln \frac{p_1}{p_2} = ART 2,303 \lg \frac{p_1}{p_2}$$

და

$$q = A p_1 v_1 \ln \frac{v_2}{v_1} = A p_1 v_1 2,303 \lg \frac{v_2}{v_1} = A p_1 v_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = A p_1 v_1 2,303 \lg \frac{p_1}{p_2}.$$

მაშასადამე, იზოთერმული პროცესის შემთხვევაში, $p v$ დიაგრამაზე აირის მდგომარეობის ცვლილების გამომსახველი მრუდით, ნაპირა ორდინატებითა და აბსცისთა ღერძით შემოსაზღვრული ფართობი გამოსახავს არა მარტო მუშაობას, არამედ პროცესში მონაწილე სითბოს რაოდენობასაც კვამბით, რომელიც სითბურ ერთეულებში გადასაყვანად A მუშაობის თერმულ ეკვივალენტზე უნდა გამრავლდეს.

როდესაც მუშაობას ან პროცესში მონაწილე სითბოს ესაზღვრავთ არა ერთი კვ აირისათვის, არამედ G კვ-სათვის, მაშინ მათი განსაზღვრისათვის მიღებული ფორმულები უნდა გამრავლდეს G -ზე და ცხადია, რომ v ხვედრითი მოცულობის მაგიერ მთელი V მოცულობის მნიშვნელობა უნდა ჩავსვათ.

განსახილავ პროცესს დიდი მნიშვნელობა აქვს როგორც ბუნების მრავალი მოვლენისათვის, ისე ტექნიკისათვის, განსაკუთრებით თბოძრავების მუშაობისათვის.

ალიაბატური პროცესის დროს აირის მდგომარეობა ისე იცვლება, რომ აირი გარემოდან სითბოს არც ღებულობს და არც გადასცემს მას, ე. ი.

$$dq = 0.$$

რა თქმა უნდა, რომ ამ შემთხვევაში სითბოს მთელი რაოდენობაც $q = 0$, მაგრამ აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ $q = 0$ პირობა ალიაბატური პროცესისათვის საკმარისი არ არის, რადგან შესაძლებელია ისეთი პროცესები, რომელთა ერთ ნაწილში სითბოს მიწოდება ხდება და მეორეში სითბოს იმავე რაოდენობის არინება. საბოლოოდ, ამ შემთხვევაში $q = 0$, მაგრამ, სითბოს ცვლას გარემოსთან მაინც აქვს ადგილი და, ცხადია, პროცესი ალიაბატური არ იქნება. მაშასადამე, ალიაბატური პროცესისათვის აუცილებელი პირობაა, რომ სითბოს ცვლის გარეშე წარმოებდეს არა მხოლოდ მთელი პროცესი, არამედ მისი უსასრულო მცირე ელემენტები კი.

ალიაბატური პროცესის განხორციელებისათვის საჭიროა, რომ აირი მოთავსებული იყოს ისეთ კურკელში, რომელიც სითბოს აბსოლუტურად გაუმტარია, ანდა პროცესი ისე სწრაფად წარმოებდეს, რომ მისი მიმდინარეობის დროს ვერ მოასწოროს სითბომ სხეულში, ან პირიქით, სხეულიდან გარემომცველ არეში გადასვლა. რადგან ბუნებაში არ მოგვეპოვება ისეთი სხეული, რომელიც სითბოს აბსოლუტურად გაუმტარია, ამიტომ ალიაბატური პროცესი შეგვიძლია მხოლოდ მიახლოებით განვახორციელოთ. ამის გარდა, თუ განვიხილავთ ალიაბატურ პროცესს, რომელიც მიმდინარეობს სასრული სიჩქარით, უნდა აღვნიშნოთ, რომ იგი შეუქცევადი იქნება. მაგრამ ამ შემთხვევაშიც, როგორც სხვა დანარჩენ შემთხვევებში, პროცესს განვიხილავთ იდეალური პირობებისათვის, ე. ი. კურკელი, რომელშიაც აირია მოთავსებული, სითბოს აბსოლუტურად გაუმტარია და შემდეგ, საჭიროებისდა მიხედვით, გავითვალისწინებთ იმ შესწორებებს, რომლებიც იდეალურ პირობებს ნამდვილს მიუახლოვებენ.

განვიხილოთ იდეალური შემთხვევა, როდესაც 1 კგ აირი მოთავსებულია მოძრავ დგუშთან ცილინდრში, რომელიც სითბოს აბსოლუტურად გაუმტარი მასალისაგან არის დამზადებული. თუ ამ შემთხვევაში ცილინდრში მოთავსებული აირი ფართოვდება, მაშინ იგი დგუშის გადაადგილებას იწვევს და გარე მუშაობას ასრულებს. ამასთან, რადგან მუშაობის შესრულება გარედან სითბოს მიწოდების გარეშე ხდება, ამიტომ ცხადია, რომ მუშაობა აირის შიგა ენერჯის ცვლილების ხარჯზე სრულდება. ამის შესაბამისად, აგრეთვე, თუ აირის სუბსტიციის პროცესი გვაქვს, მაშინ შეკუმშვაზე დახარჯული მუშაობის ექვივალენტურ, შიგა ენერჯის ცვლილებას მივიღებთ.

ამავე დასკვნამდე მივალთ, თუ განვიხილავთ თერმოდინამიკის პირველი კანონის ანალოზურ გამოსახულებას ალიაბატური პროცესისათვის, ე. ი. დაეუშვებთ, რომ $dq = 0$. ამ შემთხვევაში გვექნება

$$du + Adl = 0, \tag{a}$$

საიდანაც

$$Adl = -du \tag{1-118}$$

და $du = c_v dt$ მხედველობაში მიღებით

$$Adl = -c_v dt, \tag{1-119}$$

ე. ი. ალიაბატური გაფართოების დროს გარე მუშაობა აირის შიგა ენერჯის შემცირების ხარჯზე სრულდება და, ცხადია, რომ ამ დროს აირის ტემპერატურა მცირდება; ალიაბატური შეკუმშვის დროს კი გარე ძალების მიერ დახარჯული მუშაობის ხარჯზე ხდება აირის შიგა ენერჯის ზრდა, რაც ტემპერატურის ამაღლებასთან არის დაკავშირებული.

პარამეტრებს შორის კავშირის დასამყარებლად (ა) გამოსახულებაში ჩავსვათ $du = c_v dt$ და $dl = p dv$, რის შემდეგ მივიღებთ:

$$c_v dt + A p dv = 0. \quad (b)$$

ამ განტოლებიდან გამოვირიცხოთ $dt = dT$. ამისათვის გადადიფერენციალოთ განტოლება $pv = RT$:

$$p dv + v dp = R dT,$$

საიდანაც

$$dT = \frac{p dv + v dp}{R}.$$

ამ გამოსახულების (b) დამოკიდებულებაში ჩასმით გვექნება:

$$\frac{c_v}{R} (p dv + v dp) + A p dv = 0; \quad (c)$$

მაგრამ, რადგან $c_v = \frac{AR}{k-1}$ ამიტომ (c) თანაფარდობა მიიღებს სახეს:

$$\frac{A}{k-1} (p dv + v dp) + A p dv = 0,$$

საიდანაც

$$p dv + v dp + (k-1) p dv = 0 \quad \text{და} \quad v dp + k p dv = 0. \quad (d)$$

(d) გამოსახულების pv -ზე გაყოფით, გვექნება

$$\frac{dp}{p} + k \frac{dv}{v} = 0.$$

ამ განტოლების ინტეგრირებით მივიღებთ

$$\ln p + k \ln v = \text{const}.$$

აქედან კი

$$\ln p v^k = \text{const}. \quad (e)$$

ამგვარად, $\ln p v^k$ არის მუდმივი სიდიდე და ამის გამო თვით $p v^k$ სიდიდეც მუდმივია. მაშასადამე (e) გამოსახულებიდან შეიძლება დაიწეროს

$$p v^k = \text{const}. \quad (1-120)$$

მიღებული გამოსახულება pv კოორდინატებში აღებული პროცესის მრუდის განტოლებას წარმოადგენს, როდესაც $k = \frac{c_p}{c_v} = \text{const}$ (ნაკ. 1-18).

ხშირად თერმოდინამიკური ამოცანების გადაწყვეტის დროს საჭიროა ადიაბატური პროცესისათვის T და v ან T და p პარამეტრებს შორის კავშირის ცოდნა. ამისათვის (1-120) განტოლებიდან მდგომარეობის განტოლების თანახმად გამოვირიცხოთ ჯერ p და შემდეგ v სიდიდე.

$p = \frac{RT}{v}$ ჩასმით (1-120) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\frac{RT v^k}{v} = \text{const},$$

საიდანაც

$$T\nu^{k-1} = \frac{\text{const}}{R}$$

და რადგან R მუდმივი სიდიდეა, ამიტომ

$$T\nu^{k-1} = \text{const.} \quad (1-121)$$

აირის მდგომარეობის განტოლებიდან ვიცით, რომ

$$\nu = \frac{RT}{p}$$

ამ მნიშვნელობის ჩასმით (1-120) განტოლებაში გვექნება

$$p \left(\frac{RT}{p} \right)^k = \text{const.}, \quad \text{საიდანაც}$$

$$R^k T^k \frac{p}{p^k} = \text{const.}$$

გარდაქმნით მივიღებთ

$$T^k p^{1-k} = \frac{\text{const}}{R^k},$$

აქედან კი საბოლოოდ გვექნება

$$T^k p^{1-k} = \text{const.} \quad (1-122)$$

ცხადია, რომ (1-121) განტოლება გამოსახავს ადიბატის განტოლებას $T\nu$ სისტემაში, ხოლო (1-122) — Tp სისტემაში, როდესაც $k = \text{const}$.

ადიბატის ზემომოყვანილი განტოლებები პროცესის ორი წერტილის პარამეტრებს შორის დამოკიდებულების განსაზღვრის საშუალებას იძლევა.

(1-120) განტოლებიდან პროცესის ორი წერტილის პარამეტრებისათვის გვექნება

$$p_1 \nu_1^k = p_2 \nu_2^k,$$

საიდანაც

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{\nu_1}{\nu_2} \right)^k; \quad (1-123)$$

აქედან კი გამოვძინარეობს, რომ ადიბატური გაფართოების დროს წნევა მცირდება, ხოლო შეკუმშვის დროს იზრდება.

(1-123) თანაფარდობა შეიძლება შემდეგნაირადაც გამოვსახოთ:

$$\frac{\nu_2}{\nu_1} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{k}}$$

ანალოგიურად, T და ν პარამეტრებს შორის დამოკიდებულებისათვის (1-121) განტოლებიდან გვექნება

$$T_1 \nu_1^{k-1} = T_2 \nu_2^{k-1},$$

საიდანაც

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{\nu_1}{\nu_2} \right)^{k-1} \quad \text{ან} \quad \frac{\nu_2}{\nu_1} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{k-1}} \quad (1-124)$$

p და T პარამეტრებს შორის დამოკიდებულებას კი განვსაზღვრავთ (1-122) განტოლების საშუალებით, რომლის საფუძველზე გვექნება

$$T_1^k p_1^{1-k} = T_2^k p_2^{1-k},$$

საიდანაც

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad \text{ან} \quad \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (1-125)$$

როგორც უკვე აღნიშნეთ, ადიაბატური პროცესისათვის ყოველი მიღებული გამოსახულება აღებულია $k = \text{const}$ შემთხვევისათვის. როდესაც $k \neq \text{const}$, მაშინ p , v და T პარამეტრებს შორის გამომსახველი დამოკიდებულება მეტად რთულია და პრაქტიკული გამოთვლებისათვის მოუხერხებელი. ამის გამო გაანგარიშებებში იყენებენ $k = \text{const}$ შემთხვევისათვის გამოყვანილ განტოლებებს, ხოლო ითვალისწინებენ k -ს დამოკიდებულებას ტემპერატურაზე. ამ შემთხვევაში, როდესაც ცნობილია T_1 და T_2 , გამოითვლიან k სიდიდის საშუალო მნიშვნელობას და მას მიღებულ განტოლებებში ჩასვამენ. თუ მოცემულია ტემპერატურის მხოლოდ ერთი მნიშვნელობა, მაშინ k სიდიდის საშუალო მნიშვნელობას მიასლოებით იღებენ.

ადიაბატური პროცესის დროს მუშაობის გამოსათვლელად გამოიყენოთ (1-119) განტოლება, რომლის ინტეგრირებით $c_v = \text{const}$ დროს მივიღებთ

$$A! = c_v (t_1 - t_2) = c_v (T_1 - T_2),$$

საიდანაც

$$l = \frac{c_v}{A} (T_1 - T_2). \quad (1-126)$$

მაგრამ, რადგან $c_v = \frac{AR}{k-1}$, ამიტომ

$$l = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2). \quad (1-127)$$

თუ ამ განტოლებაში გავითვალისწინებთ, რომ $p_1 v_1 = RT_1$ და $p_2 v_2 = RT_2$, მაშინ გვექნება

$$l = \frac{1}{k-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2). \quad (1-128)$$

$p_1 v_1$, სიდიდის ფრჩხილებს გარეთ გამოტანით და $\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k$ დამოკიდებულების გათვალისწინებით განტოლება (1-128) მიიღებს სახეს:

$$l = \frac{p_1 v_1}{k-1} \left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} \right]. \quad (1-129)$$

თანხმად (1-123) განტოლებისა, უკანასკნელი გამოსახულება შეიძლება დაიწეროს შემდეგნაირად:

$$l = \frac{p_1 v_1}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]. \quad (1-130)$$

(1-125) განტოლების საფუძველზე კი (1-130) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$l = \frac{p_1 v_1}{k-1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right). \quad (1-131)$$

ცხადია, რომ ამ უკანასკნელ გამოსახულებაში $p_1 v_1$ ნამრავლის მაგიერ შეგვიძლია ჩავსვათ RT_1 , რის შემდეგ გვექნება

$$l = \frac{RT_1}{k-1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right). \quad (1-132)$$

ყველა მიღებული განტოლება გამოყვანილია 1 კგ აირისათვის, G კგ-ისათვის კი

საკიროა მიღებული ფორმულების G -ზე გამრავლება. ამასთან ცხადია, რომ G შეგვიძლია V -თი შევცვალოთ.

ეს დიაგრამაზე მუშაობა პროცესის შრუდით, ნაპირა ორდინატებითა და აბსცისათა ღერძით შემოსაზღვრული $ABCD$ ფართობით (ნაქ. 1—19) გამოისახება. რადგან ადიაბატური პროცესის დროს მუშაობის სიდიდე შიგა ენერჯიის ცვლილების ეკვივალენტურია, ამიტომ $ABCD$ ფართობი შიგა ენერჯიის ცვლილებასაც გამოისახავს.

(1—128) განტოლება გვიჩვენებს, რომ მუშაობა საწყისი და საბოლოო პარამეტრებით აგებული სწორკუთხედების ფართობების სხვაობისა და $\frac{1}{k-1}$ წილადის ნამრავლის ტოლია.

აირის შეკუმშვის დროს მუშაობა იმავე ფორმულებით გამოითვლება, მხოლოდ ამ შემთხვევაში მუშაობის სიდიდეს უარყოფითი ნიშნით მივიღებთ.

თუ საწყისი A წერტილიდან (ნაქ. 1—19) AB' იზოთერმას გადავვლეთ, დაეინახავთ, რომ AB' იზოთერმა AB ადიაბატის ზემოთ მოექცევა, რადგან იზოთერმული პროცესის დროს აირის შიგა ენერჯია უცვლელია და ტემპერატურა კი მუდმივი, ხოლო ადიაბატური პროცესის დროს აირის შიგა ენერჯია მცირდება და ტემპერატურაც კლებულობს.

განვიხილოთ იზოთერმული და ადიაბატური გაფართოებანი, რომლებიც ისე წარმოებენ, რომ მათი საბოლოო მოცულობები ერთი და იგივეა (ნაქ. 1—19). იზოთერმული პროცესის საბოლოო წერტილის პარამეტრები აღვნიშნოთ p'_B, v_B და T'_B , ადიაბატური პროცესისა კი p_B, v_B და T_B . ამ ორივე საბოლოო წერტილისათვის დავწეროთ მდგომარეობის განტოლება:

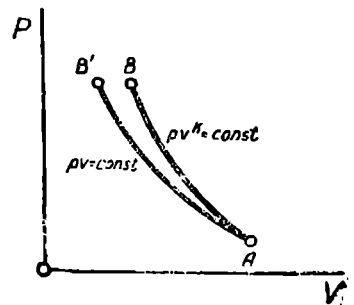
$$p'_B v_B = RT'_B, \quad p_B v_B = RT_B.$$

პირველი განტოლების მეორეზე ვაყოფით, მივიღებთ

$$\frac{p'_B}{p_B} = \frac{T'_B}{T_B}$$

მაგრამ, რადგან $T'_B > T_B$, ამიტომ $p'_B > p_B$ და, მაშასადამე, B' წერტილი უფრო მაღლა მდებარეობს, ვიდრე B წერტილი, რაც ზემონათქვამს ადსატურებს, ე. ი. იმას, რომ გაფართოების დროს იზოთერმა უფრო მაღლაა, ვიდრე ადიაბატა.

შეკუმშვის დროს კი საწინააღმდეგო მოვლენას აქვს ადგილი. ამ შემთხვევაში (AB) ადიაბატა უფრო მაღლაა მოთავსებული, ვიდრე (AB') იზოთერმა (ნაქ. 1—20). აქედან კი გამომდინარეობს, რომ მოცულობის განსაზღვრულ ფარგლებში აირის მდგომარეობის ცვლილების დროს იზოთერმული გაფართოება უფრო მეტ მუშაობას იძლევა, ვიდრე ადიაბატური, ხოლო შეკუმშვის დროს იზოთერმული შეკუმშვაზე უფრო ნაკლები მუშაობა ისარჯება, ვიდრე ადიაბატურზე.



ნაქ. 1—20.

ზემოვანხილულ თერმოდინამიკურ პროცესებში მოცემული გვექონდა გარკვეული პირობები, რომელთა თანახმად ერთ-ერთი პარამეტრი მთელი პროცესის განმავლობაში მუდმივი რჩებოდა, ანდა როგორც ეს ადიაბატურ პროცესში გვექონდა, პარამეტრების ცვლილებისას $dq=0$ და $q=0$. აღნიშნული პროცესების გარდა შესაძლებელია ისეთი პროცესებიც, რომელთა დროსაც ადგილი აქვს ყველა პარამეტრის ცვლილებას და სითბოს მიწოდებას ან არინებას თუმცა ეს პროცესებიც ემორჩილებიან ენერჯის გარდაქმნის კანონსა და აირის მდგომარეობის განტოლებას. ასეთ პროცესებს პოლიტროპული ეწოდებათ. მაშასადამე, პოლიტროპულ პროცესში p, v, T და dq სიდიდეების მიმართ არაფიქსირებულია არა აქვს ადგილი.

პოლიტროპის განტოლება. პოლიტროპული პროცესის მრუდის—პოლიტროპის—განტოლებას p, v კოორდინატთა სისტემაში აქვს შემდეგი სახე:

$$p v^n = \text{const}, \quad (1-133)$$

სადაც n არის პოლიტროპის მაჩვენებელი, რომელიც აღებულ პროცესისათვის მუდმივი სიდიდეა.

პოლიტროპული პროცესების რაოდენობა უსასრულოდ დიდია, და n მაჩვენებლის სიდიდე შეიძლება იცვლებოდეს 0-დან $\pm \infty$ -მდე.

ძრავებში აირების შეკუმშვისა და გაფართოების პროცესები ისე მძვინვარებენ, რომ n მაჩვენებლის სიდიდე მუდმივი არ რჩება. ასეთ შემთხვევებში პროცესის მრუდს ჰყოფენ ისეთ ცალკეულ უბნებად, სადაც შეიძლება, რომ n პოლიტროპის მაჩვენებელი მუდმივად ჩაითვალოს. შემდგომში განიხილება მხოლოდ ისეთი პოლიტროპული პროცესები, რომლებშიც n მუდმივია.

ყოველი პოლიტროპული პროცესისათვის დამახასიათებელია Δu შიგა ენერჯის ცვლილებაზე დახარჯული სითბოსი და პროცესში მონაწილე მთელი სითბოს ფარდობის მუდმივობა, ე. ი. ფარდობა

$$\varphi = \frac{\Delta u}{q}. \quad (1-134)$$

გამოვარკვეით, თუ როგორ არის განაწილებული სითბო შიგა ენერჯის ცვლილება-სა და გარე მუშაობის შესრულებაზე. შიგა ენერჯის ცვლილებაზე დახარჯული სითბოს რაოდენობა იქნება $\Delta u = c_v q$, ხოლო გარე მუშაობაზე $l = \frac{1}{A} (1 - \varphi) q$.

ახლა განვიხილოთ, თუ როგორ არის განაწილებული სითბო ზემოვანხილულ პროცესებში.

იზოქორულ პროცესში, როგორც ვიცით, მუშაობა არ სრულდება და მთელი სითბო იხარჯება შიგა ენერჯის ცვლილებაზე. ამის გამო $\varphi = 1$.

იზობარული პროცესისათვის ($c = \text{const}$ დროს)

$$\Delta u = c_p (t_2 - t_1) \text{ და } q = c_p (t_2 - t_1).$$

ჩაესვით ეს მნიშვნელობანი (1-134) გამოსახულებაში და φ -ის მიმართ ამოვხსნათ, რის შემდეგ გვექნება

$$\varphi = \frac{c_v}{c_p} = \frac{1}{\frac{c_p}{c_v}} = \frac{1}{k}.$$

* პროცესის სახელწოდება ბერძნული სიტყვისაგან წარმოსდგება: პოლი—მრავალი, ტროპის—გზა, მიმართულება.

იზოთერმულ პროცესში შიგა ენერჯიის ცვლილება არა გვაქვს და მთელი სითბო გარე მუშაობაზე იხარჯება, რის გამო $\varphi=0$.

ადიაბატურ პროცესში $q=0$; (1-134) გამოსახულებიდან გვაქვს

$$\varphi = \frac{\Delta u}{q} = \frac{\Delta u}{0} = \infty.$$

ამგვარად, განხილულ პროცესებში φ სიდიდეს საესებით გარკვეული მნიშვნელობა აქვს. მაგრამ, როგორც უკვე ზემოთ ვთქვით, შესაძლებელია ისეთი პროცესებიც, რომელთა დროსაც ყველა პარამეტრი იცვლება და ამავე დროს პროცესში მონაწილეობას იღებს გარე სითბოც, რის გამო φ სიდიდეს შეუძლია ნებისმიერი მნიშვნელობა მიიღოს.

პოლიტროპის მაჩვენებლის განსაზღვრა. პოლიტროპის მაჩვენებელი შეგვიძლია განვსაზღვროთ, თუ გვეცოდინება აირის საწყისი და საბოლოო მდგომარეობებისათვის წნევისა და მოცულობის მნიშვნელობანი. დავუშვათ, რომ მოცემული გვაქვს p_1 , v_1 და p_2 , v_2 პარამეტრები, მაშინ თანახმად პოლიტროპის განტოლებისა, შეგვიძლია დავწეროთ:

$$p_1 v_1^n = p_2 v_2^n.$$

ამ განტოლების გალოგარიტმებით მივიღებთ

$$\lg p_1 + n \lg v_1 = \lg p_2 + n \lg v_2,$$

საიდანაც

$$n = \frac{\lg p_1 - \lg p_2}{\lg v_2 - \lg v_1}. \quad (1-135)$$

პარამეტრებს შორის თანაფარდობა, მუშაობის, სითბოტევადობისა და სითბოს ფორმულეში. რადგან პოლიტროპის განტოლება $p v^n = \text{const}$ ადიაბატის განტოლებისაგან მარტო მაჩვენებლით განსხვავდება, ამიტომ ყველა ფორმულა, რომლებიც ადიაბატური პროცესისათვის გვქონდა გამოყვანილი, ამ შემთხვევაშიაც გამოიყენება, მხოლოდ k სიდიდე n მაჩვენებლით უნდა შევცვალოთ.

მაშასადამე, საწყისი და საბოლოო პარამეტრების დამაკავშირებელი ფორმულები გამოისახება შემდეგნაირად:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^n \quad \text{ან} \quad \frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (1-136)$$

T და v პარამეტრებისათვის კი გვექნება

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{n-1} \quad \text{ან} \quad \frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (1-137)$$

ანალოგიურად T და p პარამეტრებისათვის გვექნება

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad \text{ან} \quad \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{n}{n-1}} \quad (1-137')$$

გარე მუშაობა განისაზღვრება ტოლობიდან

$$l = \frac{R}{n-1} (T_1 - T_2) = \frac{RT_1}{n-1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{1}{n-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2) =$$

$$= \frac{p_1 v_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{n-1} \right] = \frac{p_1 v_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] = \frac{p_1 v_1}{n-1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \quad (1-138)$$

პოლიტროპული პროცესის სითბოტევადობის განსაზღვრისათვის დავწეროთ თერ-
მოდინამიკის პირველი კანონის მათემატიკური გამოსახულება

$$q = \Delta u + Al,$$

სადაც $q = c(T_2 - T_1)$, $\Delta u = c_v(T_2 - T_1)$ და $l = \frac{AR}{n-1}(T_1 - T_2)$ ჩასმით მივიღებთ

$$c(T_2 - T_1) = c_v(T_2 - T_1) + \frac{AR}{n-1}(T_1 - T_2). \quad (a)$$

ამ გამოსახულებაში მარცხენა ნაწილი წარმოადგენს პოლიტროპულ პროცესში მი-
წოდებულ სითბოს რაოდენობას, სადაც c პოლიტროპული პროცესის სითბოტევადობას
გამოსახავს.

(ა) გამოსახულების $(T_2 - T_1)$ -ზე შეკვეციით, მივიღებთ

$$c = c_v - \frac{AR}{n-1}$$

ვიციით, რომ $AR = c_p - c_v = kc_v - c_v = c_v(k-1)$, ამიტომ

$$c = c_v - \frac{c_v(k-1)}{n-1},$$

საიდანაც

$$c = c_v \frac{n-k}{n-1}. \quad (1-139)$$

სითბოტევადობის ამ მნიშვნელობის ჩასმით სითბოს გამომსახველ ფორმულაში, მი-
ვიღებთ პოლიტროპულ პროცესში მონაწილე სითბოს რაოდენობის განმსაზღვრელ ფორ-
მულას.

მაშასადამე, სითბოს რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$q = c(T_2 - T_1) = c_v \frac{n-k}{n-1} (T_2 - T_1). \quad (1-140)$$

ამ უკანასკნელი ფორმულის გათვალისწინებით შეგვიძლია გამოვთვალოთ φ სიდი-
დე. მაშასადამე,

$$\varphi = \frac{\Delta u}{q} = \frac{c_v(T_2 - T_1)}{c_v \frac{n-k}{n-1} (T_2 - T_1)};$$

ამ ფორმულის გარდაქმნით მივიღებთ:

$$\varphi = \frac{n-1}{n-k}. \quad (1-141)$$

პოლიტროპული პროცესების გამოკვლევა. ტიპობრივი პოლიტროპები. თუ პოლი-
ტროპული პროცესის განტოლებას განვიხილავთ, იმ დასკვნამდე მივალთ, რომ ყველა

ზემოვანიხილული პროცესი პოლიტროპული პროცესის კერძო შემთხვევაა წარმოადგენს. და მართლაც, თუ დავუშვებთ, რომ $n=0$, მაშინ პოლიტროპული პროცესის განტოლება მიიღებს სახეს:

$$p v^0 = \text{const}, \quad \text{საიდანაც } p = \text{const}.$$

ე. ი. მივიღებთ იზობარული პროცესის განტოლება და $p v$ დიაგრამაზე ამ პროცესის გამომსახველი იქნება აბსცისთა ღერძის პარალელური სწორი ხაზი, რომელიც ნაკ. 1—21-ზე გაფართოების პროცესისათვის არის მოცემული.

როდესაც $n=1$, მაშინ მივიღებთ

$$p v^1 = \text{const}.$$

ამ შემთხვევაში გვექნება იზოთერმული პროცესი, რაც შესაბამისად ნაკ. 1—21-ზე თანასწორგვერდებიანი ჰიპერბოლით არის გამოხატული.

$n=k$ შემთხვევისათვის მივიღებთ ადიაბატურ პროცესს, ე. ი. გვექნება

$$p v^k = \text{const}.$$

დაბოლოს, როდესაც $n \rightarrow \infty$, მაშინ იზოქორულ პროცესს მივიღებთ. ამის დასამტკიცებლად განვიხილოთ საბოლოო და საწყისი წერტილებისათვის პოლიტროპული პროცესის განტოლება

$$p_1 v_1^n = p_2 v_2^n, \quad \text{ანუ } p_1^{\frac{1}{n}} v_1 = p_2^{\frac{1}{n}} v_2.$$

ახლა, თუ ამ გამოსახულებაში $n \rightarrow \infty$ ჩავსვამთ. მივიღებთ

$$p_1^{\frac{1}{\infty}} v_1 = p_2^{\frac{1}{\infty}} v_2, \quad \text{საიდანაც } v_1 = v_2 \quad \text{და, მაშასადამე, } v = \text{const}.$$

აირის შეკუმშვის შემთხვევაში აღნიშნული პროცესები ისე გამოისახება, როგორც ეს ნაკ. 1—22-ზეა ნაჩვენები.

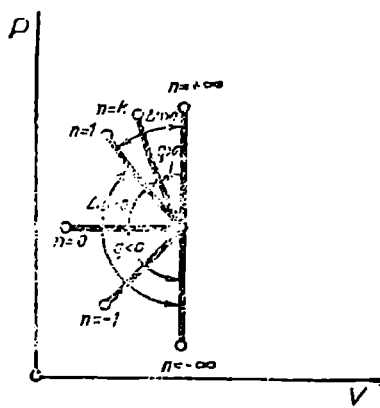
ნაკ. 1—21 და 1—22 საშუალებას გვაძლევს პოლიტროპის მაჩვენებლის მიხედვით გამოვარკვიოთ მომხდარი ცვლილებანი, ე. ი. გამოვარკვიოთ, თუ როგორ იცვლებიან q და Δu სიდიდეები n მაჩვენებლის ცვლილების მიხედვით.

სხვადასხვა პროცესის დროს შეიძლება აირს სითბო მიეწოდოს ან არიხდეს. ადიაბატური პროცესის დროს კი $q=0$. ნაკ. 1—21-ზე გამოსახული დიაგრამიდან ჩანს, რომ ადიაბატა ყველა გამოსახულ პროცესს ორ ჯგუფად ჰყოფს; ამასთან, პირველ ჯგუფს სითბო ეწოდება და მეორეგდან კი არიხდება. ნაკვთიდან ნათლად ჩანს, რომ გაფართოების პროცესში, როდესაც n მოთავსებულია k -ს და $-\infty$ -ს შორის, უნდა წარმოებდეს სითბოს მიწოდება და, თუ n იმყოფება k და $+\infty$ ფარგლებში, მაშინ—სითბოს არიხება. კუმშვის შემთხვევაში კი პირიქით უნდა ხდებოდეს, რაშიაც ნაკ. 1—22-ის განხილვით დავრწმუნდებით.

ამავე დიაგრამებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ შივა ენერჯიის ცვლილებაც. ვიცით, რომ სხვადასხვა პროცესში შივა ენერჯია ცვლილებას განიცდის, გარდა იზოთერმული პროცესისა, რომლისთვისაც $n=1$ და $\Delta u=0$. ნაკ. 1—21-ზე გამოსახული დიაგრამიდან ჩანს, რომ იზოთერმა ყველა გამოსახულ პროცესს ორ ჯგუფად ჰყოფს, ამასთან, პირვე-

ლი ჯგუფის შიგა ენერგია იზრდება, ხოლო მეორესი მცირდება. იზოთერმალზე ზემოთ მდებარე პროცესებში, მაგალითად, იზობარულ პროცესში, აირის შიგა ენერგია იზრდება, ქვემოთ მდებარე პროცესებში კი, მაგალითად, ადიაბატურ პროცესში, შიგა ენერგია მცირდება. აქედან კი შეგვიძლია და-
 ვასკვნათ, რომ იდეალური აირის გა-
 ფართობისას, როდესაც n იმყოფება 1 და -1 ფარგლებში, შიგა ენერგია იზრდება და 1 და $+1$ ფარგლებში კი მცირდება. შეკუმშვის შემთხვევაში კი პირიქით ხდება.

დაბოლოს, საჭიროა აღინიშნოს, რომ p და v დიაგრამაზე პოლიტროპის აგე-
 ბის ყველაზე მარტივ და ზუსტ ხერხს წარმოადგენს წერტილების მიხედვით აგება. ამისათვის პოლიტროპის განტო-
 ლების $p v^n = \text{const}$ საშუალებით v სიდიდის მთელი რიგი მნიშვნელობების წინას-
 წარი მიღებით, p სიდიდეებს საზღვრა-
 ვენ და $p v$ სისტემაში გამოსახავენ ამ-
 გვარად მიღებული p და v მნიშვნელო-
 ბების შესაბამის მთელ რიგ წერტი-
 ლებს, რომლებიც აღებული n მაჩვენებლისათვის პოლიტროპული პროცესის მრუდს გვაძ-
 ლევენ.



ნაკ. 1-22.

1-40. აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესში ცვალებადი სითბომცვალეობის დროს

ზემოგანხილული პროცესებისათვის სათანადო ფორმულების გამოყენებისას დაშე-
 ბული გვექონდა, რომ სითბოტევადობანი მუდმივი სიდიდეები იყვნენ.

იმ შემთხვევაში, როდესაც მდებარეობაში უნდა მივიღოთ სითბოტევადობის და-
 მოკიდებულება ტემპერატურაზე $c = f(T)$, მაშინ იზოქორულ და იზობარულ პროცესებ-
 ში სითბოსი და შიგა ენერგიის განმსაზღვრელი (1-89), (1-91), (1-104) ფორმულების
 გამოყენების დროს უნდა ავიღოთ c_v და c_p სითბოტევადობათა საშუალო მნიშვნელობე-
 ბი k_1 და k_2 ტემპერატურათა საზღვრებში ანდა 0-დან k_1 -მდე და 0-დან k_2 -მდე საზღვრებ-
 ში იმისდა მიხედვით, თუ ტემპერატურაზე სითბოტევადობის რა დამოკიდებულებაა მო-
 ცემული—სწორხაზობრივი თუ მრუდხაზობრივი.

ადიაბატის $p v^k = \text{const}$ განტოლების გამოყენების დროს დაშვებული გვექონდა, რომ
 $k = \frac{c_p}{c_v}$ თანაფარობა მუდმივი სიდიდე იყო, ე. ი. $k = \text{const}$. თუ დაეუფებთ, რომ k

სიდიდე ცვალებადია და $k = f(T)$, მაშინ ხაზობრივი დამოკიდებულების დროსაც კი
 რთული დამოკიდებულებანი მიიღება და ამის გამო გაანგარიშებების დროს მოუხერხე-
 ბელი არიან. ამიტომ გამარტივების მიზნით ადიაბატური პროცესისათვის მიღებულ
 ფორმულებში k სიდიდეს იღებენ როგორც მუდმივს და დამოკიდებულებას ტემპერა-
 ტურაზე ითვალისწინებენ k -ს საშუალო არითმეტიკულის მნიშვნელობის ჩასმით, რომე-
 ლიც გამოთვლილია k_1 და k_2 საზღვრებში.

პოლიტროპული პროცესი განსაზღვრული გექონდა, როგორც პროცესი, რომელშიც $c_v = \text{const}$ და $\varphi = \text{const}$, $c = \text{const}$, $n = \text{const}$. როცა $c_v \neq \text{const}$, მაშინ

$$\varphi = \frac{n-1}{n-k} \quad \text{და} \quad c = c_v \frac{n-k}{n-1}$$

ფორმულებიდან ცხადია, რომ φ , c_v სიდიდეები მუდმივი არ არიან. ამის გამო $c_v \neq \text{const}$ შემთხვევა არ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს პოლიტროპული პროცესის განსაზღვრისათვის. c_v -ს და k -ს მუდმივ სიდიდეებად დაშვება არის მიახლოებითი. ამის გამო გაანგარიშებების უფრო მეტი სიზუსტისათვის, მოცემული პოლიტროპული პროცესი უნდა დაეყუთ რამდენიმე უბნად, სადაც შეგვიძლია საკმარისი სიზუსტით მივიღოთ, რომ c და n სიდიდეები მუდმივებია და ისე ვაწარმოთ გაანგარიშებანი.

თ ბ 3 0 1-7

თერმოდინამიკის მეორე კანონი

1-41. უმცირესი და უმეტესი პროცესები

თერმოდინამიკაში დიდი მნიშვნელობა აქვს ამა თუ იმ პროცესის მიმდინარეობის მიმართულებას, რომელიც შეიძლება წარმოებდეს როგორც აღებულ მიმართულებით, ისე მისი საწინააღმდეგო მიმართულებით. ასე, მაგალითად, აირის გათბობა და გაცივება, მისი გაფართოება და შეკუმშვა. თუ მაგ., აირის გათბობას პირდაპირ პროცესად ჩავთვლით, მაშინ გაცივება შექცეული პროცესი იქნება და ა. შ.

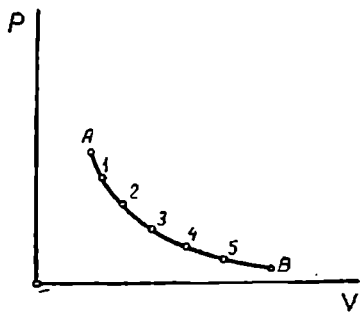
თუ აღებულ სისტემაში რომელიმე პროცესი შეიძლება ისე წარმართოს, რომ შექცეული მიმართულებით პროცესის მიმდინარეობის დროს შესაძლებელია მუშა სხეული და გარემომცველი არე საწყის მდგომარეობას დაუბრუნდეს და ამასთან, როგორც მომუშავე სხეულმა, ისე პროცესში მონაწილე გარე არემ თანამიმდევრობით გაიაროს ყველა შუალედური მდგომარეობა, რომლებსაც ისინი პროცესის პირდაპირი მიმართულების დროს გადიოდნენ, მაშინ პროცესს შექცევადი პროცესი ეწოდება.

თუ პროცესი შექცეული მიმართულებით ისე წარმოებს, რომ მომუშავე სხეული საწყის მდგომარეობაში დაბრუნდა, მხოლოდ არ გაივლის იმ შუალედურ მდგომარეობებს, რომლებსაც იგი პირდაპირი მიმართულებით გადიოდა და პროცესში მონაწილე სისტემის ყველა ნაწილს საწყის მდგომარეობაში ვერ მოვიყვანთ, მაშინ შეუქცევადი პროცესი გვექნება.

თვალსაჩინოებისათვის ზემონათქვამი განვიხილოთ დიფერამის საშუალებით. დავუშვათ, რომ პირდაპირი პროცესის დროს სხეულის მდგომარეობა შეიცვალა და ცვლილების ეს პროცესი px დიფერამაზე AB მრუდით (ნაქ. 1-23) არის გამოსახული. ამასთან სხეულის მდგომარეობის ცვლილება ისე წარმოებდა, რომ პირდაპირი პროცესის დროს იგი თანდათანობით 1, 2, 3, 4 და 5 წერტილებით გამოსახულ მდგომარეობებს გადიოდა. თუ პროცესი შექცეული მიმართულებით, ე. ი. B -დან A წერტილისაკენ შეიძლება ისე წარმართოთ, რომ სხეულმა 5, 4, 3, 2 და 1 წერტილებით გამოსახული მდგომარეობები გაიაროს და, ამასთან, მისი გარემომცველი არეც საწყის მდგომარეობაში მოვიღდეს, მაშინ პროცესი შექცევადი იქნება. იმ შემთხვევაში კი, როდესაც სხეული საწყისი A წერტილით გამოსახულ მდგომარეობას დაუბრუნდება მხოლოდ სხვა გზით, მაშინ პროცესი შეუქცევადი იქნება. მაშასადამე, შექცევადი პროცესის შემთხვევაში პირდა-

პირი და შექცეული პროცესების შრულები ერთმანეთს საცხებით დაემთხვევა და მომუშავე სხეული საწყისი მდგომარეობაში იქნება მოყვანილი. ამასთან, AB მრუდით გამოსახული პროცესის მიხედვით აირის გაფართოებისას შესრულებულია მუშაობა, რომელიც იმავე რაოდენობით BA პროცესის დროს აირის შეკუმშვაზე იხარჯება; ამის გარდა, თუ პირდაპირი პროცესის დროს დახარჯული სითბოს რაოდენობა Q -თი აღვნიშნავთ, მაშინ უკუპროცესის დროს, შექცევადი პროცესის შემთხვევაში, იგივე Q სითბოს რაოდენობა უკანვე უნდა გამოიყოს.

ახლა გამოვარკვიოთ, თუ რა პირობებს უნდა აკმაყოფილებდეს სხეულის მდგომარეობის ცვლილების პროცესი, რომ იგი შექცევადი იყოს. ამისათვის დავეუშვათ, რომ მოძრავდებოდნენ ცილინდრში მოთავსებულია აირი, რომლის წნევა გარე არეს წნევის ტოლია. თუ გარე წნევას სასრული სიდიდით შევამცირებთ, მაშინ დგუშის სასრული სიჩქარით მოძრაობის დროს აირი გაფართოვდება. ამ შემთხვევაში პროცესი შეუქცევადი გვექნება და, მართლაც, წნევა დგუშის მახლობლად საბოლოო წნევაზე ნაკლები იქნება, რადგან აირი უცებ არ გაფართოვდება და საჭირო იქნება გარკვეული დრო, რომ მან მთელი მოცულობა შეაგსოს და წნევა მთელ მოცულობაში გათანაბრდეს. ასეთ პროცესს შექცეული მიმართულებით იმავე შუალედურ მდგომარეობებზე გავლით ვერ წარემართავთ, რადგან დგუშის საწინააღმდეგო მიმართულებით სასრული სიჩქარით მოძრაობისას, ე. ი. აირის შეკუმშვისას, დგუშის მახლობლად აირის ნაწილი უფრო მეტად შეიკუმშება, ვიდრე მისგან დაშორებული აირის ნაწილი. ამგვარად, პირდაპირი პროცესის დროს დგუშის მახლობლად აირის ნაწილს აქვს უმცირესი წნევა და უდიდესი—უკუპროცესის დროს. მაშასადამე, სასრული სიჩქარით აირის გაფართოება და შეკუმშვა შეუქცევადი პროცესებია.



ნაქ. 1—23.

ახლა განვიხილოთ შემთხვევა, რადგანაც გარე წნევას უსასრულო მცირე სიდიდით ვამცირებთ. ამ პირობის დროს დგუში უსასრულო მცირე სიჩქარით გადაადგილდება და აირის გაფართოებისას წნევის ცვლილება მთელ მოცულობაში ასწრებს გაფრცხვანებას, რის გამო მოცულობის ყოველ ნაწილში წნევა ერთი და იგივე იქნება. თუ ამის შემდეგ გარე წნევას უსასრულო მცირე სიდიდით გავზრდით, მაშინ დგუშის უსასრულო მცირე სიჩქარით გადაადგილებით აირი შეიკუმშება და ამ შემთხვევაშიაც მოცულობის ყოველ ნაწილში ერთი და იგივე წნევას მივიღებთ. მაშასადამე, აღებულ პირობებში აირის წნევა მოცულობის ყოველ ნაწილში ერთი და იგივე იქნება და აირის მდგომარეობა დამოკიდებული იქნება მხოლოდ დგუშის მდებარეობაზე და არა მისი გადაადგილების მიმართულებაზე, რის გამო შექცევადი პროცესი გვექნება. აქედან კი გამომდინარეობს, რომ პროცესის შექცევადობისათვის ერთ-ერთ პირობას აირისა და გარე არეს შექანიკური წონასწორობა შეადგენს.

ამის გარდა, პროცესი რომ შექცევადი იყოს, საჭიროა თერმული წონასწორობის პირობის დაცვაც. და, მართლაც, თუ გვაქვს სითბოს რომელიმე წყარო, მაშინ აირს სითბო გადაეცემა იმ შემთხვევაში, როდესაც სითბოს წყაროს ტემპერატურა აირის ტემპერატურაზე მეტი იქნება. თუ აირისა და სითბოს წყაროს ტემპერატურათა სხვაობა სასრული სიდიდით გამოისახება, მაშინ შესაძლებელია მხოლოდ პირდაპირი პროცესი, ე. ი. სითბოს წყაროდან აირზე სითბოს გადაცემა, მათ ტემპერატურათა გატოლებაში

დე. შექცეული პროცესისათვის საჭიროა, რომ აირის ტემპერატურა სითბოს წყაროს ტემპერატურაზე მეტი იყოს, რათა სითბოს წყაროს მან უნდა დაუბრუნოს სითბოს ის ნაწილი, რომელიც პირდაპირი პროცესის დროს მიიღო. რადგან ეს პირობა დაკლებული არ არის, ამიტომ აირსა და სითბოს წყაროს საწყის მდგომარეობაში ვერ მოვიყვანოთ, რის გამო, როდესაც სითბოს წყაროსა და აირის ტემპერატურები ერთმანეთისაგან სასრული სიდიდით განსხვავდება, შეუქცევადი პროცესი გვექნება. პროცესის შექცევადობისათვის, საჭიროა, რომ აირისა და სითბოს წყაროს ტემპერატურები ერთმანეთისაგან უსასრულო მცირე სიდიდით განსხვავდებოდეს. მხოლოდ ამ შემთხვევაშია შესაძლებელი ზღვარში მივუახლოვდეთ იმას, რომ შექცეული პროცესის დროს როგორც აირი, ისე სითბოს წყაროც საწყის მდგომარეობაში დავაბრუნოთ.

სითბოს წყაროსა და აირის ტემპერატურათა შორის უსასრულო მცირე განსხვავების შედეგად სითბოს ცვლა მეტად ნელა იწარმოებს. ასე რომ, აირის მთელ მასაში ყოველ მომენტში ერთნაირი ტემპერატურა იქნება.

ზემოხაზიდან გამომდინარეობს, რომ პროცესის შექცევადობისათვის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს სხეულის წონასწორული მდგომარეობა ყოველ ადებულ მომენტში.

სინამდვილეში არსებული პროცესები ყოველთვის აირისა და გარემოს არეს განსახვავებული სასრული სიდიდის ტემპერატურათა სხვაობით მიმდინარეობენ. ამის გარდა, ნამდვილი პროცესები აგრეთვე სასრული სიჩქარით მიმდინარეობენ, რის გამო შექცევადი წონასწორობის პირობა დაკლებული არ არის. აქედან ცხადია, რომ პრაქტიკულად არსებული პროცესები შეუქცევადია.

როდესაც ზემოთ შექცევადობის პირობებს ვიხილავდით, მხედველობაში არ გვექონდა მიღებული ის, რომ ცილინდრში აირის გაფართოებისას ან შეკუმშვისას ადგილი აქვს ხახუნს, რის შედეგად მიიღება სითბო, რომელიც გარე არეს გადაეცემა. ცხადია, რომ შექცეული პროცესის დროს ამ სითბოს უკან ვერ დავაბრუნებთ, რის გამო განხილული პროცესები შეუქცევადია. მაშასადამე, პროცესის შექცევადობის შემდეგ პირობას შეადგენს ის, რომ ადგილი არ უნდა ჰქონდეს ხახუნს.

სისტემა, რომელშიაც შექცევადი პროცესი მიმდინარეობს, თერმულად იზოლირებული უნდა იყოს, რათა ადგილი არ ჰქონდეს გარემოში სითბოს გადაცემას, არც სითბოგამტარობით და არც გამოხსივნებით.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ყველა პროცესი, რომლებიც სინამდვილეში სრულდება შეუქცევადია, მაგრამ, მიუხედავად ამისა, თერმოდინამიკა პირველ რიგში შექცევად პროცესებს შეისწავლის, რადგან შეუქცევადი პროცესების დროს აირში აღძრული მოვლენები მეტად რთულია. გრაფიკულად მხოლოდ შექცევადი პროცესები გამოისახება, რადგან, როგორც ვიცით, ყოველი მრუდი გამოისახავს მხოლოდ წონასწორულ მდგომარეობებს, რომელთა ერთობლიობა შექცევად პროცესს შეადგენს. შექცევადი პროცესების განხილვის შედეგად მიღებული რაოდენობითი დამოკიდებულებების გამოყენება სინამდვილეში არსებული შეუქცევადი პროცესებისათვის ხდება ცდებით მიღებული კოეფიციენტების საშუალებით, რომლებიც შექცევადი და შეუქცევადი პროცესების განმსხვავებელი ფაქტორების გავლენას ითვალისწინებენ.

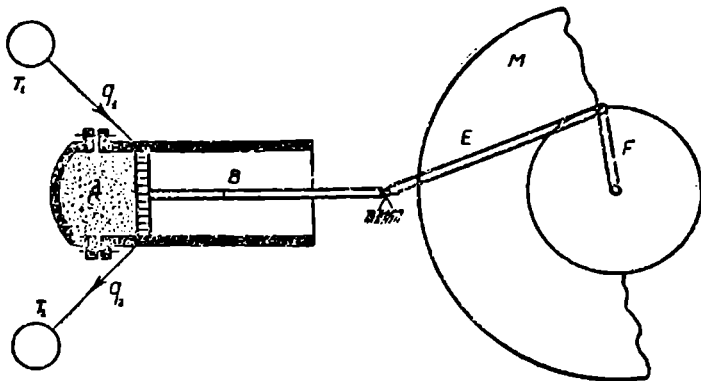
1-42. წრიული პროცესები ანუ ციკლები

აირის ზემოგანხილული ყოველი მდგომარეობის ცვლილების პროცესი ისე მიმდინარეობს, რომ აირის საბოლოო მდგომარეობა საწყისიდან განსხვავდება, ე. ი. საწყისი და საბოლოო მდგომარეობების ძირითადი დამახასიათებელი სიდიდეები ერთიმეორის

ტოლი არ არიან, თუცა შესაძლებელია, რომ ერთ-ერთი მათგანი აირის მდგომარეობის ცვლილების დროს შედმივი დარჩეს.

განხილული პროცესები გრასაკიულად შეუქცევლი მრუდით გამოისახებიან და ეს დიაგრამაზე მათ მიერ ნაპირა ორდინატებით და აბსცისთა ლერძით შემოსახლერული ფართობი შესრულებულ ანდა დახარჯულ მუშაობას გამოსახავს, იმისდა მიხედვით გაფართოების პროცესი გვაქვს თუ შეკუმშვის.

აღნიშნულიდან გამომდინარე შეგვიძლია ვთქვათ, რომ თუ საჭიროა ასეთი პროცესების შესრულების დროს მუშაობის განუწყვეტლივ მიღება, მაგალითად, ორთქლის მანქანაში, მაშინ მანქანის დგუში ერთი მიმართულებით უსასრულო დიდ მანძილზე უნდა მოძრაობდეს და ორთქლის გაფართოება უსასრულო დიდი ზომის ცილინდრში უნდა ხდებოდეს. თავისთავად ცხადია, რომ პრაქტიკულად შეუძლებელია განხორციელებულ იქნეს მანქანა, რომლის ცილინდრი უსასრულოდ გრძელია და, მაშასადამე, განცალკევებით აღებული ვერც ერთი განხილული პროცესის შესრულების დროს ვერ მივიღებთ მუშაობას, რომელიც მოთხოვნილებას დააკმაყოფილებს, რადგან პროცესის ერთხელ შესრულების შემდეგ სასრული სიგრძის ცილინდრიანი მანქანა გაჩერდება. ამიტომ ისეთი რაოდენო-



ნაკ. 1—24.

ბის მუშაობის მისაღებად, რომელიც პრაქტიკულ მოთხოვნილებას დააკმაყოფილებს, საჭიროა გაფართოების შემდეგ ცილინდრში დგუში საწყის მდებარეობას დაუბრუნდეს, რომ შესაძლებელი გახდეს აირის ხელმოკრედ გაფართოება და დგუშის შესაბამისი გადაადგილება ცილინდრში და ა. შ. მაშასადამე, პრაქტიკული მიზნებისათვის მუშაობის მისაღებად საჭიროა გვექონდეს ისეთი მანქანები, რომლებიც პერიოდულად მოქმედებენ. მანქანებს, რომლებიც სითბურ ენერგიას მექანიკურ ენერგიად გარდაქმნიან, თ ბ ო ძ რ ა ვ ე ბ ი ე წ ო ლ ე ბ ა .

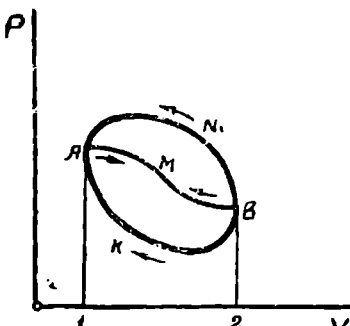
პერიოდულად მოქმედ ძრავაზე წარმოდგენა რომ ექიონიოთ, დგუშიანი მანქანა (ნაკ. 1—24) განვიხილოთ. ამ მანქანის მთავარ ნაწილს წარმოადგენს A ცილინდრი, რომელშიაც მოძრაობს დგუში. მუშა სხეული, რომელიც დგუშისა და ცილინდრის ხუუს შორის არის მოთავსებული, გარედან T_1 ტემპერატურიანი სითბოს წყაროდან q_1 სითბოს რაოდენობას ლებულობს, ფართოვდება და დგუშს მარცხნიდან მარჯვნივ გადაადგილებს. ამ შემთხვევაში დგუშის გადატანითი მოძრაობა B კოკის, E ბარბაცის და F მრუდმხარის საშუალებით ლილვის ბრუნვითი მოძრაობად გარდაიქმნება და, მაშასადამე,

ქუშა სხეული მუშაობას შეასრულებს. გაფართოების პროცესის განმეორებისათვის და, მაშასადამე, მუშაობის შემდგომი შესრულებისათვის კი საჭიროა, რომ მუშა სხეული საწყის მდგომარეობას დაუბრუნდეს და ღვეუში მარჯვენა ნაპირა მდებარეობის დაკავების შემდეგ ისევ საწყის მდებარეობაში აღმოჩნდეს. ეს კი ხდება ლილვზე მოთავსებული M შექვემდებარებას ინერციის ხარჯზე; ღვეუში მარჯვენა მდებარეობიდან მარცხენასაკენ გადაადგილება და მუშა სხეულს შეეკუმშავს. მუშა სხეული რომ საწყის მდგომარეობას დაუბრუნდეს, საჭიროა მისგან შესაბამისი q_2 სითბოს რაოდენობა არინდეს, რის გამო იგი T_2 ტემპერატურიან წყაროსთან შეხებაში მოდის. მაშასადამე, ამ შემთხვევაში პერიოდულობა მიღწეულია იმით, რომ ღვეუში ნაპირა ერთი მდებარეობიდან მეორეში მისვლის შემდეგ ისევ საწყის მდებარეობას უბრუნდება.

განხილულ შემთხვევაში მთელი მუშა პროცესის მიმდინარეობის დროს მუშა სხეული ერთი და იგივეა და პერიოდულად საწყის მდგომარეობას უბრუნდება. სინამდვილეში სითბურ ძრავებში კი ეს ასე არ ხდება. მუშა სხეული ვაფართოების პროცესის შესრულების შემდეგ მანქანიდან განიღვენება და მასში ახალ მუშა სხეულს პირველად მიწოდებულის ტოლი რაოდენობით და იმავე პარამეტრებით აწვდიან, რის შემდეგ გაფართოების პროცესი მეორდება. თუმცა აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ თერმოდინამიკური მსჯელობებისათვის მუშაობად სითბოს გარდაქმნის თვალსაზრისით, სულერთია ახალი სხეული გვაქვს თუ იგივე სხეული რჩება.

როგორც ზემოაღნიშნული მაგალითიდან ჩანს, ღვეუშიან ძრავაში მუშა სხეული მდგომარეობის მთელ რიგ ცვლილებებს განიცდის. ამასთან მუშაობის მისაღებად აუცილებელი პირობაა გაფართოებისა და შეკუმშვის პერიოდულობა. მუშაობის მიღების თვალსაზრისით, ცხადია, შეკუმშვის პროცესი ისევ უნდა შეირჩეს, რომ შეკუმშვაზე დახარჯული მუშაობა გაფართოების დროს სხეულის მიერ შესრულებულ მუშაობაზე ნაკლები იყოს. თვალსაჩინოებისათვის ნათქვამი *ახ დიაგრამაზე* გრაფიკულად განვიხილოთ (ნაკ. 1—25).

დავეშვათ, რომ აირის საწყისი მდგომარეობა დიაგრამაზე A წერტილით გამოისახება. მარცხენა ნაპირა მდებარეობიდან მარჯვენაში ღვეუის გადასვლისას, რომლის დროსაც გაფართოების პროცესი გვაქვს, აირის მდგომარეობა იცვლება და ეთქვას, რომ ეს პროცესი დიაგრამაზე AMB ხაზით გამოისახება. B წერტილი, ცხადია, გამოისახავს აირის მდგომარეობას, რომელიც ღვეუის მარჯვენა ნაპირა მდებარეობას შეესაბამება. მუშა სხეული რომ საწყის მდგომარეობას დაუბრუნდეს, ე. ი. დიაგრამაზე A წერტილით გამოისახულ მდგომარეობას, საჭიროა მისი შეკუმშვა, მარჯვენა ნაპირა მდებარეობიდან მარცხენაში ღვეუის გადაადგილებით. შეკუმშვის პროცესი შესაძლებელია განხორციელდეს იქნეს სამი გზით. პირველი, როდესაც შეკუმშვა ხდება BNL გზით, ე. ი. როდესაც შეკუმშვის მრუდი გაფართოების მრუდის ზემოთ არის მოქცეული. ამ შემთხვევაში, თუ გავიხსენებთ იმას, რომ *ახ* დიაგრამაზე პროცესის მრუდით ნაპირა ორდინატებით და აბსცისთა ლერძით შემოსაზღვრული ფართობი მუშაობას გამოისახავს, დავარწმუნდებით, რომ შეკუმშვაზე დახარჯული მუშაობა უფრო მეტია, ვიდრე გაფართოების დროს შესრულებული მუშაობა და მუშაობის მიღების თვალსაზრისით მუშა სხეულის ასეთი დაბრუნება საწყის მდგომარეობას დაუბრუნდეს.



ნაკ. 1—25.

მუშაობის მიღების თვალსაზრისით მუშა სხეულის ასეთი დაბრუნება საწყის მდგომარეობას დაუბრუნდეს, ე. ი. დიაგრამაზე A წერტილით გამოისახულ მდგომარეობას, საჭიროა მისი შეკუმშვა, მარჯვენა ნაპირა მდებარეობიდან მარცხენაში ღვეუის გადაადგილებით. შეკუმშვის პროცესი შესაძლებელია განხორციელდეს იქნეს სამი გზით. პირველი, როდესაც შეკუმშვა ხდება BNL გზით, ე. ი. როდესაც შეკუმშვის მრუდი გაფართოების მრუდის ზემოთ არის მოქცეული. ამ შემთხვევაში, თუ გავიხსენებთ იმას, რომ *ახ* დიაგრამაზე პროცესის მრუდით ნაპირა ორდინატებით და აბსცისთა ლერძით შემოსაზღვრული ფართობი მუშაობას გამოისახავს, დავარწმუნდებით, რომ შეკუმშვაზე დახარჯული მუშაობა უფრო მეტია, ვიდრე გაფართოების დროს შესრულებული მუშაობა და მუშაობის მიღების თვალსაზრისით მუშა სხეულის ასეთი დაბრუნება საწყის მდგომარეობას დაუბრუნდეს.

მარეობაში გამოუსადეგარია. მეორე გზას, რომლითაც შესაძლებელია შეკუმშვა მოხდეს, წარმოადგენს *BMA*, ე. ი. შეკუმშვისა და გაფართოების მრუდები ერთმანეთს დაემთხვევა და დახარჯული მუშაობა მიღებული სტოლი იქნება. ცხადია, რომ მუშაობის მისაღებად ასეთი პროცესიც გამოუსადეგარია. და, ბოლოს, შეკუმშვის მესამე გზა, როდესაც შეკუმშვის მრუდი გაფართოების მრუდის ქვემოთ გადის, სახელდობრ *BKA* მრუდი. ამ შემთხვევაში შეკუმშვაზე დახარჯული მუშაობა მიღებულზე ნაკლებია და ასეთი გზით მუშა სხეულის საწყის მდგომარეობაში დაბრუნება მუშაობის მისაღებად გამოსადეგია. ამგვარად, როდესაც ძრავასაგან მუშაობას ვღებულობთ, მომუშავე სხეული შენაცვლებით ფართოედება და იკუმშება და *A* წერტილით გამოსახულ საწყის მდგომარეობას უბრუნდება; ამასთან, მისი მდგომარეობის ცვლილება *px* დიაგრამაზე *AMBKA* შეკრული მრუდით გამოიხატება. ასეთ შეკრულ პროცესს წრიული პროცესი ან ციკლი ეწოდება.

როგორც სხვა ყოველივე პროცესი, ასევე წრიული პროცესიც შეიძლება იყოს შექცევადი და შეუქცევადი. ამ ციკლების თერმოდინამიკური თვალსაზრისით განხილვისათვის საჭიროა, რომ ციკლი შექცევადი იყოს და ეს კი შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, როდესაც ციკლის შემადგენელი პროცესები შექცევადი იქნება. მაშასადამე, საჭიროა დავუშვათ, რომ პერიოდულად მოქმედ მანქანაში ადგილი არა აქვს ხახუნს, გამოსხივებას, სითბოგამტარობას და სხვა მოვლენებს, რომლებიც შეუქცევადობას ახსნიათებენ. ამგვარი მანქანით შესრულებულ ციკლს ეწოდება იდეალური ციკლი და თვით მანქანას კი იდეალური მანქანა.

ახლა გამოვარკვიოთ, თუ რა შედეგებს მივიღებთ იდეალური ციკლის შესრულების შემდეგ და როგორ შეფასდება მისი ეკონომიურობა.

თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტი. სხეულის შიგა ენერგია, როგორც ვიცით, დამოკიდებულია მხოლოდ მის მდგომარეობაზე და არ არის დამოკიდებული პროცესის გზაზე, რომლითაც იგი ამ მდგომარეობაში მოვიდა; ამის გარდა, ვიცით, რომ ციკლის საბოლოო და საწყისი წერტილები ერთიმეორეს თანხედებიან, რის გამო სხეულის შიგა ენერგიას ციკლის შესრულების შემდეგ, იგივე მნიშვნელობა უნდა ჰქონდეს, რაც ციკლის დასაწყისში, ე. ი.

$$u_1 = u_2 \quad \text{და} \quad \Delta u = 0.$$

ამის შემდეგ განვიხილოთ ციკლის შესრულების შედეგად მიღებული მუშაობა, რისთვისაც აღვნიშნოთ გაფართოების მუშაობა l_1 -ით, შეკუმშვის მუშაობა l_2 -ით, ხოლო სასარგებლო მუშაობა კი l_3 -ით. ამ შემთხვევაში გვექნება

$$l_3 = l_1 - l_2.$$

ამასთან, გაფართოების დროს მუშა სხეულს q_1 სითბოს რაოდენობა მიეწოდა ხოლო შეკუმშვის დროს q_2 სითბოს რაოდენობა არიდა. ასე, რომ მუშაობად გარდაიქმნება $q_1 - q_2 = q$ სითბოს რაოდენობა.

გამოვარკვიოთ, თუ რაზე დიხარჯა სითბოს ეს რაოდენობა. ამისათვის გამოვიყენოთ ჩვენთვის უკვე ცნობილი განტოლება

$$q = \Delta u + Al.$$

რადგან ამ შემთხვევაში $\Delta u = 0$, ამიტომ $q = Al$ და, მაშასადამე, წრიული პროცესისათვის მივიღებთ:

$$q_1 - q_2 = Al_3.$$

აღნიშვნით $q_1 - q_2 = q_0$, რომელსაც სასარგებლო სითბო ეწოდება, გვექნება:

$$q_0 = Al_3. \quad (1-142)$$

წრიულ პროცესში სითბოს გამოყენების ხარისხის შესახებ მსჯელობისათვის შემო-

ლებულია ოერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი, რომელიც მუშაობად გარდაქმნილი სითბოს რაოდენობისა და სითბოს წყაროდან მიღებული სითბოს რაოდენობის ფარლობას წარმოადგენს. მაშასადამე,

$$\eta_1 = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{q_0}{q_1} = \frac{A_1}{Q_1} \quad (1-143)$$

ანუ

$$\eta_1 = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (1-144)$$

მაშასადამე, ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი η_1 გვიჩვენებს, თუ რამდენად სასარგებლოდ არის გამოყენებული წრიული პროცესის შესრულების დროს დახარჯული სითბოს რაოდენობა.

(1-144) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი მით უფრო მეტია და უახლოვდება ერთს, რაც უფრო ნაკლებია q_2 სითბოს რაოდენობა, რომელიც დაბალ ტემპერატურაიან სითბოს მიმღებს გადაეცა. თერმული მ. ქ. კ. მნიშვნელობა ერთს ვაუტოლდება, როდესაც $q_2 = 0$, რაც, როგორც ჩვენ ამაში შემდეგ დავრწმუნდებით, შეუძლებელია.

1-43. კარნოს ციკლი

თერმოდინამიკის მეორე კანონის დადგენასთან დაკავშირებით, რომელიც თბობრახებში შექანიკურ ენერგიად სითბური ენერგიის გარდაქმნის ეკონომიურობის ზღვარს აყუაბებს, სხვადასხვა ციკლს შორის განსაკუთრებული მნიშვნელობა კარნოს ციკლს ენიჭება.

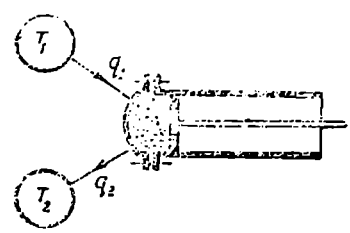
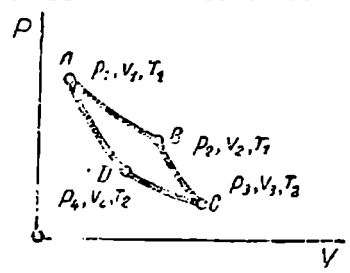
ამოცანა, რომელიც კარნომ დაისახა, თბობრახების მარგი ქმედების კოეფიციენტის ბუნების შესწავლაში მდგომარეობს. რაზეა იგი დამოკიდებული და როგორია მისი ზღვრები? ამ მიზნისათვის კარნომ განიხილა შექციეადი ციკლი და დაუშვა, რომ ციკლი მუშა სხეულმა იდეალურ მანქანაში შეასრულა. ამ დაშვებებმა მას საშუალება მისცა განსაზღვრულ პირობებში მომუშავე თბობრახის მარგი ქმედების კოეფიციენტის მაქსიმალურ მნიშვნელობაზე დაესვა საკითხი. ცხადია, რომ ყოველი იდეალური მანქანის მარგი ქმედების კოეფიციენტი წარმოადგენს მაქსიმუმს იმ რეალური მანქანისათვის, რომელიც იდეალურთან ერთნაირ პირობებში მუშაობს. ამგვარად, კარნო შეუდგა ციკლის თეორიულ შესწავლას და დაადგინა ის პირობები, რომელთა დროსაც ყველაზე მეტად ხელსაყრელი და უფრო სრულია სითბოს გარდაქმნა მუშაობად.

კარნოს ციკლის განხილვისათვის დაეუშვათ, რომ გვაქვს მოძრავდგუშიანი ცილინდრი, რომელშიც 1 კგ იდეალური აირია მოთავსებული; ამასთან, დგუში და ცილინდრის კედლები დამზადებული იყოს სითბოს გაუმტარი მასალისაგან, ხოლო თავი, რომელიც შენაცვლებით სითბოს ორ წყაროსთან მოდის შეხებაში, იდეალურად სითბოგამტარი მასალისაგან. ცილინდრის თავი თავის მხრით შეიძლება დახურულ იქნეს სითბოს გაუმტარი მასალისაგან გაკეთებული ხუფით.

სითბოს წყარობად მიღებული გვაქვს სითბოს ორი რეზერვუარი, რომლებიც სითბოს ისეთ დიდ რაოდენობას შეიცავენ, რომ, თუ ამ რეზერვუარებს მიეწოდება ან არინდება სასრული რაოდენობის სითბო, მათი ტემპერატურები შესამჩნევად არ შეიცვლება. სითბოს ერთი წყაროს ტემპერატურა აღვნიშნოთ T_1 -ით, მეორესი კი T_2 -ით; ამასთან, დაეუშვათ, რომ $T_1 > T_2$, ე. ი. აღნიშნულ სითბოს წყაროებიდან ერთი გამხურბლის დანიშნულებას ასრულებს, ხოლო მეორე - მაცივრის (ნაკ. 1-26).

აღებულ იდეალური მანქანის წრიულ პროცესში გამოყენებული იდეალური 1 კა აირის საწყისი მდგომარეობა, რომლის დამახასიათებელი სიდიდეებია p_1, v_1 და $T_1, p_1 v_1$ დიაგრამაზე A წერტილით იყოს გამოსახული. დგუშის მარცხენა ნაპირა მდებარეობიდან მარჯვენასაკენ გადაადგილების დროს A წერტილით გამოსახული მდგომარეობიდან იწყება აირის იზოთერმული გაფართოება, რომლის დროსაც იგი მუშაობას ასრულებს. იმისათვის, რომ ტემპერატურა არ დაეცეს ამ პროცესის დროს, საჭიროა ცილინდრის თავი დაეუქავეშიროთ გამხურებელს, რომლის ტემპერატურა აირის ტემპერატურის

ტოლია, და აირს q_1 სითბოს ჩაოდენონობა მივაწოდოთ; აღნიშნული სითბოს ხარჯზე მისი ეკვივალენტური მუშაობა შესრულდება, რადგან, როგორც ვიცით, $T = \text{const}$ დროს $\Delta u = 0$. ეს იზოთერმული გაფართოების პროცესი ნაკ. 1-26-ზე AB მრუდით არის გამოსახული. როდესაც დგუში $B (p_2, v_2, T_1)$ წერტილში შოგა, გამხურებელს გაეთიშავთ ცილინდრის თავიდან და ამ უკანასკნელს სითბოს გაუმტარ ხუფს დაეხურავთ. ამის შემდეგ დგუშის მარჯვენა ნაპირა მდებარეობაში მისელამდე წარმოებს აირის ადიაბატური გაფართოება, რომლის დროს მუშაობა ასრულება გარედან სითბოს მიუღებლად, ე. ი. აირის შიგა ენერჯიის ბარჯზე, რის შედეგად აირი ცივდება და მისი ტემპერატურა სითბოს მეორე წყაროს T_2 ტემპერატურამდე ეცემა. დიაგრამაზე ადიაბატური პროცესი გამოსახულია BC მრუდით, სადაც $C (p_3, v_3$ და $T_2)$ წერტილი გამოსახავს აირის იმ მდგომარეობას, როდესაც დგუშს მარჯვენა ნაპირა მდებარეობა უქაგია. $C (p_3, v_3$ და $T_2)$ წერტილით გამოსახული მდგომარეობიდან იწყება აირის იზოთერმული კუმშვა დგუშის მარჯვენა ნაპირა მდებარეობიდან მარცხნისაკენ გადაადგილებით. ამ პროცესის დროს მუშაობას ასრულებს გარე ძალა და აირის ტემპერატურა რომ არ გაიზარდოს, საჭიროა ცილინდრის თავს მოეხსნათ ხუფი და მაცივარს შეუერთოთ, რის შედეგად აირი მუდმივი ტემპერატურის დროს სითბოს მეორე წყაროს გადასცემს q_2 სითბოს ჩაოდენონობას, რომელიც გარედან დახარჯული მუშაობის ეკვივალენტურია. იზოთერმული კუმშვის პროცესი ნაკ. 1-26-ზე CD მრუდით არის გამოსახული. $D (p_4, v_4$ და $T_2)$ წერტილიდან, დგუშის შემდგომი გადაადგილებით მარცხენა ნაპირა მდებარეობისაკენ, იწყება აირის ადიაბატური შეკუმშვა, რომლის დროს ცილინდრის თავი გათიშულია სითბოს მეორე წყაროსაგან და სითბოს გაუმტარი ხუფით აირს დახურული. ადიაბატური შეკუმშვის დროს აირი ითბება და, მაშასადამე, მისი ტემპერატურა იზრდება. ამასთან, D წერტილი ისეა შერჩეული, რომ ადიაბატური შეკუმშვის დროს აირი A წერტილით გამოსახულ საწყის მდგომარეობას უბრუნდება და შეკრულ წრიულ პროცესს ვლებულობთ. ადიაბატური შეკუმშვის პროცესი დიაგრამაზე DA მრუდით გამოისახება.



ნაკ. 1-26.

ამგვარად, ჩვენ მივიღეთ კარნოს ციკლი, რომელიც ორი იზოთერმისა და ორი ადიაბატისაგან შედგება. აღებულ შემთხვევაში, რადგან აირის მდგომარეობის ცვლილება მთელი ციკლის დროს ისე მოხდა, რომ იგი საწყის მდგომარეობას დაუბრუნდა, ში-

გა ენერჯის ცვლილება ნულის ტოლი იქნება. AB იზოთერმული გაფართოების დროს მომუშავე სხეულმა გამზურებლისაგან q_1 სითბოს რაოდენობა მიიღო, ხოლო CD იზოთერმული კუმშვის დროს მაცივარს q_2 სითბოს რაოდენობა გადასცა. მაშასადამე, $q_1 - q_2$ სითბოს რაოდენობა გარდაიქმნა იმ მუშაობად, რომელიც კარნოს ციკლში იქნა შესრულებული და რომელიც μ დიაგრამაზე $ABCD$ ფართობით არის გაზოსახული. თუ სასარგებლო მუშაობას აღვნიშნავთ l_0 , მაშინ

$$q_1 - q_2 = Al_0.$$

განვსაზღვროთ კარნოს ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი. ვიცით, რომ

$$\eta_r = \frac{q_1 - q_2}{q_1}.$$

მაგრამ, რადგან სითბოს მიწოდება და არინება იზოთერმული პროცესების დროს ხდება, ამიტომ

$$q_1 = ART_1 \ln \frac{v_2}{v_1} \quad \text{და} \quad q_2 = ART_2 \ln \frac{v_3}{v_4},$$

$$\eta_r = \frac{ART_1 \ln \frac{v_2}{v_1} - ART_2 \ln \frac{v_3}{v_4}}{ART_1 \ln \frac{v_2}{v_1}}.$$

მეორე მხრივ კ: ადიბატების განხილვიდან გვაქვს

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_3}\right)^{\kappa-1} \quad \text{და} \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_4}{v_1}\right)^{\kappa-1}$$

საიდანაც

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{v_4}{v_3} \quad \text{ანუ} \quad \frac{v_2}{v_1} = \frac{v_3}{v_4} \quad \text{და} \quad \ln \frac{v_2}{v_1} = \ln \frac{v_3}{v_4}.$$

მაშასადამე, თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის გამოსახულებაში თანაბარი სიდიდეების შეკვეცით მივიღებთ:

$$\eta_r = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \text{ანუ} \quad \eta_r = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (1-145)$$

მიღებული ფორმულიდან ჩანს, რომ კარნოს ციკლის მარგი ქმედების კოეფიციენტი ერთზე ნაკლებია, რადგან იგი ერთის ტოლი შეიძლება იყოს მხოლოდ მაშინ, როდესაც $\frac{T_2}{T_1} = 0$. ეს კი მოხდება მაშინ, როდესაც $T_2 = 0$ ანდა $T_1 = \infty$, რაც პრაქტიკულად შეუძლებელია რომ განხორციელდეს და, მაშასადამე, კარნოს ციკლის მარგი ქმედების კოეფიციენტი ყოველთვის ერთზე ნაკლებია. ამასთან, იგი იზრდება T_1 ტემპერატურის ზრდისთან და T_2 ტემპერატურის შემცირებასთან ერთად.

მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის, რომ მარგი ქმედების კოეფიციენტი ჩვენ შექცევადი წრიული პროცესისათვის განვსაზღვრეთ. შეუქცევადი პროცესები მუშაობის დაკარგვასთან არი დაკავშირებულიან, რის გამო შეუქცევადი ციკლის მარგი ქმედების კოე-

ფიციენტის მნიშვნელობა მიღებულზე $\eta_r = 1 - \frac{T_2}{T_1}$. ნაკლები იქნება, ე. ი. შეუქცევადი ციკლისათვის

$$\eta_r = \frac{q_1 - q_2}{q_1} < \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad (1-146)$$

1-44. კარნოს შემცობული ციკლი

კარნოს შექცეულ ციკლს მივიღებთ მაშინ, როდესაც მუშა სხეულს, ჩვენს შემთხვევაში 1 კგ იდეალური აირის მდგომარეობის ცვლილება იწარმოებს კარნოს შექცევადი ციკლის მიხედვით, მხოლოდ შებრუნებული, ე. ი. საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით.

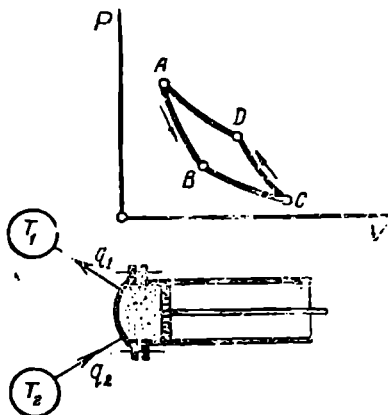
ცხადია, რომ ამ შემთხვევაშიც ციკლი ორი ადიაბატისა და ორი იზოთერმისაგან შედგება. როგორც პირდაპირი, ისე შექცეული ციკლის შემთხვევაში, როდესაც იზოთერმულ პროცესს ვიხილავთ, $T = \text{const}$ შენარჩუნებისათვის, საჭიროა ცილინდრის თავი, წინა პარაგრაფში მოყვანილი ხერხით, სახელდობრ, სითბოს გაუმტარი მასალისაგან დამზადებული ხულის მოხსნით და დახურვით, შენაცვლებით დავუკავშიროთ სითბოს ხან ერთს და ხან მეორე წყაროს, რომელთა ტემპერატურებია T_2 და T_1 და, ამასთან, $T_2 < T_1$.

ეს სისტემაში კარნოს შექცეული ციკლით მომუშავე მანქანის დიაგრამა ნაკ. 1-27-ზეა მოცემული. პირველად აირი, რომლის საწყისი მდგომარეობა დიაგრამაზე A წერტილით არის გამოსახული, ადიაბატურად ფართოვდება, რომლის დროსაც აირის ტემპერატურა მცირდება T_1 -დან T_2 -მდე, ე. ი. სითბოს მეორე წყაროს ანუ მაციერის ტემპერატურამდე. ადიაბატური გაფართოების პროცესი AB მრუდით გამოისახება. ამ პროცესის დროს აირი მუშაობას შიგა ენერჯიის ხარჯზე ასრულებს.

მეორე პროცესის დროს BC მრუდის მიხედვით იწყება აირის იზოთერმული გაფართოების პროცესი, რომლის დროსაც ტემპერატურის შენარჩუნებისათვის T_2 ტემპერატურის სითბოს წყაროდან, ე. ი. მაციერიდან აირს q_2 სითბოს რაოდენობა მიეწოდება. ცხადია, რომ ამ პროცესის დროს აირი გარედან მიწოდებული სითბოს ხარჯზე ასრულებს მუშაობას, რომელიც q_2 სითბოს რაოდენობის ეკვივალენტურია.

მესამე პროცესის დროს CD მრუდის მიხედვით წარმოებს ადიაბატური შეკუმშვა, რომლის დროსაც ტემპერატურა იზრდება T_1 ტემპერატურამდე, ე. ი. სითბოს პირველი წყაროს ტემპერატურამდე. ამ პროცესის დროს შეკუმშვაზე მუშაობა გარედან იხარჯება.

დაბოლოს, მეოთხე პროცესის დროს DA მრუდის მიხედვით სრულდება აირის იზოთერმული შეკუმშვის პროცესი, რომლის დროსაც აირი გამხურებელს q_1 სითბოს რაოდენობა



ნაკ. 1-27.

დენობას ვადასცემს, რათა ტემპერატურა არ გაიზარდოს. რა თქმა უნდა, აქაც მესამე პროცესის ანალოგიურად, აირის შეკუმშვაზე გარედან იხარჯება მუშაობა, რომელიც q_1 სითბოს ეკვივალენტურია.

მთელი ციკლის განხილვის შედეგად შეგვიძლია აღვნიშნოთ:

1) აირის გაფართოების მუშაობა შეკუმშვის დროს გარედან დახარჯულ მუშაობაზე $ABCD$ ფართობით გამოსახული მუშაობის სიდიდით ნაკლებია.

ამგვარად, კარნოს შექცეული ციკლის დროს გარედან იხარჯება მექანიკური ენერჯია, რომლის სიდიდე ციკლის შიგნით მოთავსებული ფართობით განიზომება.

2) მაცივარს აირმა q_2 სითბოს რაოდენობა აარინა და გამხურებელს მიეწოდა. ე. ი. ცივი სხეულიდან სითბო ცხელ სხეულზე გადავიდა, მაგრამ ასეთი გადასვლა ხდება არა თავისთავად, არამედ გარედან იმ მუშაობის დახარჯვით, რომელიც პირდაპირ პროცესის დროს მიღებული მუშაობის ტოლია.

მაშასადამე, იმავე აღნიშვნების შემოღებით, რაც პირდაპირ პროცესში გვექონდა, შეგვიძლია დავწეროთ, რომ შექცეული მთელი ციკლის შესრულების შედეგად გარედან დახარჯულია მუშაობა

$$l_0 = \frac{q_1 - q_2}{A} \quad \text{და} \quad q_1 = q_2 + Al_0.$$

ეს უკანასკნელი ტოლობა კი გამოსახავს იმას, რომ გამხურებელს მიეწოდა სითბოს იმდენი რაოდენობა, რამდენიც მას პირდაპირი ციკლის შესრულების დროს არინდა.

როგორც ვხედავთ, აღწერილი პრინციპით მომუშავე მანქანები შეიძლება ნივთიერებათა ვაცივებისათვის იქნეს გამოყენებული და კარნოს შექცეული ციკლი მაცივრების იდეალურ ციკლად მივიღოთ.

1-45. კარნოს თერმომეტი

კარნოს ციკლის განხილვისას და მისი თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის განსაზღვრის დროს მომუშავე სხეულად იდეალური აირი გვექონდა მიღებული. კარნოს ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი

$$\eta_1 = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

საესებით განსაზღვრულია ციკლის კიდურა ტემპერატურების ფარდობით. ამავე ფორმულიდან ჩანს, რომ კარნოს ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი დამოუკიდებელია ამ ციკლის შემსრულებელი მუშა სხეულის ბუნებაზე, რაც კარნოს თერომეტრის წარმოადგენს. მაშასადამე, თუ კარნოს ციკლში გამოყენებული არ არის იდეალური აირი, არამედ გამოყენებულია რაიმე რეალური აირი, მაგალითად, გადახურებული ან ნაჯერი ორთქლი, მაშინ ამ სხეულისათვისაც ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტიც, იმავე ტემპერატურულ ფარგლებში, იგივე იქნება, რაც იდეალურისათვის.

1-46. თერმოდინამიკის მეორე კანონის ფორმულირება

ბუნების მოვლენებზე დაკვირვებებმა და წარმოებულმა ცდებმა წარმოადგენა მოგვეცეს პროცესის მიმდინარეობის მიმართულებაზე, რის შესახებ ენერჯიის მუდმივობისა და თერმოდინამიკის პირველი კანონი პასუხს არ იძლევა. თერმოდინამიკის პირველი კანონი ამყარებს სითბურ და მექანიკურ ენერჯიათა ეკვივალენტობას და მათ შორის რაოდენობითი თანაფარდობას, მაგრამ არ იძლევა წარმოადგენას ამ ენერჯიათა გარდაქმნების

მიმართულებაზე და არ ამყარებს იმ პირობებს, რომლებიც ამ გარდაქმნებისათვის არის საჭირო.

დაკვირვებები გვიჩვენებენ, რომ მექანიკური ენერჯიის სითბურ ენერჯიად და პირობით გარდაქმნებს შორის არსებითი განსხვავება არსებობს როგორც იმ პირობების მიხედვით, რომელთა დროსაც გარდაქმნა წარმოებს, ისე შედეგების მიხედვით; მაშინ, როცა მექანიკური ენერჯიის სითბოდ გარდაქმნა არავითარ სიძნელეს არ წარმოადგენს და შეზღუდული არ არის (მაგ., ხახუნის მუშაობა, შეკუმშვის მუშაობა, კარნოს შექცევულ პროცესში გარედან დაბარჯული მუშაობა მთლიანად სითბოდ გადადის და ა. შ.). შექცევული პროცესი, სითბოს მექანიკურ ენერჯიად გარდაქმნა (მაგ., თბოძრავებში) განსაზღვრულ პირობებში წარმოებს და, ამასთან, პროცესში მონაწილე სითბოს რაოდენობა მექანიკურ ენერჯიად მთლიანად ვერ გარდაიქმნება. თერმოდინამიკის პირველი კანონი განხილულ ორივე შემთხვევას შორის არავითარ განსხვავებას არ იძლევა; როგორც ერთ, ისე მეორე შემთხვევაში მხოლოდ რიცხობრივი დამოკიდებულება არის მოცემული მაშინ, როდესაც, როგორც ვხედავთ, ეს გარდაქმნები სხვადასხვა პირობებში მიმდინარეობენ და სხვადასხვა შედეგს იძლევიან.

ნათქვამიდან გამომდინარეობს, რომ თერმოდინამიკის პირველი კანონი წოდებულს იმ პირობების განსაზღვრულ დამატებას, რომელთა დროსაც სითბური ენერჯიის მექანიკურ ენერჯიად გარდაქმნა შესაძლებელი ხდება.

თბოძრავების მუშაობაზე დაკვირვებებისა და სხვა სითბური მოვლენების შესწავლის შედეგად დადგენილი იქნა თერმოდინამიკის მეორე კანონი, რომელმაც; როგორც პასუხი კითხვაზე გარდაქმნების პირობებისა და, მაშასადამე, მათი მიმართულების შესახებ. ამგვარად, თერმოდინამიკის მეორე კანონის შინაარსს შეადგენს იმ პირობების დადგენა, რომელთა დროსაც მექანიკურ ენერჯიად სითბური ენერჯიის გარდაქმნა შესაძლებელი ხდება.

სხვადასხვა მეცნიერის მიერ თერმოდინამიკის მეორე კანონის სხვადასხვა ფორმულირებით იყო მოცემული. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ისტორიულად თერმოდინამიკის მეორე კანონის ჩამოყალიბება პირველს წინ უსწრებდა. პირველად თერმოდინამიკის მეორე კანონი გამოთქმული იყო კარნოს მიერ 1824 წ. თავის ნაშრომში „ქოსაზრება ცეცხლის ძალის შესახებ და ამ ძალის განვითარების უნარის მქონე მანქანების შესახებ“, სადაც მან აღწერა თბომანქანის ციკლი, რომელიც ზემოთ განვიხილეთ. როგორც ციკლს აღწერის დროს დავინახეთ, კარნოს წრიულ პროცესში სითბოს წყაროს სითბოს გამოყენებისათვის საჭირო იყო მაცივარი, ე. ი. წყარო უფრო დაბალი ტემპერატურით. მაშასადამე, სითბოს მუშაობად გარდაქმნისათვის საჭირო იყო ტემპერატურათა სხვაობა. ამის საფუძველზე კარნოს დაადგინა, რომ ყველა განსაზღვრულ ტემპერატურათა სხვაობა არსებობს, შეიძლება აღიძრას მათობრივად დადგენილი ძალა, რაც თერმოდინამიკის მეორე კანონის არსს შეადგენს.

კარნოს იმავე ციკლიდან, რომელიც იდეალურ და ყველაზე ეკონომიურ ციკლს წარმოადგენს, ჩვენ დავინახეთ, რომ მუშა სხეულმა მიიღო q_1 სითბოს რაოდენობა და მაცივარს გადასცა q_2 სითბოს რაოდენობა. სითბოს ნაწილი $q_1 - q_2$ გარდაიქმნა მექანიკურ ენერჯიად, რომლის ხარჯზე l მუშაობა შესრულდა, ე. ი. მივიღეთ.

$$q_1 - q_2 = A/l.$$

როგორც ვხედავთ, ამ შემთხვევაში სითბოს წყაროდან მიღებული სითბოს მთელი რაოდენობა არ გარდაიქმნება მუშაობად, მუშაობად გარდაიქმნება მხოლოდ მისი ნაწილი $q_0 = q_1 - q_2$.

მაშასადამე, მუშაობად q_0 სითბოს რაოდენობის გარდაქმნისათვის საჭიროა სხეულს შივაწოდ სითბოს რაოდენობა $q_1 = q_0 + q_1$, სადაც q_1 სითბოს რაოდენობა მუშაობად არ გარდაქმნება და დაბალი ტემპერატურის სითბოს მიმღებს გადაეცემა.

აქედან გამომდინარეობს, რომ პერიოდულად მოქმედ ყოველ თბოძრავაში შეუძლებელია მექანიკურ ენერჯიად სითბური ენერჯიის გარდაქმნა სითბოს ორი წყაროს გარეშე, რომელთაგან პირველი—სხელი წყარო მუშა სხეულს სითბოს გადასცემს, მეორე—ცივი წყარო კი ამ სხეულისაგან სითბოს თვითონ ღებულობს. მაშასადამე, ამ შემთხვევაში თერმოდინამიკის მეორე კანონი შემდეგნაირად გამოისახება: პერიოდულად მოქმედ ძრავაში შეუძლებელია იმ სითბოს მთლიანად მუშაობად გარდაქმნა, რომელსაც მუშა სხეული სითბოს წყაროდან ღებულობს.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, თერმოდინამიკის მეორე კანონის სხვადასხვა ფორმულირება გვაქვს; მათ შორის ფორმულირება, რომელიც პლანკმა გამოთქვა შემდეგში მდგომარეობს: „შეუძლებელია აგება პერიოდულად მოქმედი ძრავისი, რომელიც მხოლოდ ტვირთს აწევდა და სითბოს წყაროს გააცივებდა“. ამგვარად, აღნიშნულიდან გამომდინარეობს რომ შეუძლებელია მექანიკური ენერჯიის მიღება, როდესაც სითბოს მხოლოდ ერთი წყარო გვაქვს. მართლაც, თუ შესაძლებელი იქნებოდა, რომ განხორციელებულიყო ისეთი ძრავა, რომელიც მხოლოდ სითბოს წყაროს გააცივებდა და მექანიკური ენერჯიას მოგვცემდა, მაშინ შესაძლებელი იქნებოდა, რომ ბუნებაში არსებული ყველა სხეულის, მაგალითად, ზღვისა და ოკეანის წყლების, სითბო მუშაობად გარდაქმნილიყო. ამ შემთხვევაში გვექნებოდა ძრავა, რომლის მოქმედება ენერჯიის მუდმივოდენობის კანონს არ ეწინააღმდეგება და, რომელსაც თავისი პრაქტიკული შედეგებით, ჩვენთვის ისეთივე მნიშვნელობა ექნებოდა, როგორც პირველი გვარის *perpetuum mobile*-ს, რის გამო მას მეორე გვარის *perpetuum mobile* უწოდებს.

ცდები გვიჩვენებენ, რომ ასეთი ძრავას განხორციელება შეუძლებელია. ამის მიზეზი იმაში მდგომარეობს, რომ მეორე გვარის *perpetuum mobile* თერმოდინამიკის მეორე კანონს ეწინააღმდეგება, რადგან ასეთი ძრავა იმუშავებდა სითბოს მხოლოდ ერთი წყაროთი, რომლისაგანაც მუშა სხეული სითბოს მიიღებდა. ამ შემთხვევაში აუცილებელ საჭიროებას წარმოადგენს სითბოს მეორე წყარო, რომელიც თბოძრავების განხორციელებისათვის დამატებით პირობას შეადგენს. ამგვარად, თერმოდინამიკის მეორე კანონი შეიძლება შემდეგნაირად გამოისახოს: „შეუძლებელია აგებულ იქნეს მეორე გვარის *perpetuum mobile*, ე. ი. ისეთი ძრავა, რომელიც მოცემულ სხეულთა სისტემიდან ყველაზე უფრო ცივი სხეულის სითბოს მუშაობად გარდაქმნიდა“.

ბუნების მოვლენებზე დაკვირვებებიდან ვიცით, რომ სითბო ყოველთვის გადადის უფრო შალაი ტემპერატურის მქონე სხეულიდან უფრო დაბალი ტემპერატურის მქონე სხეულზე, ასეთი პროცესი თავისთავად წარმოებს და მას თან არ სდევს სხვა რაიმე დამატებითი პროცესი. ისეთ პროცესებს, რომლებიც თავისთავად მიმდინარეობენ, ბუნებრივი პროცესები ეწოდებათ. მათ ეკუთვნით, მაგალითად, უფრო თბილი სხეულიდან ნაკლებად გამთბარ სხეულზე სითბოს გადასვლა, მექანიკური ენერჯიის სითბოდ გარდაქმნა, აირში წნევის გათანაბრება და ა. შ. მაგრამ ბუნებაში არსებობენ, ისეთი პროცესებიც, რომლებსაც თან სდევს სხვა პროცესებიც, ე. ი. ისეთები, რომლებიც თავისთავად არ განხორციელდებიან, ნაგ., სითბოს გადასვლა უფრო ცივი სხეულიდან უფრო თბილ სხეულზე, სითბოს მუშაობად გარდაქმნა და ა. შ. ისეთ პროცესებს, რომლებიც თავისთავად არ განხორციელდებიან, ხელოვნური ეწოდებათ.

ერთ სხეულიდან მეორეზე სითბოს გადასვლის პროცესის საფუძველზე გვაქვს თერმოდინამიკის მეორე კანონის შემდეგი ფორმულირება: „სითბოს თავისთავად არ შეუძლია გადასვლა ცივი სხეულიდან უფრო თბილ სხეულზე“. ამ ფორმულირებას კლავიუსის პოსტულატი ეწოდება. რა თქმა უნდა, ეს უკანასკნელი ჩვენ ისე კი არ უნდა გავიგოთ, რომ ცივი სხეულიდან უფრო თბილ სხეულზე სითბოს გადასვლა სავსებით შეუძლებელია, არამედ ისე როგორც ეს კანონს შექცეული ციკლის განხილვის დროს დაეინახეთ. ეს პროცესი შესაძლებელია, მხოლოდ რაღაც დამატებითი პირობების დროს, რაც გარედან მუშაობის დახარჯვაში გამოისახება. მაშასადამე, აქედან გამომდინარე, კლავიუსის პოსტულატი შეიძლება შემდეგნაირად გამოითქვას: შეუძლებელია ისეთი პროცესი, რომლის ერთადერთ საბოლოო შედეგს ცივი სხეულიდან თბილ სხეულზე სითბოს გადასვლა წარმოადგენდეს.

როგორც უკვე ზემოაღნიშნული მაგალითებიდან შევინახეთ, პროცესები, რომლებიც პირდაპირი მიმდინარეობის დროს თავისთავად იქნენ განხორციელებული, შექცეული მიმართულებით განხორციელებისათვის დამატებით სხვა პროცესების შესრულებას მოითხოვენ, და თავისთავად ვერ განხორციელდებიან. აქედან კი გამომდინარეობს, რომ თავისთავადი პროცესები შეუქცევადია, რაც თერმოდინამიკის მეორე კანონის შედეგს წარმოადგენს.

თერმოდინამიკის მეორე კანონი წარმოადგენს წმინდა ემპირიულ კანონს, რომელიც ცდების საფუძველზე იქნა მიღებული. რადგან ცდები ჩატარებულია დედამიწის ფარგლებში განსაზღვრულ პირობებში. ამიტომ სწავა პირობებში თერმოდინამიკის მეორე კანონის გაერყელება დასაბუთებული არ იქნება.

1-4: აირთა მთროპია

კანონს ციკლის განხილვისას ჩვენ გამოვარკვეით, რომ მისი ოერზული მარგი ქმედების კოეფიციენტი შეიძლება გამოისახოს:

$$\eta = \frac{q_1 - q_2}{q_1} \quad \text{ან} \quad \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

ე. ი.

$$\frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \text{ანუ} \quad 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad \text{და} \quad \frac{q_2}{q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

უკანასკნელ ტოლობაში შუა წევრების გადასმით, მივიღებთ:

$$\frac{q_1}{T_1} = \frac{q_2}{T_2} \quad \text{ანუ} \quad \frac{q_1}{T_1} - \frac{q_2}{T_2} = 0.$$

ამ გამოსახულებაში q_1 მიწოდებული სითბოს რაოდენობა, ხოლო q_2 — არინებული სითბოს რაოდენობა. თუ მაცივარზე გადაცემულ სითბოს რაოდენობას უარყოფითად ჩავთვლით, ე. ი. მივიღებთ მის არა აბსოლუტურ, არამედ ალგებრულ მნიშვნელობას, მაშინ უკანასკნელი გამოსახულება შეიძლება შემდეგნაირად დაიწეროს:

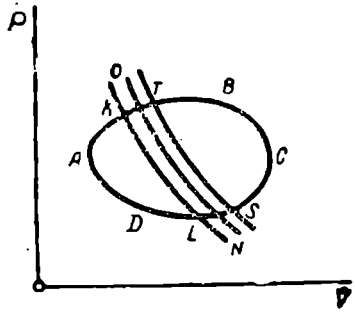
$$\frac{q_1}{T_1} + \frac{q_2}{T_2} = 0.$$

ამგვარად, ამ გამოსახულების მარცხენა ნაწილში მივიღეთ ალგებრული ჯამი, რომელსაც შეიძლება შემდეგი სახე მივცეთ:

$$\sum \frac{q}{T} = 0. \quad (1-147)$$

მიღებული გამოსახულება გვიჩვენებს, რომ კარნოს შექცევადი ციკლისათვის ალგებრული ჯამი სითბოთა რაოდენობების შეფარდებებისა აბსოლუტურ ტემპერატურებთან, რომელთა დროსაც სითბოს მიწოდება ან არინება ხდებოდა, ნულის ტოლია. შეიძლება დავამტკიცოთ, რომ ეს პირობა მართებულია ყველა შექცევადი ციკლისათვის.

ვთქვათ, მოცემული გვაქვს ABCDA შექცევადი ციკლი (ნაკ. 1-28). განსხვავებით კარნოს ციკლისაგან, რომლის დროსაც სითბოს მიწოდება და არინება მუდმივი ტემპერატურის დროს ხდებოდა, ალგებრული ციკლში სითბოს მიწოდება და არინება ცვლადი ტემპერატურის დროს ხდება. ABCDA ციკლში ერთმანეთთან უსასრულოდ ახლოს მდებარე KL, ON, TS და ა. შ. ადიაბატების გავლებით KONLK, OTSNO და ა. შ. ელემენტარულ ციკლთა უსასრულოდ დიდ რიცხვს მივიღებთ. ყოველი ასეთი ელემენტარული ციკლი შეგვიძლია კარნოს ელემენტარულ ციკლად ჩავთვალოთ, რადგან იგი შედგება ორი ადიაბატისა და კონტურის ორი ელემენტარული მონაკვეთისაგან, რომლებიც შეიძლება მივიღოთ როგორც იზოთერმები; ეს უკანასკნელი დაშვება



ნაკ. 1-28.

იმით არის გამართლებული, რომ ამ მონაკვეთების სიგრძე უსასრულოდ მცირეა და მათზე ტემპერატურის ცვლილება უსასრულოდ მცირე იქნება და, მაშასადამე, ამ შემთხვევაში შეგვიძლია $T = \text{const}$ მივიღოთ. ამგვარად მიღებული კარნოს ელემენტარულ ციკლთა ერთობლივი და ალგებრული ABCDA მთელი ციკლის მოქმედება ერთნაირია.

მართლაც, მუშა სხეული ყველა ადიაბატს (KL, ON, TS და ა. შ.) გაივლის ორჯერ ურთიერთ საწინააღმდეგო მიმართულებით, მაგალითად, სხეულის მიერ KONLK ციკლის შესრულებისას იგი O-დან N-საკენ გაივლის, ხოლო OTSNO ციკლის შესრულებისას კი N-დან O-საკენ. ასე რომ, ერთ შემთხვევაში გაუფართოებისა და მეორე შემთხვევაში შეკუმშვის მუშაობები ერთიმეორის ტოლია და საბოლოო ჯამში ადიაბატური პროცესები მუშაობაზე გავლენას არ ახდენენ, სითბო კი ორივე შემთხვევაში არც მიწოდდება და არც არინდება. მაშასადამე, ელემენტარულ ციკლთა შეჯამებითი მოქმედება იმ KO, OT, SN, NL და ა. შ. ელემენტარულ პროცესთა ერთობლივ მოქმედებაზე დაიყვანება, რომლებიც საბოლოო ჯამში ABCDA ციკლს იძლევიან.

თუ კარნოს რომელიმე, მაგ., KONLK ელემენტარული ციკლისათვის მიწოდებულ სითბოს ელემენტარულ რაოდენობას აღვნიშნავთ dq_1 -ით, არინებულ სითბოს ელემენტარულ რაოდენობას dq_2 -ით, ხოლო T_1 -ითა და T_2 -ით ტემპერატურებს, რომელთა დროსაც სითბოს მიწოდება და არინება ხდება, მაშინ

$$\frac{dq_1}{T_1} = \frac{dq_2}{T_2} \quad \text{და} \quad \frac{dq_1}{T_1} - \frac{dq_2}{T_2} = 0.$$

ყველა ელემენტარული ციკლისათვის. ე. მთელი ციკლისათვის, მივიღებთ

$$\int_A^C \frac{dq_1}{T_1} - \int_C^A \frac{dq_2}{T_2} = 0.$$

როგორც წესისა, აუ შეიძლება, რომ dq_2 არინებული სითბოს ელემენტარული რაოდენობაა, ე. ი. გათვალისწინებთ, რომ იგი უარყოფითი სიდიდეა, მაშინ

$$\int_A^C \frac{dq_1}{T_1} + \int_C^A \frac{dq_2}{T_2} = 0,$$

რაც შეგვიძლია გამოვსახოთ შემდეგნაირად:

$$\oint \frac{dq}{T} = 0. \quad (1-148)$$

ნიშანი \oint აღნიშნავს, რომ ინტეგრაცია მთელ შეკრულ კონტურზე წარმოებს.

ამგვარად, ჩვენ დავამტკიცეთ, რომ ყოველი შექცევადი ციკლისათვის მიწოდებულ სითბოთა უსასრულოდ მცირე რაოდენობების აბსოლუტურ ტემპერატურებთან შეფარდებათა ალგებრული ჯამი ნულის ტოლია. ეს უკანასკნელი დებულება თერმოდინამიკის მეორე კანონის ერთ-ერთ შესაძლო ფორმულირებას გამოსახავს.

ახლა განვიხილოთ შეუქცევადი ციკლები. შეუქცევადი ციკლებისათვის, რომლებიც იმავე ტემპერატურათა ფარგლებში მიმდინარეობენ, რაც კარნოს ციკლი, თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი, როგორც ვიცით, გამოისახება შემდეგნაირად:

$$\eta_i = \frac{q_1 - q_2}{q_1} < \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

ე. ი.

$$\frac{q_1 - q_2}{q_1} < \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \text{ანუ} \quad 1 - \frac{q_2}{q_1} < 1 - \frac{T_2}{T_1},$$

საიდანაც მივიღებთ, რომ

$$\frac{q_2}{q_1} > \frac{T_2}{T_1} \quad \text{და} \quad \frac{q_1}{T_1} < \frac{q_2}{T_2}.$$

რადგან q_2 არინებული სითბოს რაოდენობაა და მას აქვს უარყოფითი ნიშანი, მივიღებთ

$$\frac{q_1}{T_1} + \frac{q_2}{T_2} < 0, \quad \text{ე. ი.} \quad \sum \frac{q}{T} < 0. \quad (1-149)$$

თუ ავიღებთ რომელიმე ნებისმიერ ციკლს და ზემონაჩვენები წესით მას ელემენტარულ ციკლებად დავყოფთ, მაშინ ყოველი ელემენტარული ციკლისათვის გვექმნება

$$\frac{dq_1}{T_1} < \frac{dq_2}{T_2}, \quad \text{საიდანაც} \quad \frac{dq_1}{T_1} - \frac{dq_2}{T_2} < 0.$$

dq_2 სითბოს რაოდენობის ნიშნის გათვალისწინებით, მივიღებთ

$$\frac{dq_1}{T_1} + \frac{dq_2}{T_2} < 0.$$

მთელი ციკლისათვის გვექმნება

ანუ

$$\int_{\text{ბიწი.}} \frac{dq_1}{T_1} + \int_{\text{აიწი.}} \frac{dq_2}{T_2} < 0,$$

$$\oint \frac{dq}{T} < 0, \quad (1-150)$$

რაც შეუქცევადი ციკლების დამახასიათებელ გამოსახულებას წარმოადგენს, შექცევადი და შეუქცევადი ციკლებისათვის მიღებული შედეგების საფუძველზე, შეგვიძლია ზოგადად დავწეროთ

$$\oint \frac{dq}{T} \leq 0, \quad (1-151)$$

სადაც ტოლობის ნიშანი ეკუთვნის შექცევად ციკლებს, უტოლობისა კი შეუქცევად ციკლებს.

ზემოთ შექცევადი ციკლებისათვის მივიღეთ, რომ

$$\oint \frac{dq}{T} = 0. \quad (a)$$

ამის გარდა, ჩვენ აღვნიშნეთ, რომ ინტეგრაცია მთელი ABCDA (ნაქ. 1-2B) ციკლის მიხედვით წარმოებს. მაშასადამე,

$$\oint \frac{dq}{T} = \Delta s_{\text{ABCDA}}$$

ამ უკანასკნელი გამოსახულების შედარებით (a) გამოსახულებასთან გვექნება

$$\Delta s_{\text{ABCDA}} = 0.$$

რადგან s სიდიდის ცვლილება შეკრულ პროცესში ნულის ტოლია, ამიტომ მისი ცვლილება რომელიმე მდგომარეობებს შორის არ არის დამოკიდებული პროცესის გზაზე; ეს უკანასკნელი კი სხეულის მდგომარეობის ყველა დანარჩენ პარამეტრს ახასიათებს, რის გამო შეგვიძლია გამოვიტანოთ დასკვნა, რომ

$$s = \int \frac{dq}{T} \quad (1-152)$$

სიდიდე სხეულის მდგომარეობის პარამეტრია. ამ პარამეტრს ენტროპია ეწოდება.

მაშასადამე, აირის ყოველ მდგომარეობას საეცებით განსაზღვრული ენტროპიის მნიშვნელობა შეესაბამება და ეს უკანასკნელი შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს დანარჩენი პარამეტრების მსგავსად, რომელიმე ორი ძირითადი პარამეტრის საშუალებით.

ენტროპიის მნიშვნელობის გამოთვლისათვის საჭიროა წინასწარ იქნეს დაპირობებული, თუ აირის რა მდგომარეობიდან დავიწყებთ მის ათვლას, ე. ი. რა პირობებში გვექნება $s=0$. რადგან ტექნიკურ თერმოდინამიკაში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ენტროპიის არა აბსოლუტურ მნიშვნელობას, არამედ მის ცვლილებას რომელიმე მდგომარეობებს შორის, ამიტომ სულერთია, თუ საიდან დავიწყებთ მის ათვლას. ჩვეულებრივად აირებისათვის ენტროპიის მნიშვნელობის ათვლას ნორმალური მდგომარეობიდან იწყებენ. ამგვარად, p და T პარამეტრებიანი აირისათვის ენტროპიის მნიშვნელობა განსაზღვრული იქნება, თუ გამოვთვლით სიდიდეს

$$s = \int_{p_0=1,0333 \text{ ატა}}^{pT} \frac{dq}{T} \quad (1-153)$$

$T_0 = 273^\circ \text{ K}$

(1-152) გამოსახულების ვადიფერენციალურია მივიღებო

$$ds = \frac{dq}{T} \quad (1-154)$$

1 და 2 მდგომარეობებს შორის ენტროპიის ცვლილება კი გამოისახება შემდეგნაირად:

$$\Delta s = s_2 - s_1 = \int_1^2 \frac{dq}{T} \quad (1-155)$$

ამ უკანასკნელი გამოსახულებიდან ჩანს, რომ ენტროპიის განზომილებაა კკალ/კგ გრად.

როდესაც პროცესში მონაწილეობს არა ერთი კგ აირი, არამედ G კგ, მაშინ ანალოგიურად დანარჩენი სიდიდეების აღნიშვნისა, ენტროპიაც აღინიშნება S ასოთი და გვექნება

$$S = G s \quad G \int \frac{dq}{T}$$

აქ უკვე განზომილება იქნება კკალ/გრად.

ამგვარად, p , v , T , n და i პარამეტრების გარდა დამატებით შემოვიღეთ ასალი სიდიდე ენტროპია s , რომელიც აგრეთვე პარამეტრს წარმოადგენს და, მაშასადამე, სხეულის მდგომარეობის დამახასიათებელია. პარამეტრის ენტროპიის შეთვისება თავდაპირველად დიდ სიძნელეებთან არის დაკავშირებული. რადგან შეუძლებელია მისი ფიზიკური არსის განმარტება საკმარისი სიმარტივეით და თვალსაჩინოვებით და, აგრეთვე, რაიმე ბელსაწყობით მისი უშუალო გაზომვაც. ჩვენი მიზნებისათვის საეცხბოთ საკმარისია ენტროპიის განხილვა, როგორც სხეულის მდგომარეობის ფუნქციისა, რომელიც გამოთვლის გზით განისაზღვრება; მისი გამოყენება მრავალ შემთხვევაში, როგორც ამას შემდეგში დაეინახავთ, თეორიული დასკვნების გამოტანას და პრაქტიკულ გაანგარიშებებს მნიშვნელოვნად ამარტივებს.

(1-154) განტოლებიდან შექცევადი პროცესებისათვის გვექნება

$$dq = T ds \quad (1-156)$$

ეს უკანასკნელი განტოლება შეიძლება ჩაითვალოს, როგორც თერმოდინამიკის მეორე კანონის ანალიზური გამოსახულება შექცევადი პროცესებისათვის.

(1-156) განტოლებიდან გამოვძინარეობს, რომ, რადგან T ყოველთვის დადებითია, ამიტომ dq და ds სიდიდეებს ერთი და იგივე ნიშანი აქვთ, ე. ი. თუ $dq > 0$, მაშინ $ds > 0$ და, პირიქით, თუ $dq < 0$, მაშინ $ds < 0$. მაშასადამე, სითბოს მიწოდება დაკავშირებულია ენტროპიის ზრდასთან, არინება კი მის შემცირებასთან.

1-48. სითბური ღიპარაბა

ყველა პროცესის განხილვის დროს ზემოთ ჩვენ ვსარგებლობდით მათი გრაფიკული გამოსახვით p - v კოორდინატთა სისტემაში. მაგრამ შესაძლებელია აგრეთვე, პროცესის განხილვის დროს, სხვა კოორდინატთა სისტემითაც ვისარგებლოთ. რადგან ენტროპია სხეულის მდგომარეობის პარამეტრს წარმოადგენს, ამიტომ მას სხვა რომელიმე ძირითად პარამეტრთან ერთად შეუძლია აირის მდგომარეობა განსაზღვროს. ამის გამო მიღებული და მეტად მოხერხებულია აირის მდგომარეობის გამოსახვა TS კოორდინატთა სისტემაში. ამ სისტემაში გადაზომილია აბსცისთა ლერძზე ენ-

ტრაპიის მნიშვნელობანი, ხოლო ორდინატა ღერძზე — აბსოლუტური ტემპერატურის მნიშვნელობანი. p სისტემაში აღებულ წერტილს, რომელიც p და v პარამეტრების მქონე აირის მდგომარეობას გამოსახავს, TS სისტემაში სავსებით განსაზღვრული წერტილი შეესაბამება, რასაც ადასტურებს ის, რომ p და v სიდიდეების მნიშვნელობანი სავსებით საზღვრავენ s და T სიდიდეებს, ე. ი.

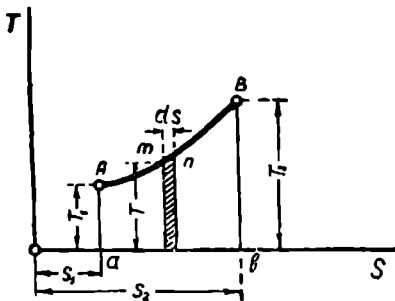
$$s = \varphi(p, v) \quad \text{და} \quad T = f(p, v).$$

აღნიშნული გარემოება საშუალებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ p სისტემაში აღებული ყოველი პროცესის გრაფიკულ გამოსახულებას TS სისტემაში სავსებით გარკვეული გრაფიკული გამოსახულება შეესაბამება.

ახლა, თუ დავუშევთ, რომ TS კოორდინატა სისტემაში აირის საწყისი მდგომარეობა A წერტილით (ნაკ. 1—29) გამოისახება და საბოლოო მდგომარეობა კი B წერტილით, რომელთა დამახასიათებელი პარამეტრებია შესაბამისად T_1, s_1 და T_2, s_2 , მაშინ AB მრუდი გამოსახავს აირის მდგომარეობის ცვლილებას TS კოორდინატა სისტემაში. ამ მრუდის განტოლება იქნება

$$T = f(s).$$

AB მრუდზე ავიღოთ რომელიმე m წერტილი, რომელიც აირის მდგომარეობას გამოსახავს, როდესაც მისი ტემპერატურა არის T , და აირს მივაწოდოთ უსასრულოდ



ნაკ. 1—29.

მცირე dq სითბოს რაოდენობა.

ვთქვათ, ამ სითბოს მიწოდების შემდეგ აირის ენტროპია შეიცვალა ds სიდიდით, და მისი მდგომარეობა n წერტილით გამოისახა.

მდგომარეობის ამ უსასრულოდ მცირე ცვლილების დროს მიღებული ელემენტარული ფართობი ტოლი იქნება

$$Tds,$$

რადგან ამ უსასრულო მცირე ცვლილების დროს T შეგვიძლია მუდმივ სიდიდედ ჩავთვალოთ.

მეორე მხრით კი ვიციით, რომ

$$dq = Tds, \quad (a)$$

მაშასადამე, მიღებული (a) გამოსახულების საფუძველზე TS კოორდინატა სისტემაში ელემენტარული ფართობი წარმოადგენს ელემენტარულ მუშაობად გარდაქმნილ სითბოს ელემენტარულ dq რაოდენობას, რომელიც მიწოდებულ იქნა აირის მდგომარეობის უსასრულოდ მცირე ცვლილების დროს.

ცხადია, რომ ელემენტარული სიდიდის Tds ინტეგრებით მთელ $ABbaA$ ფართობს მივიღებთ, მაშასადამე,

$$F = \text{ფართ. } ABbaA = \int_1^2 Tds. \quad (b)$$

ანალოგიურად, (a) გამოსახულების ინტეგრებით, გვიქნება:

$$q = \int_1^2 Tds. \quad (c)$$

(ბ) და (ც) გამოსახელებების შედარებით მივიღებთ, რომ T_2 დიაგრამაზე ფართობი, რომელიც შემოსახლვრულია პროცესის მრუდით, ნაპირა ორდინატებით და აბსცისთა ღერძით გარკვეული მასშტაბით გამოსახავს პროცესის მსვლელობის დროს მიწოდებულ ან არინებულ სითბოს რაოდენობას. ამიტომ ხშირად T_2 დიაგრამას სითბურ დიაგრამას უწოდებენ.

1-49. ენტროპიის, როგორც სხვადასხვა პარამეტრის ფუნქციის, გამოსახელება

იდეალური აირის ენტროპიის ცვლილების გამოთვლის გასამარტივებლად დავუშვათ, რომ გვაქვს 1 კგ აირი, რომელიც მდგომარეობიდან 1 გადადის მდგომარეობაში 2. ამ მდგომარეობების შესაბამისად მათი ენტროპიის მნიშვნელობანი s_1 და s_2 აღვნიშნოთ. ამის შემდეგ, ენტროპიის ცვლილების გამოსათვლელად გამოვიყენოთ ფორმულა

$$ds = \frac{dq}{T},$$

რომელშიც თერმოდინამიკის პირველი კანონის მათემატიკური გამოსახელების $dq = c_v dT + A p dv$ მნიშვნელობის შეტანით მივიღებთ:

$$ds = \frac{c_v dT + A p dv}{T} \quad \text{ან} \quad ds = c_v \frac{dT}{T} + A \frac{p}{T} dv.$$

თუ ამ გამოსახელებაში, იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლებიდან $p v = RT$, ჩავსვამთ $\frac{p}{T} = \frac{R}{v}$ მნიშვნელობას, მივიღებთ:

$$ds = c_v \frac{dT}{T} + AR \frac{dv}{v}, \quad (a)$$

ამ განტოლების ინტეგრებით გვექნება

$$s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + AR \ln \frac{v_2}{v_1}. \quad (1-157)$$

ამ შემთხვევაში ენტროპიის ცვლილება გამოთვლილია ტემპერატურებისა და მოცულობების მნიშვნელობათა საშუალებით, მაგრამ შესაძლებელია მისი გამოთვლა, აგრეთვე, სხვა პარამეტრებითაც, თუ (1-157) განტოლებაში შესაბამის გარდაქმნებს მოვახდენთ.

თუ (a) გამოსახელებიდან გამოვირიცხავთ T პარამეტრს, მაშინ ენტროპიის ცვლილება პროცესში გამოითვლება წნევებისა და მოცულობების მნიშვნელობათა საშუალებით. აირის მდგომარეობის განტოლების გადიფერენციალებით მივიღებთ:

$$p dv + v dp = R dT.$$

გავყოთ მიღებული გამოსახელება $p v = RT$ განტოლებაზე, ამასთან, მარცხენა მხარე მარცხენაზე, ხოლო მარჯვენა კი მარჯვენაზე; გვექნება

$$\frac{p dv}{p v} + \frac{v dp}{p v} = \frac{R dT}{RT} \quad \text{ანუ} \quad \frac{dv}{v} + \frac{dp}{p} = \frac{dT}{T}. \quad (b)$$

(ა) გამოსახულებაში მიღებული $\frac{dT}{T}$ მნიშვნელობის ჩასმით გამოირიცხება T პარამეტრი და გვექნება:

$$ds - c_v \left(\frac{dv}{v} + \frac{dp}{p} \right) + AR \frac{dv}{v} = c_v \frac{dv}{v} + c_v \frac{dp}{p} + AR \frac{dv}{v} = c_v \frac{dp}{p} + (c_v + AR) \frac{dv}{v}$$

მაგრამ, რადგან $c_v + AR = c_p$, ამიტომ

$$ds = c_v \frac{dp}{p} + c_p \frac{dv}{v},$$

რომლის ინტეგრებით მივიღებთ:

$$s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{p_2}{p_1} + c_p \ln \frac{v_2}{v_1}. \quad (1-150)$$

ტემპერატურებისა და წნევების მნიშვნელობათა საშუალებით ენტროპიის ცვლილების გამოთვლისათვის (ა) გამოსახულებიდან გამოვირიცხოთ $\frac{dv}{v}$, რომელიც (ბ) გამოსახულებიდან ტოლია

$$\frac{dv}{v} = \frac{dT}{T} - \frac{dp}{p}.$$

ამ მნიშვნელობის ჩასმით (ა) გამოსახულებაში გვექნება

$$\begin{aligned} ds &= c_v \frac{dT}{T} + AR \left(\frac{dT}{T} - \frac{dp}{p} \right) = c_v \frac{dT}{T} + AR \frac{dT}{T} - AR \frac{dp}{p} = \\ &= (c_v + AR) \frac{dT}{T} - AR \frac{dp}{p} = c_p \frac{dT}{T} - AR \frac{dp}{p}. \end{aligned}$$

ამ უკანასკნელის ინტეგრებით მივიღებთ:

$$s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - AR \ln \frac{p_2}{p_1}. \quad (1-159)$$

ენტროპიის ცვლილების განმსაზღვრელი ფორმულების საშუალებით შეგვიძლია მისი ცვლილება ნებისმიერ ორ მდგომარეობას შორის გამოვითვალოთ. ამიტომ რომელიმე მდგომარეობის ენტროპიის მნიშვნელობის გამოსათვლელად საწყის მდგომარეობად შეგვიძლია მივიღოთ აირის მდგომარეობა ნორმალურ პირობებში. მაშასადამე, გამოთვლების დროს პირველი მდგომარეობის პარამეტრებად უნდა მივიღოთ

$$v_1 = v_0 \text{ და } p_1 = p_0 = 1,033 \text{ ატ. } t = 0^\circ\text{C. ან } T_1 = 273^\circ\text{K,}$$

რომლის დროსაც ენტროპიის მნიშვნელობა მიღებული იყო პირობით 'ნულის ტოლი, ე. ი. $s_1 = s_0 = 0$.

აღებული პირობებისათვის მიღებული ფორმულები გამოსახება შემდეგნაირად

$$s = c_v \ln \frac{T}{273} + AR \ln \frac{v}{v_0}, \quad (1-157')$$

$$s = c_v \ln \frac{p}{p_0} + c_p \ln \frac{v}{v_0}, \quad (1-158')$$

$$s = c_p \ln \frac{T}{273} - AR \ln \frac{p}{p_0}. \quad (1-159')$$

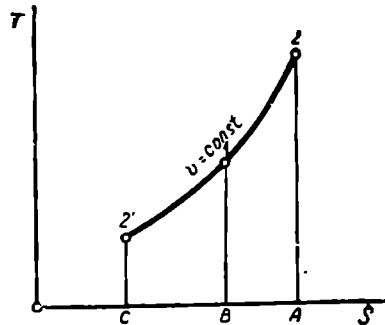
TS დიაგრამაზე

იზოქორული პროცესი. რადგან ამ შემთხვევაში $v = \text{const.}$ ამიტომ (1-157) და (1-158) განტოლებებში $v_1 = v_2$ ჩანს, მივიღებთ:

$$s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} = c_v \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (1-160)$$

მაშასადამე, იზოქორული პროცესი *TS* კოორდინატთა სისტემაში ლოგარითმული მრუდით გამოისახება (ნაქ. 1-30). ცხადია, რომ 1-2 მრუდი გამოისახავს პროცესს სითბოს მიწოდებით, რადგან ენტროპია იზრდება, ხოლო 1-2' მრუდი კი პროცესს სითბოს არივნებით. ამ პროცესებში მიწოდებული და არინებული სითბოს რაოდენობები შესაბამისად $12AB1$ და $12'CB1$ ფართობებით გამოისახება.

რადგან იზოქორული პროცესის დროს $dv = 0$ და მუშაობა არ სრულდება, ამიტომ მიღებული ფართობით გამოსახული სითბოს რაოდენობა აგრეთვე აირის შიგნეგრის ცვლილებას გამოსახავს. მაგალითად, 1-2 პროცესის დროს



ნაქ. 1-30.

$$\text{ფართობი } 12AB1 = q_{12} = c_v (T_2 - T_1) = u_2 - u_1$$

შესაბამისად გვექნება 1-2' პროცესისათვისაც.

იზობარული პროცესი. ამ შემთხვევაში (1-158) და (1-159) განტოლებებში $p_1 = p_2$ ჩანს, მივიღებთ:

$$s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{v_2}{v_1} = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (1-161)$$

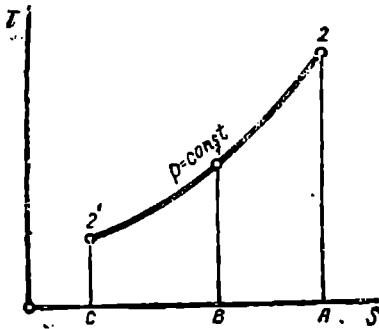
ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ იზობარული პროცესი *TS* დიაგრამაზე მსგავსად იზოქორული სითბოს მიწოდებით გამოისახება (ნაქ. 1-31). ამ შემთხვევაშიაც 1-2 პროცესი გამოისახავს გაბობნის პროცესს, 1-2' მრუდი კი—გაცივების პროცესს, რადგან პირველ შემთხვევაში ენტროპია იზრდება, ხოლო მეორეში—მცირდება, იმავე დასკვნამდე მივალთ, თუ გავიხსენებთ იმას, რომ მულტიპლიკაციის დროს ტემპერატურა იზრდება, მაშინ, როდესაც სითბოს ვაწოდებთ და პირიქით. როგორც დიაგრამიდან ჩანს, პირველ შემთხვევაში, ე. ი. 1-2 პროცესის დროს ვაქვს *T* ტემპერატურის ზრდა, ხოლო 1-2' პროცესის დროს კი ტემპერატურის შემცირება.

ფართობი $12AB1$ გამოისახავს 1-2 პროცესის დროს მიწოდებულ სითბოს რაოდენობას, ფართობი $12'CB1$ კი 1-2' პროცესის დროს არინებულ სითბოს რაოდენობას. ცხადია, რომ ეს ფართობები შესაბამისად სითბოშემცველობის ცვლილებასაც იძლევიან. მაგალითად, 1-2 პროცესისათვის

$$\text{ფართობი } 12AB1 = q_p = c_p (T_2 - T_1) = i_2 - i_1$$

ანალოგიურად გვექნება 1-2' პროცესისათვისაც.

ასლა შევადარაოთ იზოქორული და იზობარული პროცესების გამომსახველი მრუდები, აუ როგორ მდებარეობს დაიკავებენ ურთიერთ შორის, როდესაც აირის მდგომარეობის ცვლილება ორივე შემთხვევისათვის ერთსა და იმავე ტემპერატურულ ფარგლებში მიმდინარეობს. ამისათვის განვიხილოთ (1-160) და (1-161) განტოლებანი, სახელდობრ, ტემპერატურებით გამოსახული ენტროპიის ცვლილებანი:



ნაკ. 1-31.

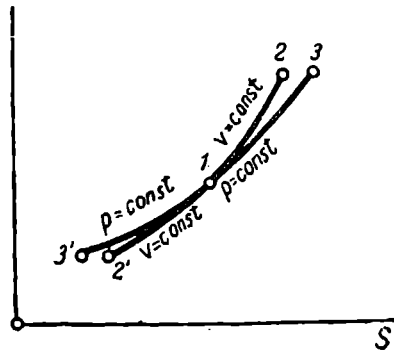
$$s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} \quad \text{და} \quad s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1}.$$

ამ განტოლებების შედარებიდან ჩანს, რომ ერთსა და იმავე ტემპერატურულ ფარგლებში ყოველთვის $p = \text{const}$ დროს აირის მდგომარეობის ცვლილებისათვის ენტროპიის ცვლილება უფრო მეტია, ვიდრე $v = \text{const}$ დროს, რადგან

$$c_p > c_v$$

მაშასადამე, თუ ორივე ამ პროცესს განვიხილავთ TS დიაგრამაზე, მაშინ სითბოს მიწოდების დროს იზოქორული პროცესის გამომსახველი მრუდი 1-2 (ნაკ. 1-32) იქნება და იზობარულისა კი 1-3. სითბოს არინების დროს იზოქორული პროცესი გამომსახება 1-2' მრუდით, იზობარული კი 1-3'-ით. მაშასადამე, თუ TS დიაგრამაზე იზოქორა და იზობარა ერთი წერტილიდან გამოდიან, მაშინ გააზობის დროს იზოქორა უფრო ზემოთ იქნება მოქცეული, ვიდრე იზობარა, ხოლო გაციელების დროს პირიქით.

იზოთერმული პროცესი. რადგან ამ შემთხვევაში სხეულის მდგომარეობის ცვლილება მუდმივი ტემპერატურის დროს წარმოებს, ამიტომ TS დიაგრამაზე იზოთერმული პროცესი აბსცისთა ღერძის პარალელური სწორი ხაზით



ნაკ. 1-32.

იქნება გამოსახული. დიაგრამაზე სითბოს მიწოდებით მიმდინარე იზოთერმული პროცესი გამომსახება 1-2 სწორი ხაზით (ნაკ. 1-33), რადგან $s_2 - s_1 > 0$, ხოლო სითბოს არინებით მიმდინარე პროცესი კი 1-2', რადგან $s_2 - s_1 < 0$. პროცესში მონაწილე სითბოს რაოდენობა სწორკუთხედის ფართობით გამოისახება. სახელდობრ, თუ ვიხილავთ სითბოს მიწოდებით მიმდინარე იზოთერმულ პროცესს, რომლის საწყისი წერტილის 1 ენტროპია არის s_1 , ხოლო საბოლოო წერტილისა 2 კი s_2 , და პროცესის მიმდინარეობს დროს შენარჩუნებულია ტემპერატურა T , მაშინ

$$q = \int_1^2 T ds = T(s_2 - s_1).$$

ენტროპიის ცვლილების გამოსათვლელად შეგვიძლია ვიხელმძღვანელოთ (1--157) და (1--159) ფორმულებით, სადაც უნდა ჩავსვათ $I_1 = T_1$, რის შემდეგ მივიღებთ; რომ იზოთერმული პროცესის დროს

$$s_2 - s_1 = AR \ln \frac{p_2}{p_1} = AR \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (1-162)$$

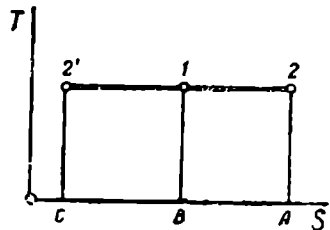
ახლა, თუ გავიხსენებთ, რომ იზოთერმულ პროცესში $du=0$, მაშინ ცხადი იქნება ჩვენთვის, რომ $T:S$ კოორდინატა სისტემაში იზოთერმული პროცესის გამოხატულება ხაზით, ნაპირა ორდინატებით და აბსცისითა ღერძით შემოსაზღვრული ფართობი, იმისა და მიხედვით სითბოს მიწოდება თუ არინება ხდება, გამოსახავს შესრულებულ ან დახარჯულ მუშაობას, რომელიც კილოკალორიებით იქნება გაზომილი.

აღიბატური პროცესი. რადგან ამ პროცესის შემთხვევაში $dq=0$, ამიტომ განტო-

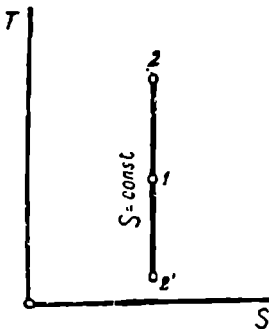
ლებიდან $ds = \frac{dq}{T}$, გვექნება

$$ds=0 \text{ და } s = \text{const},$$

ე. ი. აღიბატური პროცესის დროს ენტროპია უცვლელია ანუ იგი იზოენტროპიულ პროცესს წარმოადგენს.



ნაკ. 1-33.



ნაკ. 1-34.

ამის გამო აღიბატური პროცესი $T:S$ კოორდინატა სისტემაში ორდინატა ღერძის პარალელური სწორი ხაზით გამოისახება.

თუ აირის საწყისი მდგომარეობა $T:S$ კოორდინატა სისტემაში გამოისახება წერტილით 1 (ნაკ. 1-33), მაშინ შესაძლებელია, რომ მდგომარეობის აღიბატური ცვლილების პროცესი გამოისახოს, როგორც 1-2, ისე აგრეთვე 1-2' სწორი ხაზის მონაკვეთებით. იმის განსასაზღვრელად, თუ რა შემთხვევებს წესებას აქვს აღნიშნული სწორი ხაზის მონაკვეთები, საჭიროა გავერკვეთ პროცესის მიმდინარეობის მიმართულებაში. ამისათვის განვიხილოთ გამოსახულება

$$ds = c_v \frac{dT}{T} + AR \frac{dv}{v},$$

საიდანაც $ds=0$ ჩაბნის შემდეგ გვექნება:

$$c_v \frac{dT}{T} + AR \frac{dv}{v} = 0 \text{ და } dT = - \frac{ART}{c_v} \cdot \frac{dv}{v}.$$

ამ გამოსახულების განხილვიდან გამომდინარეობს, რომ თუ $dv > 0$, მაშინ $dT < 0$ და, პირიქით, თუ $dv < 0$, მაშინ $dT > 0$. მაშასადამე, აირის გაფართოების დროს ტემპერატურა ეცემა და $T:S$ დიაგრამაზე გაფართოების პროცესი 1-2' სწორი ხაზის მონაკვეთით გამოისახება, შეკუმშვის დროს კი ტემპერატურა იზრდება და შეკუმშვის პროცესი 1-2 სწორი ხაზის მონაკვეთით გამოისახება.

პოლიტროპული პროცესი. ამ შემთხვევისათვის ენტროპიის ცვლილებას განესაზღვრავთ, თუ $ds = \frac{dq}{T}$ გამოსახულებაში ჩავსვამთ $dq = c_v \frac{n-k}{n-1} dT$ მნიშვნელობას, რამელიც მიიღება (1-140) ფორმულიდან. მაშასადამე,

$$ds = c_v \frac{n-k}{n-1} \frac{dT}{T},$$

საიდანაც. როდესაც $c_v = c \cos t$, ინტეგრებით მივიღებთ:

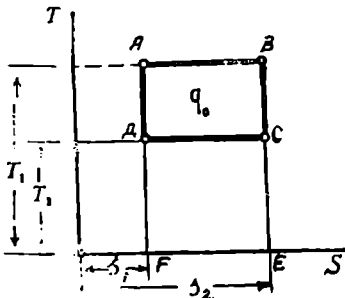
$$s_2 - s_1 = c_v \frac{n-k}{n-1} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

ამგვარად, ზოგადი სახის პოლიტროპა TS კოორდინატთა სისტემაში გამოისახება ლოგარითმული მრუდით, რომლის აგება ყველაზე მარტივია წერტილების მიხედვით.

კარნოს ციკლი. იმის შემდეგ, როდესაც უკვე განესაზღვრეთ, თუ როგორ გამოისახებიან TS კოორდინატთა სისტემაში ცალკეული პროცესები, შეგვიძლია ამავე კოორდინატთა სისტემაში კარნოს ციკლიც გამოვსახოთ.

როგორც ვიცით, კარნოს ციკლი ორი იზოთერმისა და ორი ადიაბატისაგან შედგება. ამის გამო TS კოორდინატთა სისტემაში იგი ახსტისთა ღერძის პარალელური ორი სწორი ხაზის მონაკვეთისა და ორდინატთა ღერძის პარალელური ორი სწორი ხაზის მონაკვეთისაგან შედგება. მაშასადამე, კარნოს ციკლი TS დიაგრამაზე სწორკუთხედით გამოისახება.

თუ TS დიაგრამაზე A წერტილით (ნაკ. 1-35) აიჩის საწყისი მდგომარეობა გამოვსახეთ, მაშინ AB გამოსახავს იზოთერმული გაფართოების პროცესს, BC ადიაბატური გაფართოების პროცესს, CD იზოთერმული შეკუმშვის პროცესს და DA ადიაბატური შეკუმშვის პროცესს. მაშასადამე, TS



ნაკ. 1-35.

დიაგრამაზე კარნოს ციკლი $ABCD$ სწორკუთხედით გამოისახა.

ცხადია, რომ AB პროცესში გვაქვს მუდმივი T_1 ტემპერატურა, რომელიც სითბოს წყაროს ტემპერატურის ტოლია და CD პროცესში კი T_2 ტემპერატურა, რომელიც მაიჯრის ტემპერატურის ტოლია.

ამ შემთხვევაში სითბოს წყაროდან აირზე გადაცემული სითბოს რაოდენობა გამოისახება $ABEFA$ ფართობით, აირიდან მაიჯრაზე გადაცემული სითბო კი $CDFEC$ ფართობით. ამ ფართობების სხვაობით მიღებული ფართობი $AB CDA$ კი სასარგებლოდ გამოყენებულ ანუ მუშაობად ვარაუდუნული სითბოს რაოდენობას გამოსახავს. მაშასადამე, კარნოს ციკლის თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტი იქნება

$$\eta_c = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{\text{ფართ. } ABEFA - \text{ფართ. } CDFEC}{\text{ფართ. } ABEFA} = \frac{\text{ფართ. } ABCDA}{\text{ფართ. } ABEFA}$$

მაგრამ თავის მართ ფართობი $AB CDA = (T_1 - T_2)(s_2 - s_1)$, ხოლო ფართობი $ABEFA = T_1(s_2 - s_1)$. ამ მნიშვნელობების ჩასმით თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტისათვის მიღებულ გამოსახულებაში, გვექნება:

$$\eta_1 = \frac{(T_1 - T_2)(s_2 - s_1)}{T_1(s_2 - s_1)} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

ვ. ი. ნივილთ იგივე გამოსახულება, რაც წინათ გვექონდა გამოყვანილი.

1-51. განმარტობადი სისტემის მდგომარეობა

შეუქცევადი პროცესებისათვის ზემოთ მიღებული გვექონდა, რომ

$$\oint \frac{dq}{T} < 0.$$

შეუქცევად პროცესებში ენტროპიის ცვლილების განზილვისათვის დაეშვათ, რომ აირის გადასვლა პირველი მდგომარეობიდან მეორე მდგომარეობაში ხდება შეუქცევადი პროცესით, ხოლო მეორე მდგომარეობიდან პირველში—შექცევადი პროცესით. აღენიშნოთ აირის პირველი მდგომარეობის ენტროპია s_1 —ით, ხოლო მეორესი კი s_2 —თი. რადგან ამ შექცევადი მთელი ციკლი შედგება შექცევადი და შეუქცევადი პროცესებისაგან, ამიტომ, ცხადია, რომ აირის მდგომარეობის ცვლილება შეუქცევადი ციკლით იწარმოებს:

დაშვებების თანახმად მთელი ციკლისათვის შეგვიძლია დაწვრიოთ, რომ

$$\oint \frac{dq}{T} = \int_1^2 \frac{dq}{T} + \int_2^1 \frac{dq}{T} \quad \text{და,} \quad \text{მაშასადამე,} \quad \int_1^2 \frac{dq}{T} + \int_2^1 \frac{dq}{T} < 0. \quad (a)$$

შეუქცევადი პროცესისათვის გვაქვს:

$$\int_2^1 \frac{dq}{T} = s_1 - s_2.$$

(a) გამოსახულებაში მიღებული მნიშვნელობის ჩასმით, მივიღებთ

$$\int_1^2 \frac{dq}{T} + (s_1 - s_2) < 0,$$

საიდანაც

$$s_2 - s_1 > \int_1^2 \frac{dq}{T}. \quad (1-163)$$

მიღებული გამოსახულების (1-163) გამოსახულებასთან შედარებიდან გამომდინარეობს, რომ, თუ შექცევადი და შეუქცევადი პროცესები მიმდინარეობენ ერთნაირ ორ

მდგომარეობას შორის, მაშინ შექცევადი პროცესისათვის ინტეგრალი $\int_1^2 \frac{dq}{T}$ ენტროპიის

(ცვლილების ტოლია, ხოლო შეუქცევადი პროცესისათვის—ენტროპიის ცვლილებაზე ნაკლები.

შეუქცევადი ციკლებისათვის (1-163) გამოსახულების თანახმად ზოვადად შეგვიძლია დაწვრიოთ:

$$ds > \frac{dq}{T}$$

ეს უკანასკნელი გამოსახულება საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ თუ როგორ შეიცვლება ენტროპია, როდესაც გვაქვს სხეულთა იზოლირებული სისტემა, რომელსაც არ შეუძლია სითბო გადასცეს მის გარეთ არსებულ სხეულებს, ე. ი. როდესაც ისეთ პროცესს ვიხილავთ, რომლის დროსაც $q=0$ და $dq=0$. ამ შემთხვევაში გვექნება

$$ds > 0 \text{ ანუ } s_2 - s_1 > 0,$$

საიდანაც

$$s_2 > s_1, \quad (1 \quad 164)$$

ხოლო შექცევადი პროცესებისათვის

$$ds = 0, \quad s_2 - s_1 = 0 \text{ და } s_2 = s_1.$$

ამგვარად, იზოლირებული სისტემის ენტროპიას შეუძლია მხოლოდ გადიდება ან-და ზღვრულ შემთხვევაში, შექცევადი პროცესების დროს, დარჩეს უცვლელი.

1- ა2. კლავუზისის პანჯომბადობათა უპარტიზებულობა. ენტროპიის ზრდის პრინციპის ზომიერების განჯომბადების ანალიზი

მთელი სამყაროს, როგორც იზოლირებული სისტემის, განხილვამ კლავუზისის მი-ოქუნა იმ დასკვნამდე, რომ „სამყაროს ენტროპია მიისწრაფვის მაქსიმუმისაკენ“, რის შექ-ცევ ენერჯის არავითარი გარდაქმნა არ მოხდება. კლავუზისის იხილავდა რა სამყაროს როგორც შეკრულ სისტემას, რომელშიაც ხდება მთელი რიგი გარდაქმნები და ამას-თან ყოველივე მათგანი სისტემას უახლოვებს თერმოდინამიკურ წონასწორობას, იზო-ლირებული სისტემის ენტროპიის ზრდის კანონის საფუძველზე მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ დროის საკმარისად დიდი შუალედის გავლას შემდეგ სამყაროში არსებული ტემპერა-ტურათა ყველა სხვაობა მოიხსობა და ტემპერატურები გათანაბრდება, ყოველივე მოძ-რაობა შეწყდება და სამყარო გადავა სრულ უძრავ მდგომარეობაში, ე. ი. შეწყდება ყველა პროცესის მიმდინარეობა.

ამ მდგომარეობას მან უწოდა „სითბური სიცივლილი“. იდეალისტურმა ფილოსო-ფიამ ეს ანტიმექანიკური რეაქციონერული თეორია გამოიყენა იმისათვის, რომ თერმო-დინამიკის მეორე კანონის საშუალებით დაასაბუთოს რელიგიური წარმოდგენა სამყა-როს „ბოლოსა“ და „საწყისის“ შესახებ და აღიაროს ღმერთი, რომელმაც ქაოსისგან საწყარო შექმნა.

კლავუზისის ასეთი დებულება სრულებით არ არის სწორი, რადგან მის მიერ გამოტანილი დასკვნა, რომელიც ემყარება ემპირიული გზით მიღებულ კანონს, აღებუ-ლია მეტად უნინიშვნელო სივრცისათვის და, რა თქმა უნდა, დაუშვებელია ამ დასკვნის გავრცელება მთელ სამყაროზე. ამის გარდა, მიღებული დასკვნა ეყრდნობა იმ შედეგებს, რომლებიც მიღებულია დროის მცირე მონაკვეთების ფარგლებში, რის გამო მისი გავრ-ცელება დროის უსაზღვრო დიდ პერიოდებზე სავსებით დაუშვებელია. ამასთან, სავსებით დაუშვებელია, აგრეთვე, განზოლოებული სისტემად მთელი სამყაროს განხილვა, რადგან იგი უსაზღვროა, ხოლო განზოლოებული სისტემის ცნება აბსტრაქტულია და არა რეა-ლური.

აქედან გამომდინარეობს, რომ თერმოდინამიკის მეორე კანონი არ შეიძლება ჩაი-თვალოს როგორც აბსოლუტური და გავრცელებულ-სამყაროს ყველა მოვლენაზე, რომელ-თაგან ბევრა ჩვენთვის ჯერ კიდევ უცნობია.

კლავუზისის ზემოაღნიშნული თეორია ფ. ენგელსმა გამანადგურებლად გააკრიტიკ-ა თავის კლასიკურ ნაშრომში „ზუნების დიალექტიკა“-ში.

ფ. ენგელსი წერს: „ამრიგად, ჩვენ იმ დასკვნამდე მივდივართ, რომ სამყაროს სივრცეში გამოხსნიებულ სითბოს შესაძლებლობა უნდა ჰქონდეს რაიმე გზით, — თუ რა გზით. ამის გარკვევა შემდგომში ბუნების კვლევის ამოცანა იქნება. — მოძრაობის რომელიმე სხვა ფორმაში გადავიდეს, რომელშიც მას კვლავ შეეძლება თავმოყრა და მოქმედება. და ამით ისაზოა ის მთავარი სიძნელე, რომელიც მკვლარი მზეების გაფარვარებულ ნისლოვანებად უუუგარდაქმნას წინ ელობებოდა.“*

საეციალურად ენტროპიის ზრდის კანონის წესებზე, ენგელსი ამბობს: „საკითხი იმის შესახებ, თუ რა ემართება თითქოსდა დაკარგულ სითბოს, დაისვა ასე ეთქვათ, წმინდა სახით მხოლოდ 1867 წლიდან (კლაუზიუსი). გასაკვირი არაა, რომ იგი ჯერ კიდევ არ არის გადაწყვეტილი; შესაძლებელია კიდევ დიდი დრო გავიდეს, ვიდრე ჩვენ ჩვენს მცირე საშუალებებით ამას მივალწვეთ, მაგრამის გადაწყვეტა, ეს ისევე იუცი-ლებელია, როგორც აუცილებელია და ურყევი ის, რომ ბუნებაში არაერთი სისწაულები არ ხდება და ნისლოვანების თავდაპირველი სიბო მის მიერ სამყაროს გარედან არ იქ-ნა მიღებული სისწაულის გზით.“**

ამგვარად ფ. ენგელსმა ეს საკითხი ბრწყინვალედ გადასწყვიტა დიალექტიკური მატერიალიზმის დებულებების საფუძველზე, გაანადგურა რა სამყაროს „სიძნელური სიკვილის“ თეორია. ენგელსის მიერ დასახული განხორციელდა ლ. ბოლცმანისა და მ. სმოლუხოვის სწავლებლებში.

ბოლცმანისა და სმოლუხოვის სწავლებლები განვითარებული მეცნიერება — სტატისტიკური მექანიკა, რომელიც მაკროსკოპულში მიმდინარე მოვლენებს იხილავს როგორც ცალკეული მოლეკულების ურთიერთქმედებისა და მოძრაობის შედეგს, ამყარებს, რომ თერმოდინამიკის მეორე კანონი და მისგან გამოტანილი დასკვნები, კერძოდ განხილვებულ სისტემაში ენტროპიის ზრდა არ წარმოადგენს აბსოლუტურ კანონს, არამედ მიგვივითბებს მხოლოდ მოვლენების ყველაზე უფრო მეტად შესაძლებელ მიმდინარეობაზე. აქედან კი გამომდინარეობს სისტემაში ენტროპიის შემცირების შესაძლებლობა, თუ მასში პროცესები ისე შესრულდება, რომ მას ალბათობის შემცირება თან მოსდევს. ამიტომ შესაძლებელია გამოვიტანოთ დასკვნა, რომ ფიზიკური სისტემის ენტროპია აღებულ მდგომარეობაში დამოკიდებულია მხოლოდ ამ მდგომარეობის ალბათობაზე, ე. ი.

$$S = f(P),$$

სადაც P ამ მდგომარეობის თერმოდინამიკური ალბათობას გამოსახავს.

ამ ფუნქციის სახე შემდგენიერად გამოისახება

$$S = k \ln(P),$$

ე. ი. სისტემის მდგომარეობის ენტროპია ამ მდგომარეობის ალბათობის ლოგარითმის პროპორციულია, k პროპორციულობის კოეფიციენტი წარმოადგენს ბოლცმანის მუდმივას, რომელიც გამოისახავს ერთი მოლეკულის მიმართ აღებულ იარის უნივერსალურ მუდმივას.

ამგვარად, მიღებულ იქნა შეხედულება ენტროპიაზე, როგორც მდგომარეობის ალბათობის საზომისა. ამ თვალსაზრისით სისტემის ენტროპიის შემცირება, თუმცა შეიძლება, მაგრამ პრაქტიკულად მისი შესრულების მცირე შესაძლებლობაა; რადგან ჩვენ საქმე გვაქვს დიდი რაოდენობის მოლეკულებისაგან შემდგარ სხეულებთან და ჩვენს დაკვირვებაში შედარებით დროის მცირე ფარგლებში წარმოვხვებით. მცირე რაოდენობის მოლეკულებისაგან შემდგარ სხეულში კი ამ კანონიდან გადახრა შეიძლება საკმარისად ხშირად იქნეს შემჩნეული.

* ფ. ენგელსი — ბუნების დიალექტიკა, სახელგამი, 1950, გვ. 27.

** ფ. ენგელსი. — იქვე, გვ. 294

ამას ადასტურებს სმოლუხოვსკის შრომები. სმოლუხოვსკიმ გამოთვალა რომ, თუ განვიხილავთ 1 სმ³ მოცულობის აირს, მაშინ მოსალოდნელია აირის თანაბარზომიერ სინკერიიდან 1%-ით გადახრის შემჩნევა (10¹⁶)¹¹ წლის შემდეგ, მაგრამ, თუ აღებული იქნება აირის მეტად მცირე რაოდენობა, მაგალითად, 0,2μ³ მოცულობის აირი, მაშინ ასეთი გადახრები ზოხდება 1 მილიარდის რაოდენობით წამში.

როგორც ვხედავთ, მეტად მცირე რაოდენობის მოლეკულების შემთხვევაში, შესაძლებელია გადახრების ხშირი მოვლენა. შესაძლებელია აგრეთვე ხშირი იყოს ასეთი გადახრების მოვლენები დიდი სივრცის სამყაროში. აღნიშნული თვალსაზრისით ცნება პროცესების შექცევადობაზე ახალ განმარტებას ლეზულობს. შექცევადი პროცესი ეს ისეთი პროცესია, რომლის განხორციელების ნაკლები შესაძლებლობა არსებობს. ეს კი საშუალებას გვაძლევს დავუშვათ, რომ სამყაროში არსებობს ისეთი თავისთავადი პროცესები, რომლებიც მიმდინარეობენ ალბათობის შემცირებით, ე. ი. ენტროპიის შემცირებით და აანაზღაურებენ მის ზრდას.

თ ა ვ ი 1-8

დგუშიანი შიგაწვის ძრავების სიძლედე

თბოძრავები, რომელთა დანიშნულებაა სითბური ენერჯიის მექანიკურ ენერჯიად გარდაქმნა, შეიძლება მუშა პროცესის მიხედვით რამდენიმე ჯგუფად დაიყოს. უპირველესად ეს დაჯგუფება შეიძლება მოხდეს მუშა სხეულზე სათბობის წვის შედეგად მიღებული სითბოს მიწოდების ადგილის მიხედვით.

ზოგიერთ ძრავაში მექანიკური ენერჯიის მიღება, ძრავისაგან განცალკევებული საჭედე დანადგარის საცეცხლეში, სათბობის დაწვით გამოყოფილ სითბოს ხარჯზე ხდება; ამასთან ამ სახის ძრავებში მუშა სხეულად გამოყენებულია წყლის ორთქლი, რომელიც ორთქლის ქებაში მიიღება. სხვა სახის ძრავებში მუშა სხეულზე სითბოს მიწოდება და მექანიკურ ენერჯიად მისი გარდაქმნა თვით ძრავის ცილინდრში ხორციელდება. ასეთი სახის თბოძრავებს შიგაწვის ძრავები ეწოდება. ამ ძრავებში მუშა სხეულს წარმოადგენს სათბობის წვის ნაწარმი ე. ი. აირთა ნარევი.

ვინაიდან შიგაწვის ძრავებში მუშა სხეულს წარმოადგენს წვის აირივანი ნაწარმი, ამიტომ სათბობად პრინციპულად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ნებისმიერი სათბობი; მყარი, თხევადი და აირადი; მაგრამ, რადგან ამავე დროს სათბობისაგან მოთხოვნილია, რომ იგი არ უნდა იძლეოდეს მყარ ნარჩენებსა და ნაეარს, რომლებიც ცილინდრში დგუშის მოძრაობის დროს მისი და დგუშის რგოლების ზედაპირების სწრაფ ცვეთას იწვევენ და სიძვიდროვებს არღვევენ. ამიტომ ამჟამად ცილინდრის შიგნით დასაწვავად იყენებენ მხოლოდ თხევადსა და აირივან სათბობებს. შიგნადაც, ამ მხრით შიგაწვის ძრავები შეიძლება დაიყოს თხევად და აირივან სათბობზე მომუშავე ძრავებად.

ამის გარდა, შიგაწვის ძრავები დაყოფილია, აგრეთვე, მათში განხორციელებული ციკლების მიხედვით. რადგან კონსტრუქციული სირთულის გამო ვერ იქნა აგებული ისეთი ძრავები, რომლებშიც სითბოს მიწოდება და არინება იზოთერმულად მოხდებოდა, ამიტომ განუხორციელებელი დარჩა ძრავი, რომელიც კარნოს ციკლით იმუშავებდა

ამის გამო სითბოს მიწოდების მხრით, ზნუ აღნიშნულ ძრავებში სათბობის წვის ხერხის მიხედვით, განასხვავებენ შიგაწვის ძრავებს, რომლებშიც წვა ხდება მუდმივი მოცულობის დროს, მუდმივი წნევის დროს და შერეული პროცესის დროს, ე. ი. ნაწილობრივად მუდმივი მოცულობისა და ნაწილობრივად მუდმივი წნევის დროს.

შიგაწვის ძრავები შეიძლება დაიყოს, აგრეთვე, ტაქტების (დგუშის სელოთა) რიცხვის მიხედვით. თუ ციკლი შესრულებულია დგუშის ოთხი სელის ანუ ძრავის ლილვის ორი შემობრუნების დროს, მაშინ ასეთ შიგაწვის ძრავას ეწოდება ოთხ ტაქტიანი ძრავა, ხოლო თუ ციკლი შესრულებულია დგუშის ორი სელის ანუ ძრავას ლილვის ერთი შემობრუნების დროს, მაშინ ორ ტაქტიანი ძრავა.

დასასრულ, უნდა აღვნიშნოთ, რომ ჩვენ ქვემოთ განვიხილეთ ციკლებს თერმოდინამიკური თვალსაზრისით, რაც აპირობებს ამ ციკლების, როგორც იდეალური ციკლების განხილვას.

მაშასადამე, ციკლების განხილვის დროს მიღებული გვექნება, რომ ისინი შექცევადებიან. რა თქმა უნდა, ნამდვილად განხორციელებულ ძრავებში სათბობის წვა შეუქცევადი პროცესია, ამის გარდა, დგუშები სასრული სიჭაჭეებით მოძრაობენ, ადგილი აქვს სახეზე, სითბოგამტარობას, გამოხსნივებს, ე. ი. ყოველივე იმას, რაც ციკლის შეუქცევადობას აპირობებს. ამის გამო პრაქტიკულ ძრავებში გვაქვს შეუქცევადი პროცესები, რომლებიც ციკლის მარტივ ქმედების კოეფიციენტს ამცირებენ.

მაგრამ ციკლების განხილვას, როგორც იდეალურის, აქვს დიდი მნიშვნელობა, რადგან ეს საშუალებას იძლევა განისაზღვროს ციკლის თერმული მარტივ ქმედების კოეფიციენტის თეორიული მნიშვნელობა, რომელიც შემდგომში ემპირიული კოეფიციენტების გათვალისწინებით, რეალური ციკლების მარტივ ქმედების კოეფიციენტის სიდიდეს გვაძლევს. აღნიშნული ემპირიული კოეფიციენტებზე ითვალისწინებენ შეუქცევადი მოვლენების გავლენას ძრავას ეკონომიურობაზე და საზღვარაუენ სითბოს ნაწილის იმ რაოდენობას, რომელიც პრაქტიკულად ძრავას ლილვზე მიღებულ მუშაობად ანუ, სხვანაირად რომ ვთქვათ, ეფექტურ მუშაობად გარდაიქმნება.

სხვადასხვა ციკლის განხილვაზე ვადასკვამდე საჭიროა, აგრეთვე, აღვნიშნოთ, რომ პრაქტიკული შიგაწვის ძრავები შეკრული წრიული პროცესების მიხედვით არ მუშაობენ, რადგან გაფართოებისა და ლილვზე მუშაობის გადაცემის შემდეგ ძრავის ცილინდრიდან წვის აიროვანი ნაწარმი განიღვებება, რის შემდეგ, ციკლის ხელახლა განმეორებისათვის, ცილინდრი ახალი ნარევით უნდა შევსოს. ვასაგებათ, რომ ახალი ნარევი არ მოვცემს ქიმიურად ზუსტად იმავე მდგომარეობის წვის ნაწარმს და რომ შეუძლებელია წვის ნაწარმის საწყის მდგომარეობაში დაბრუნება, მაშასადამე, ამ მხრივაც შეუქცევად მოვლენებს აქვს ადგილი.

რა თქმა უნდა, ასეთი პროცესებით მიმდინარე მუშა ციკლებს *პ* დიაგრამაზე ვერ გამოვსახებთ. ძრავების მუშა ციკლების განხილვა ამ შემთხვევაში ყველაზე მარტივია ინდიკატორული დიაგრამის საშუალებით, რომელზედაც გამოსახული მრუდი დგუშის სელის მიხედვით წნევის ცვლილებას გვაძლევს, განსხვავებით *პ* დიაგრამაზე გამოსახული მრუდისაგან, რომელიც გამოსაიავს მუშა სხეულის მდგომარეობის ცვლილებას, სახელდობრ, სხეულის ძირითადი პარამეტრების—წნევისა და შესაბამისი სვედრითი მოცულობის ცვლილებას. მომუშავე ძრავის ინდიკატორულ დიაგრამას სპეციალური ხელსაწყო, ეგრეთ წოდებული ინდიკატორის საშუალებით გადაიღებენ. ინდიკატორი გამოხაზავს დგუშის მდებარეობის ცვლილების მიხედვით წნევის ცვლილების გამოსახველ შეკრულ ნაკეთს, რომლის თარათობი განსაზღვრულ მასშტაბში გავსახავს ინდიკატორულ მუშაობას, ე. ი. ცილინდრში ერთი ციკლის დროს შესრულებულ მუშაობას.

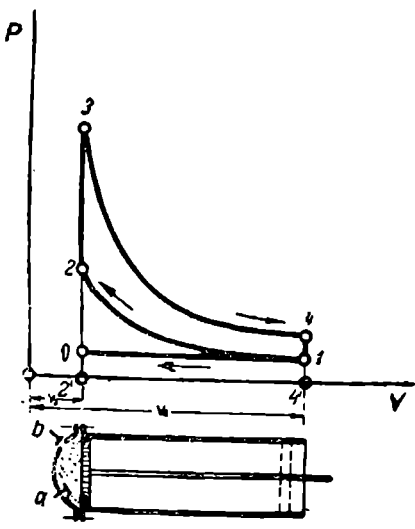
ჩვენ აქ არ შევუძლებით ნამდვილი ინდიკატორული დიაგრამების შესწავლას, რადგან, როგორც უკვე ვთქვით, ჯერ იდეალური ძრავას ციკლებს განვიხილავთ. ეს კი თავის მხრით დაპირობებულია ჯერ ერთი იმით, რომ წვის პროცესის დროს მხედველობაში არ უნდა მივიღოთ ქიმიური ცვლილებები და მეორე იმით, რომ სითბოს მიწოდება და არინება უნდა ვიგულისხმოთ როგორც სითბოს გადაცემა უსასრულოდ მთელი რიგი სითბოს ცხელი წყაროებიდან სხეულზე და გაფართოების შემდეგ კი ამ სხეულიდან უსასრულოდ

მთელ რიგ ცივ წყაროებზე, რომელთა ტემპერატურები, ე. ი. ცხელი და ცივი წყაროების ტემპერატურები, სხეულის შესაბამის ტემპერატურისაგან უსასრულოდ მცირე სიდიდით განსხვავდებიან. ასეთი, დაშვებები *რ* და *IS* დიაგრამებზე შეიგაწვის ძრავის ციკლების თეორიული განხილვისა და თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის განსაზღვრის საშუალებას იძლევიან.

1-36. ციკლი მუდმივი მოცულობის დროს სითბოს მიწოდებით

ციკლის განხილვისათვის იგი გამოვსახოთ თეორიულ ინდიკატორულ დიაგრამაზე, რომლის ქვეშ თვალსაჩინოებისათვის მოვათავსოთ ცილინდრი დგუშით (ნაკ. 1-36).

როდესაც დგუში მარცხენა მკვდარი მდებარეობიდან მარჯვენასაკენ იწყებს მოძრაობას, მაშინ სპეციალური მექანიზმის საშუალებით შემწვები სარქველი *a* იღება და ცილინდრში სათბობისა და ჰაერის შერევი შეიწოვება. საწვავი ნარევის შეწოვა ხდება მუდმივი წნევის დროს, რომელიც თეორიულად გარე ჰაერის, ე. ი. ატმოსფერული წნევის ტოლად არის მიღებული.



ნაკ. 1-36.

სინამდვილეში კი ეს წნევა ატმოსფერულზე ცოტათი ნაკლებია, რადგან შემწოვ სარქველში ნარევის გაელისას დროსელირებას აქვს ადგილი. შეწოვის აღნიშნული პროცესი, რომელიც დგუშის პირველი სვლის დროს სრულდება, დიაგრამაზე გამოისახება მუდმივი წნევის $0-1$ სწორი ხაზით; ამ ხაზზე *1* წერტილი გამოსახავს ნარევის მდგომარეობას შეწოვის პროცესის დამთავრებისას, რაც მოხდება მაშინ, როდესაც დგუში მარჯვენა მკვდარ მდებარეობას დაიკავებს. შეწოვის პროცესი ისე მიმდინარეობს, რომ საწვავი ნარევის მდგომარეობა თეორიულად არ იცვლება; ცვლილებას განიცდის საწვავი ნარევის წონითი და მოცულობითი

რაოდენობა, რის გამო აღნიშნული $0-1$ ხაზი არ წარმოადგენს სხეულის მდგომარეობის ცვლილების ხაზს.

როდესაც დგუში დაიწყებს მოძრაობას მარცხენა მკვდარი მდებარეობისაკენ, მაშინ *a* შემწვები სარქველი იხრება, და შეწოვილი საწვავი ნარევის შეკუმშვა ხდება, სანამ დგუში მარცხენა მკვდარ მდებარეობას არ დაიკავებს. ამ მეორე სვლის დროს პროცესი გარემოსთან სითბოს ცვლის გარეშე წარმოებს, რის გამო შეკუმშვის პროცესი დიაგრამაზე გამოისახება $1-2$ ადიაბატით, რომელიც საწვავი ნარევის მდგომარეობის ცვლილების ხაზს წარმოადგენს.

დგუშის მეორე მარცხენა მკვდარი მდებარეობის დაკავების დროს სპეციალური ფალიას საშუალებით შეკუმშული საწვავი ნარევის აფეთქება ხდება. ამ შემთხვევაში წვის პროცესი ისე სწრაფად სრულდება, რომ იგი შეგვიძლია ჩავთვალოთ როგორც მუდმივი მოცულობის დროს მიმდინარე პროცესი; ეს პროცესი დიაგრამაზე $2-3$ ხაზით გამოი-

საწებო. რადგან წყის პრიციპის კუთვნილება მოცულობის დროს სრულდება, ამიტომ გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა წყვის მნიშვნელოვან ზრდას იწვევს. ხაზი 2—3, მსგავსად 1—2 ხაზისა, მუშა სხეულის მდგომარეობის ცვლილებას გამოსახავს. 2—3 პროცესის თავისებურებას წარმოადგენს ის, რომ მისი მიმდინარეობის დროს წყვის გარდა, აგრეთვე ტემპერატურა ეზრდება და მუშა სხეულის ქიმიური შედგენილობა იცვლება; წერტილით 2 გამოისახება საწვავი ნარევის, ხოლო წერტილით 3 საწვავი ნარევის წვით მიღებული აიროვანი ნაწარმის მდგომარეობა.

აფეთქების შედეგად დგუში მარცხენა მკვდარი მღებარეობიდან მარჯვენასაკენ იწყებს გადაადგილებას, რაც დგუშის მესამე სეკს წარმოადგენს. დგუშის მიერ მარჯვენა მკვდარი მღებარეობის დაკავებაზე წარმოებს წყის ნაწარმის გაფართოება, რაც დიაგრამაზე 3—4 ადიაბატიკი გამოისახება. როდესაც დგუში მარჯვენა მკვდარ მღებარეობას დაიკავებს, სპეციალური მექანიზმის საშუალებით, გაიხსნება გამოსაშვები ხ სარკველი და წვის ნაწარმის ნაწილი გარეთ გამოიღვენება, რის შედეგად წნევა მეტად სწრაფად მცირდება 1 წერტილის შესაბამისი, ე. ი. ატმოსფერულ წნევაზე. რადგან წყვის დაცემა მყისიერად სრულდება, ამიტომ 4—1 პროცესი შეიძლება მუდმივი მოცულობის პროცესად ჩაეთვალოს. ცხადია, რომ აქ ერთგვარ დგუშებს აქვს ადგილი, რადგან წვის ნაწარმის წყვის დაცემა სითბოს არინების ხარჯზე კი არ ხდება, არამედ წვის ნაწარმის რაოდენობის შემცირების შედეგად. ამის გამო 4—1 პროცესი სინამდვილეში არ წარმოადგენს მუშა სხეულის მდგომარეობის ცვლილებას.

დგუშის მეოთხე სეკის დროს, რომელიც მარჯვენა მკვდარი მღებარეობიდან მარცხენასაკენ დგუშის გადაადგილებით სრულდება, წვის ნარჩენი ნაწარმის განდევნა წარმოებს. ამასთან, ეს პროცესი მიმდინარეობს მუდმივი წნევის დროს, რომელიც თეორიულად მიღებულია გარემოს წნევის, ე. ი. ატმოსფერული წნევის ტოლად. მაშასადამე, შეწოვისა და განდევნის ხაზები თეორიულად ერთმანეთს უნდა შეუთავსდნენ. სინამდვილეში კი განდევნის პროცესის დროს წნევა გარემოს წნევაზე ცოტათი მეტია, რადგან გამომშვებ სარკველში ერთგვარ წინააღმდეგობას აქვს ადგილი. ასე, რომ ნამდვილი ინდიკატორულ დიაგრამაზე შეწოვის ხაზი მოთავსდება ატმოსფერული ხაზის ქვემოთ, განდევნისა კი ზემოთ.

განდევნის ხაზი აღებულ დიაგრამაზე 1—0 ხაზითაა გამოსახული. ამ ხაზით გამოსახული პროცესის მიმდინარეობის დროს წვის ნაწარმის მდგომარეობა არ იცვლება, ხოლო ცვლილებას განიცდის მისი რაოდენობა, რის გამო 1—0 ხაზი აირის მდგომარეობის ცვლილებას არ გამოსახავს.

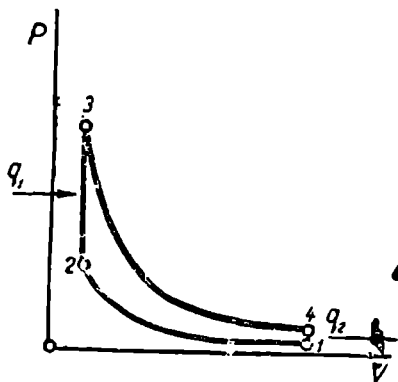
დგუშის მიერ მარცხენა მკვდარი მღებარეობის დაკავებისას, ე. ი. დგუშის მეოთხე სეკის დამთავრებების, ხ გამოსაშვები სარკველი იხურება, ხოლო შემშვები კი იღება ნარევის ახალი რაოდენობის შეწოვისათვის და ციკლი ხელახლა მეორდება.

ამ ციკლის განხილვიდან ვხედავთ, რომ იგი დგუშის ოთხი სეკის დროს სრულდება და, მაშასადამე, იგი ოთხტაქტიანი ძრავას ციკლს წარმოადგენს.

თერმოდინამიკური თვალსაზრისით აღწერილი ციკლის შესწავლისათვის, როგორც წინა პარაგრაფში გვქონდა აღნიშნული, სხეულის ქიმიური ცვლილება მხედველობაში არ უნდა მივიღოთ და წვისა და ატმოსფერულ წნევაზე წვის დაცემის (4—1) პროცესი უნდა ვიგულოვდეთ როგორც სითბოს მიწოდებისა და არინების პროცესები. ამასთან მივიღოთ, რომ თბოტეადობანი ტემპერატურაზე დამოუკიდებელია და მუდმივი სიდიდებია. ციკლის ასეთი გამარტივება საშუალებას იძლევა განვიხილოთ იგი როგორც იდეალური ციკლი. გამოვიყენოთ აირის მდგომარეობის დამახასიათებელი ვანტოლება და, აგრეთვე, გამოვსახოთ p დიაგრამაზე. p დიაგრამაზე ციკლის თეორიულად განხილვის დროს არ ვიხილავთ შეწოვისა და განდევნის პროცესების გამომსახველ ხაზებს.

ამ დაშვებების შემდეგ, იუ მივიღებთ, რომ ცილინდრში მოაყვებულ ერთი ცილინდრში იდეალური აირის მდგომარეობა p და v დიაგრამაზე 1 წერტილით (ნაკ. 1 37) გამოისახება. მაშინ ამ მდგომარეობიდან დაწყებული ცილინდრში შემდგარი იქნება შემდეგი პროცესებისაგან:

- 1—2 ადიაბატური შეკუმშვა;
- 2—3 სითბოს მიწოდება მუდმივი მოცულობის, ე. ი. იზოქორული პროცესის დროს;
- 3—4 ადიაბატური გაფართოება;
- 4—1 სითბოს არინება მუდმივი მოცულობის დროს, ე. ი. იზოქორული პროცესის დროს.



ნაკ. 1-37.

2—3 იზოქორული პროცესის დროს აირის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$q_1 = c_v (T_3 - T_2).$$

4—1 იზოქორული პროცესის დროს კი აირიდან არინებული სითბოს რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$q_2 = c_v (T_4 - T_1).$$

მიღებული მნიშვნელობების ჩასმით თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის გამოსახულებაში, მივიღებთ

$$\eta_{II} = 1 - \frac{c_v (T_4 - T_1)}{c_v (T_3 - T_2)} \quad \text{ანუ} \quad \eta_{II} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)}. \quad (a)$$

მარგი ქმედების კოეფიციენტის უკანასკნელი გამოსახულების გარდაქმნის მიზნით განვიხილოთ 1—2 და 3—4 ადიაბატური პროცესები.

ადიაბატური 1—2 შეკუმშვის პროცესისათვის გვაქვს

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{\gamma-1} \quad (b)$$

შემოვიღოთ აღნიშვნა:

$$\frac{v_1}{v_2} = \epsilon,$$

ამგვარად, p და v დიაგრამაზე ცილინდრში მუდმივი მოცულობის დროს სითბოს მიწოდებით ორი ადიაბატისა და ორი იზოქორისაგან შედგება.

განესაზღვროთ ამ ციკლით მომუშავე ძრავების თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი, რომელიც მიიღება ციკლებისათვის გამოყენებული შემდეგი ძირითადი ფორმულის საშუალებით:

$$\eta_{II} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

მაშასადამე, აღებული ფორმულით თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის საჭიროა მიწოდებული და არინებული სითბოს რაოდენობების განსაზღვრა.

რამქლსაც შეეკუშ"ვის სარისნი ეწოდება. ეს უკანასკნელი სიდიდე გვიჩვენებს, თუ რამდენჯერ არის შეკუმშული მუშა სხეული საწვის მდგომარეობასთან შედარებით.

(b) გამოსახულებაში შეკუმშვის ხარისხის ჩნიშვნისთვის ჩასმით გვექნება

$$\frac{T_2}{T_1} = \varepsilon^{k-1}, \quad (c)$$

3-4 ადიაბატური გაფართოების პროცესისათვის გვაქვს

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{v_4}{v_3} \right)^{k-1}$$

მაგრამ, რადგან პირობის თანახმად $v_1 = v_4$ და $v_2 = v_3$, ამიტომ $\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} = \varepsilon^{k-1}$ და, მაშასადამე,

$$\frac{T_3}{T_4} = \frac{T_2}{T_1} \quad \text{ანუ} \quad \frac{T_3}{T_2} = \frac{T_4}{T_1}.$$

ამ დამოკიდებულების გათვალისწინებით (a) გამოსახულებიდან გვექნება

$$\eta_1 = 1 - \frac{T_1}{T_2}.$$

(c) გამოსახულებიდან შეიძლება დაიწეროს, რომ

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{\varepsilon^{k-1}},$$

მაშასადამე.

$$\eta_1 = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (1-165)$$

მიღებული გამოსახულება გვიჩვენებს, რომ ძრავას თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი დამოკიდებულია შეკუმშვის ხარისხზე და მით მეტია, რაც უფრო დიდია შეკუმშვის ხარისხი. მაგრამ აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ შეკუმშვის ხარისხის სიდიდე პირობადებულია საწვავი ნარევის აალების ტემპერატურით. ასე, რომ შეკუმშვის ხარისხის მეტისმეტად გაზრდა არ შეიძლება, რადგანაც დიდი შეკუმშვით გამოწვეულ მაღალ ტემპერატურაზე შესაძლებელია საწვავის აალება უფრო ადრე მოხდეს, ვიდრე ეს საჭიროა, რასაც შეიძლება ძრავას დაზიანებაც მოჰყვეს. აქედან კი გამომდინარეობს, რომ რაც უფრო ადვილაალებად სათბობზე მუშაობს ძრავი. მით უფრო ნაკლები შეკუმშვის ხარისხი დაიშვება. რაც უფრო ნაკლები იქნება საწვავი ნივთიერება ნარევიში, ე. ი. რაც უფრო ღარიბია ნარევი, მით მაღალი იქნება მისი აალების ტემპერატურა და მით მეტი შეკუმშვის ხარისხი დაიშვება.

დასაშვები შეკუმშვის ხარისხი განისაზღვრება ფორმულით

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{T_4}{T_1} \right)^{\frac{1}{k-1}}.$$

სადაც T_1 არის ნარევის ტემპერატურა და T_2 სათბობის აალების ტემპერატურა.

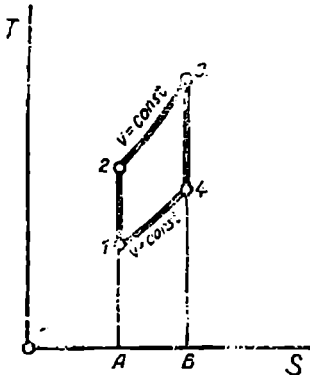
ცხადია, რომ ნაკ. 1-37-ზე გამოსახულ დიაგრამაზე 1-2-3-4-1 ფართობი ერთი ციკლის შესრულების დროს მიღებულ სასარგებლო მუშაობას გამოსახავს.

ცხლა განვიხილოთ მუდმივა მოცულობის დროს სითბოს მიწოდებით მომუშავე ძრავას ციკლის გამოსახულება TS დიაგრამაზე. ამ ციკლის გამოსახავად 1 წერტილიდან (ნაკ. 1-38), რომელიც აირის იმავე მდგომარეობას გამოსახავს, რასაც 1 წერტილი ეს

დიაგრამაზე (საქ. 1-37), ვაუტაროთ T_2 ტემპერატურამდე ადიაბატურად შეკუმშვის გამომსახველი ხაზი. 2 წერტილის მდებარეობა დიაგრამაზე განისაზღვრება ნარევის T_2 ტემპერატურით, რაც შეიძლება გამოთვლილ იქნეს ფორმულით

$$T_2 = T_1 z^{\gamma-1}$$

მიღებული მეორე წერტილიდან აივება ლოგარითმული მრუდი $p = \text{const}$ მე-3 წერტილამდე, რომელიც შესაბამის T_3 -ით განისაზღვრება, ხოლო აქედან კი 3-4 ადიაბატური გაფართოების სწორი ხაზი 1-4 იზოქორის გადაკვეთამდე.



ნაქ. 1-38.

ანალოგიურად p ს დიაგრამისა, რომლის საშუალებით განისაზღვრება სასარგებლო მუშაობა, T ს დიაგრამით შეიძლება განესაზღვროთ მისი ეკვივალენტური, სასარგებლოდ გამოყენებული სითბოს რაოდენობა, რომელიც 1-2-3-4-1 ფართობით გამოისახება. ამ ფართობის გაყოფით მიწოდებულ სითბოს რაოდენობის გამომსახველ ფართობზე $A-2-3-B-A$ მივღებთ თერმული მარკი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობას

$$\eta_i = \frac{\text{ფართ. } 1-2-3-4-1}{\text{ფართ. } A-2-3-B-A}$$

1-54. ციკლი მულმივი წნევის დროს სითბოს მიწოდებით

ჭეშმარიტად ციკლის თერმული მარკი ქმედების კოეფიციენტის ანალიზის დროს აღენიშნება, რომ შეკუმშვის ხარისხის გადიდებით ძრავი უფრო ეკონომიური ხდება, მაგრამ შეკუმშვის ხარისხის გადიდებას ზღვარს უდებს სათბობის თვითაალების ტემპერატურა, რაც ამ ციკლის უარყოფით მხარეს წარმოადგენს. შეკუმშვის ხარისხის შეზღუდულობა შეიძლება აცილებულ იქნეს, თუ ცილინდრში ჯერ სათბობისაგან განცალკევებულად მიწოდებულ ჰაერს ისე შევკუმშავთ, რომ მისი ტემპერატურა სათბობის აალების ტემპერატურაზე მეტი გახდეს და შემდეგ სათბობს შევაფრქვეთ. სწორედ მუშაობის ასეთი პრინციპია განხორციელებული მულმივი წნევის დროს სითბოს მიწოდებით მომუშავე ძრავებში.

ზემოაღნიშნულის გამო ეს ძრავები ანთებისათვის სპეციალურ მოწყობილობას არ მოითხოვენ.

ციკლის თეორიული ინდიკატორული დიაგრამა ნაქ. 1-39-ზეა მოცემული.

პირველი სვლის დროს, ე. ი. დგუშის მარცხნა მკედარი მდებარეობიდან მარჯვენა-საკენ გადაადგილების დროს სპეციალური მექანიზმით იღება შემშვები სარქველი და ხდება ჰაერის შეწოვა მულმივი წნევისას, რომელიც თეორიულად ატმოსფერული წნევის ტოლად არის მიღებული. შეწოვის პროცესი 0-1 ხაზით გამოისახება.

დგუშის მარჯვნიდან მარცხნივ მოძრაობის დროს შემშვები სარქველი იხურება და დგუშის მეორე სვლის დროს შეწოვილი ჰაერის ადიაბატური შეკუმშვა ხდება. ადიაბატური შეკუმშვის პროცესი 1-2 ხაზითაა გამოსახული. ამ პროცესის დროს ჰაერის შეკუმშვა 30-40 ატ წნევამდე წარმოებს, რის შედეგად ჰაერის ტემპერატურა აღწევს 600-დან 800°C-მდე, რაც სათბობის თვითაალების ტემპერატურაზე მეტია.

დგუშის მესამე სვლის დასაწყისში, დაახლოებით 50-60 ატ წნევამდე შეკუმშული ჰაერის გამოყენებით, ფრქვევანას საშუალებით ხდება თხევადი სათბობის მიწოდება თე-

ორიულად მუდმივი წნევის დროს; საბოლოო თვითაღების ტემპერატურაზე უფრო მაღალი ტემპერატურის ჰაერის ხეკმელებით ცილინდრში იწყებს თვითაღებით გამოწვეულ წვის.

სათბობის მიწოდება ისე ხდება, რომ როდესაც დგუში გადაადგილებისას 3 წერტილით გამოსახულ მდგომარეობას მიაღწევს, სათბობის მიწოდება წყდება. ამგვარად, სათბობის წვა ხდება თანდათანობით; წვის შედეგად მიღებული წვის აიროვანი ნაწარმი ფართოდდება, რაც დიაგრამაზე 2—3 მუდმივი წნევის ხაზითაა გამოსახული.

მე-3 წერტილით გამოსახული შესაბამისი მდგომარეობიდან წვის ნაწარმის შემდგომი აღიზაბატური გაფართოება ხდება დგუშის მიერ მარჯვენა მკვდარი მდებარეობის დაკაეებამდე. დიაგრამაზე აღიზაბატური გაფართოების პროცესი 3—4 მრუდითაა გამოსახული.

დგუშის მიერ მე-4 წერტილის შესაბამისი მდებარეობის დაკაეებისას, გამოსაშვები სარკველი იღება, წვის ნაწარმი ცილინდრიდან გარეთ გამოდის და წნევა სწრაფად ეცემა ატმოსფერულ წნევაამდე. დგუშის მეოთხე სელის დროს ხდება წვის ნარჩენი ნაწარმის განდევნა მუდმივი წნევის დროს, რაც დიაგრამაზე 1—0 ხაზითაა გამოსახული. მარცხენა მკვდარ მდებარეობაში დგუშის მისვლისას იხურება გამოსაშვები სარკველი და ციკლი მეორდება.

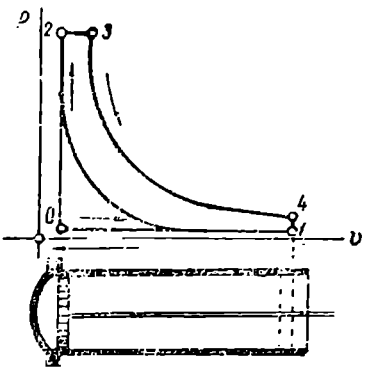
ანალოგიურად წინა პარაგრაფში განხილული ციკლისა, იმავე მოსაზრებებით 1—2 და 3—4 აღიზაბატები მუშა სხეულის მდგომარეობის ცვლილებას გამოსახავენ; რაც შეეხება 2—3 პროცესს, ესეც შეიძლება ჩავთვალოთ მუშა სხეულის მდგომარეობის ცვლილებად, რადგან მიწოდებული სათბობის რაოდენობა ცილინდრში შეწოვილი ჰაერის რაოდენობასთან შედარებით მცირეა, ხოლო 4—1 არ წარმოადგენს მუშა სხეულის მდგომარეობის ცვლილებას, რადგან ამ პროცესში წნევის დაცემა ხდება წვის ნაწარმის რაოდენობის შემცირების შედეგად.

ნამდვილ დიაგრამაზე შეწოვისა და განდევნის ხაზები ერთიმეორეს არ შეუთავსებიათ. პირველი გაივლის ატმოსფერული წნევის შესაბამისი ხაზის ქვემოთ, ხოლო მეორე ზემოთ.

ამ შემთხვევაშიაც, როგორც წინა პარაგრაფში, ციკლი p დიაგრამაზე გამოვსახოთ. ამისათვის მივიღოთ, რომ უცვლელია ციკლში მონაწილე მუშა სხეულის რაოდენობა, რომელიც 1 კგ-ის ტოლია, და, რომ სითბოს მიწოდება და არჩენება უსასრულოდ დიდი რაოდენობის ცხელი და ცივი წყაროებიდან ხდება და არა სათბობის წვისა და წვის ნაწარმის განდევნის საშუალებით ხორციელდება. ამის გარდა, შეწოვისა და განდევნის პროცესები გამოვჩინოთ.

p დიაგრამაზე გამოსახული (ნაკ. 1—40) ციკლი შედგება შემდეგი პროცესებისაგან:

- 1—2 აღიზაბატური შეკუმშვის პროცესი;
- 2—3 მუდმივი წნევის დროს სითბოს მიწოდების პროცესი;
- 3—4 აღიზაბატური გაფართოების პროცესი;
- 4—1 მუდმივი მოცულობის დროს სითბოს არჩენების პროცესი.



ნაკ. 1—39.

ამგვარად, ციკლი შედამივი წნევის დროს სითბოს მიწოდებითა შესდგება ორი ადიაბატი, ერთი იზობარისა და ერთი იზოქორისაგან, რომელთა შიგნით მოთავსებული ფართობი ერთი ციკლის შესრულების დროს მიღებულსასარგებლო მუშაობას გამოასახებს.

აღებული ციკლით მომეშავე ძრავას თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის დავეშვათ, რომ თბოტეადობა მუდმივი სიდიდეა და მიწოდებული და არინებული სითბოს რაოდენობანი გამოვთვალოთ.

მიწოდებულ სითბოს რაოდენობა

$$q_1 = c_p (T_3 - T_2).$$

არინებული სითბოს რაოდენობა

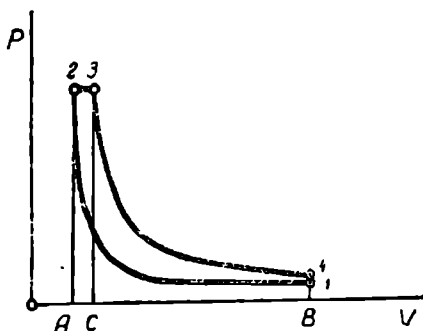
$$q_2 = c_v (T_4 - T_1).$$

ამგვარად, თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი იქნება:

$$\eta_1 = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_v (T_4 - T_1)}{c_p (T_3 - T_2)}.$$

მაგრამ ვიცით, რომ

$$\frac{c_p}{c_v} = k \text{ და } \frac{c_v}{c_p} = \frac{1}{k}.$$



ნაკ. 1-40.

ამიტომ

$$\eta_1 = 1 - \frac{1}{k} \cdot \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}. \quad (a)$$

მარგი ქმედების კოეფიციენტის მიღებული გამოასახელების შემდგომი გარდაქმნისათვის T_2 , T_3 და T_4 ტემპერატურები გამოვსახოთ როგორც T_1 ტემპერატურის ფუნქციები; ამისათვის ციკლში შემავალი პროცესები განვიხილოთ ცალ-ცალკე.

1-2 ადიაბატური შეკუმშვის პროცესიდან გვაქვს

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} = \epsilon^{k-1},$$

სიდანაც

$$T_2 = T_1 \epsilon^{k-1}. \quad (b)$$

2-3 იზობარული პროცესიდან გვაქვს:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{v_2}{v_3} = \rho \text{ და } T_3 = T_2 \cdot \rho, \quad (c)$$

სადაც ρ სიდიდე წარმოადგენს წინასწარი გაფართოების ხარისხს და ვეჩვენებს, თუ რამდენად გაფართოვდა მუშა სხეული სითბოს მიწოდების დროს.

(b) გამოასახელების მხედველობაში მიღებით (c) გამოასახელება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$T_3 = T_2 \rho = T_1 \epsilon^{k-1} \rho. \quad (d)$$

3-4 ადიაბატური გაფართოების პროცესიდან

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^{k-1} \text{ ან } \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{k-1} \quad (e)$$

რადგან $v_4 = v_1$,

უკანასკნელი ტოლობის გარდაქმნისათვის $\frac{U_2}{U_1} = \rho$ გამოსახულება გვეყვითა =.

გამოსახულებაზე, რის შედეგად მივიღებთ $\frac{U_2}{U_1} = \frac{\rho}{\varepsilon}$ და

$$T_4 = T_3 \left(\frac{\rho}{\varepsilon} \right)^{k-1}$$

ამ უკანასკნელ გამოსახულებაში (ა) გამოსახულებიდან T_1 -ის მნიშვნელობის ჩასმით T_4 ტემპერატურა გამოისახება შემდეგნაირად:

$$T_4 = T_1 \varepsilon^{k-1} \rho \frac{\rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}} = T_1 \rho^k$$

(ა) გამოსახულებაში ტემპერატურების ყველა მიღებული მნიშვნელობის ჩასმით, თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\eta_1 = 1 - \frac{1}{k} \frac{T_1 \rho^k - T_1}{T_1 \varepsilon^{k-1} \rho - T_1 \varepsilon^{k-1}} = 1 - \frac{1}{k} \frac{T_1}{T_1 \varepsilon^{k-1}} \frac{(\rho^k - 1)}{(\rho - 1)}$$

და საბოლოოდ გვექნება

$$\eta_1 = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{(\rho^k - 1)}{k(\rho - 1)} \quad (1-166)$$

მიღებული გამოსახულება გვიჩვენებს, რომ ამ ციკლით მომუშავე ძრავების თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი დამოკიდებულია ρ და ε სიდიდეებზე. ამასთან, წინასწარი გაფართოების ხარისხის ზრდის დროს იგი მცირდება, ხოლო შეკუმშვის ხარისხის ზრდის დროს კი იზრდება.

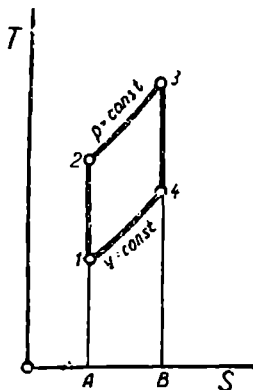
შეკუმშვის ხარისხის უმცირესი მნიშვნელობა ისე უნდა იყოს შერჩეული, რომ შეკუმშვის ბოლოში ჰაერის ისეთი ტემპერატურა მივიღოთ, რომელიც სათბობის თვითაალებას უზრუნველყოფს. შეკუმშვის ხარისხის უმაღლესი ზღვარი ხახუნზე დანაკარგების ზრდით არის შეზღუდული. წინასწარი გაფართოების ხარისხი კი იზრდება ძრავის დატვირთვის გადიდების დროს, იმის გამო, რომ ამ შემთხვევაში უფრო მეტი რაოდენობის სათბობის მიწოდებაა საჭირო. რადგან აღნიშნული ფაქტორის ზეგავლენით თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი მცირდება, ამიტომ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ აღნიშნული ციკლით მომუშავე ძრავების დატვირთვის გაზრდით მათი თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი მცირდება.

ციკლი $T\delta$ დიაგრამაზე ნაკ. 1—41-ზეა მოცემული. 1 წერტილი გამოსახავს მუშა სხეულის მდგომარეობას, რომელიც $p\delta$ დიაგრამაზე შესაბამისი 1 წერტილით იყო გამოსახული. ამ წერტილიდან იწყება ადიაბატური შეკუმშვის პროცესი, რომელიც ტემპერატურის ზრდით მიმდინარეობს და 1—2 სწორი ხაზით გამოისახება. 2 წერტილის მდებარეობა განისაზღვრება შეკუმშული ჰაერის T_3 ტემპერატურით, რომლის მნიშვნელობა შეგვიძლია მივიღოთ ადიაბატის განტოლებიდან, სახელდობრ, $T_3 = T_1 \varepsilon^{k-1}$.

მეორე წერტილით გამოსახული მუშა სხეულის მდგომარეობიდან იწყება სითბოს მიწოდებით მიმდინარე იზობარული პროცესი, რომელიც 2—3 ლოგარითმული მრუდით გამოისახება. მე-3 წერტილის მდებარეობა განისაზღვრება 2 და 3 წერტილებით გამოსა-

სულ მდგომარეობებს შორის მუშა სხეულის ესტროპიის ცვლილება, სასელდობარ, ფორმულით

$$\eta_1 = c_p \ln \frac{T_3}{T_1} = c_p \ln \frac{p_3}{p_1} - c_p \ln p.$$



ნაკ. 1-41.

მესამე წერტილით გამოსახული მდგომარეობიდან იწყება მუშა სხეულის ადიაბატური გაფართოების პროცესი, რომელიც ტემპერატურის შემცირებით მიმდინარეობს და ორდინატთა ღერძის პარალელური სწორი 3-4 ხაზით გამოისახება. ამ ხაზის გადაკვეთა 1-4 იზოქორული პროცესის გამომსახველ ლოკარითმულ მრუდთან მე-4 წერტილს მოგვეცემს.

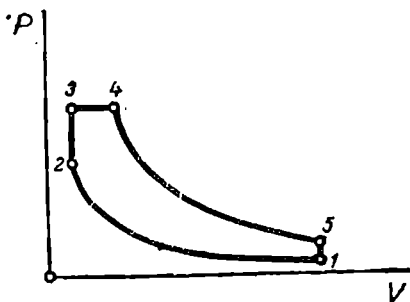
ამ შემთხვევაშიაც ფართობი 1-2-3-4-1 სასარგებლოდ გამოყენებულ სითბოს რაოდენობას გამოსახავს. ამ ფართობის გაყოფით $A-2-3-B-A$ ფართობზე, რომელიც მიწოდებულ სითბოს გამოსახავს, თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობას მივიღებთ, ე. ი.

$$\eta_1 = \frac{\text{ფართ. } 1-2-3-4-1}{\text{ფართ. } A-2-3-B-A}.$$

1-53. ციკლი შიდახული პროცესის დროს სითბოს მიწოდებით

ზემოვანიხილული ციკლები ერთიმეორისაგან განსხვავდებიან სათბობის წვის პროცესით, რომელიც პირველში მიმდინარეობს $p = c \text{ const}$ დროს და მეორეში კი $p = c \text{ const}$ დროს. მაგრამ, როგორც უკვე ზემოთ გვექონდა აღნიშნული, არსებობს კიდევ ციკლი, რომელიც ამ ორი ციკლის კომბინაციას წარმოადგენს, სახელდობრ, ციკლი, რომელშიაც წვა მიმდინარეობს ნაწილობრივად ჯერ მუდმივი მოცულობის დროს ($v = \text{const}$) და შემდეგ მუდმივი წნევის დროს ($p = \text{const}$). ციკლს, რომელიც ასეთი შერეული ხერხით წვის პროცესით მიმდინარეობს, ტრინკლერის ციკლი ეწოდება.

ამ შემთხვევაში სათბობის მიწოდება წინასწარ ადიაბატურად შეკუმშულ პაერში ხდება. დღუშის მარცხენა მკედარი მდებარეობაში დაბრუნებისას (მეორე სელის დაშთაერებისას) ცილინდრში სდება მიწოდება სათბობის ნაწილის, რომელიც მუდმივი მოცულობის დროს იწყება. სათბობის დანარჩენი ნაწილის მიწოდება და მისი წვა კი ხდება მუდმივი წნევის დროს, როდესაც დღუში მესამე სელას იწყებს. სათბობის მიწოდება და წვა მთავრდება დღუშის მთერ განსაზღვრული მანძილის გავლის შემდეგ, გაცილებნით უფრო იდრე დღუშის მარჯვენა მკედარი მდებარეობის დაკავებამდე. წვის დასასრულის შემდეგ მუშა სხეულის ადიაბატურად გაფართოების პროცესი დღუშის სელის ზოლამდე სრულდება.



ნაკ. 1-42.

განვიხილოთ ტრინკლერის ციკლი უშუალოდ p დიფერენციალზე, რომელიც ნაკ. 1—42-ზეა გამოსახული.

აღნიშნულ ციკლში გვაქვს შემდეგი პროცესები:

1—2 ჰაერის ადიაბატური შეკუმშვა;

2—3 სითბოს მიწოდება იზოქორული პროცესის დროს;

3—4 სითბოს მიწოდება იზობარული პროცესის დროს;

4—5 ადიაბატური გაფართოების პროცესი;

5—1 სითბოს არინება იზოქორული პროცესის დროს.

ჩამოთვლილი პროცესები ქმნიან ციკლის შეკრულ კონტურს 1—2—3—4—5—1, რომლის მიერ შემოსაზღვრული ფართობი სასარგებლო მუშაობას გამოსახავს.

როგორც დანარჩენ შემთხვევებში, თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტი ვანი-საზღვრება ფორმულით

$$\eta_i = \frac{(q_1 + q_2) - q_3}{q_1 + q_2} \quad (a)$$

სადაც: q_1 არის მიწოდებული სითბოს რაოდენობა $p = \text{const}$ დროს;

q_2 —მიწოდებული სითბოს რაოდენობა $p = \text{const}$ დროს;

q_3 —არინებული სითბოს რაოდენობა $p = \text{const}$ დროს.

(a) ფორმულა შეიძლება შემდეგნაირადაც გამოვსახოთ

$$\eta_i = 1 - \frac{q_3}{q_1 + q_2} \quad (b)$$

ამ ფორმულით თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტის გამოთვლისათვის პროცესში მონაწილე სითბოს რაოდენობები განვსაზღვროთ შემთხვევისათვის, როდესაც სითბოტექნოლოგიები მუდმივი სიდიდეებია.

$p = \text{const}$ დროს მიწოდებული სითბოს რაოდენობა განისაზღვრება განტოლებებით

$$q_1 = c_v (T_2 - T_1)$$

$p = \text{const}$ დროს მიწოდებული სითბოს რაოდენობა განისაზღვრება განტოლებით

$$q_2 = c_p (T_3 - T_2)$$

$p = \text{const}$ დროს არინებული სითბოს რაოდენობა განისაზღვრება განტოლებითა

$$q_3 = c_v (T_3 - T_1)$$

მიღებული მნიშვნელობების ჩასმით (b) გამოსახულებაში გვექნება

$$\eta_i = 1 - \frac{c_v (T_3 - T_1)}{c_v (T_2 - T_1) + c_p (T_3 - T_2)}$$

წილადის მრიცხველისა და მნიშვნელის c_v -ზე გაყოფით, მივიღებთ

$$\eta_i = 1 - \frac{T_3 - T_1}{(T_2 - T_1) + \frac{c_p}{c_v} (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_3 - T_1}{(T_2 - T_1) + k (T_3 - T_2)} \quad (c)$$

ამ გამოსახულებაში შემავალი ყოველი ტემპერატურა გამოვსახოთ T_1 ტემპერატურის საშუალებით.

1—2 ადიაბატური შეკუმშვის პროცესიდან გვაქვს

$$T_2 = T_1 \epsilon^{k-1} \quad (d)$$

2—3 იზოქორული პროცესის საფუძველზე შეგვიძლია დავწეროთ

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2}$$

აღნიშნოთ $\frac{p_2}{p_1} = \lambda$, სადაც λ კოეფიციენტი, რომელიც გვიჩვენებს, თუ რამდენად გაიზარდა წნევა წყის შედეგად იზოქორული პროცესის დროს. ამ აღნიშვნის გამოყენებით გვექნება:

$$T_3 = T_2 \lambda = T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda. \quad (c)$$

სადაც T_3 ტემპერატურის მნიშვნელობა ჩასმულია (d) გამოსახულებიდან.

3-4 იზობარული პროცესი შემდეგ დამოკიდებულებას გვაძლევს:

$$\frac{T_1}{T_3} = \frac{v_1}{v_3}.$$

მაგრამ, რადგან $\frac{v_1}{v_3}$ ფარლობა წინასწარი გაფართოების ხარისხს ρ წარმოადგენს, ამიტომ

$$T_1 = T_3 \rho = T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda \rho,$$

სადაც T_3 ტემპერატურის მნიშვნელობა ჩასმულია (e) გამოსახულებიდან.

4-5 ადიაბატური პროცესი გვაძლევს დამოკიდებულებას

$$\frac{T_2}{T_4} = \left(\frac{v_1}{v_4} \right)^{k-1}$$

მაგრამ, რადგან $v_4 = v_1$, ამიტომ

$$\frac{v_1}{v_4} = \frac{v_1}{v_1} = \frac{v_2}{v_3} = \frac{v_1}{v_2} = \rho,$$

თავის მხრივ კი

$$\frac{v_2}{v_3} = \rho \quad \text{და} \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{v_1}{v_2} = \varepsilon.$$

საბოლოოდ გვექნება

$$\frac{v_1}{v_3} = \frac{\rho}{\varepsilon},$$

აქლო T_3 ტემპერატურას შემდეგი მნიშვნელობა ექნება

$$T_3 = T_1 \left(\frac{\rho}{\varepsilon} \right)^{k-1} = T_1 \frac{\rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}}.$$

სადაც T_1 ტემპერატურის მნიშვნელობის ჩასმით. მივიღებთ

$$T_3 = T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda \rho \frac{\rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}} = T_1 \lambda \rho^k.$$

ტემპერატურების მიღებული მნიშვნელობების ჩასმით (c) გამოსახულებაში, გვექნება

$$\eta_i = 1 - \frac{T_1 \lambda \rho^k - T_1}{(T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda - T_1 \varepsilon^{k-1}) + k (T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda \rho - T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda)} = 1 - \frac{T_1 (\lambda \rho^k - 1)}{T_1 \varepsilon^{k-1} (\lambda - 1) + k T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda (\rho - 1)}$$

$$\eta_i = 1 - \frac{1}{z^{k-1}} \frac{\lambda \rho^k - 1}{(\lambda - 1) + k\lambda(\rho - 1)} \quad (1-167)$$

როგორც ამ გამოსახულებიდან ჩანს, ციკლის მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობა მატულობს, როდესაც z და λ სიდიდეები იზრდება და ρ სიდიდე კი მცირდება.

ზემოგანხილული ორი ციკლი ტრინკლერის ციკლის კერძო შემთხვევას წარმოადგენს. და მართლაც, თუ დავეუშვებთ, რომ $\rho = \frac{v_1}{v_2} = 1$,

მაშინ (1 167) განტოლებაში აღებული მნიშვნელობის ჩასმით, მივიღებთ

$$\eta_i = 1 - \frac{1}{z^{k-1}} \frac{\lambda - 1}{(\lambda - 1) + k\lambda(1 - 1)} = 1 - \frac{1}{z^{k-1}}$$

$$\times \frac{\lambda - 1}{\lambda - 1} = 1 - \frac{1}{z^{k-1}}$$

რაც მუდმივი მოცულობის დროს სითბოს მიწოდებით მომუშავე ძრავების თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობას გამოსახავს.

ახლა, თუ დავეუშვებთ, რომ $\lambda = \frac{p_2}{p_1} = 1$, მაშინ იგივე (1-167) განტოლებიდან გვექნება

$$\eta_i = 1 - \frac{1}{z^{k-1}} \frac{\rho^k - 1}{(1 - 1) + k(\rho - 1)} = 1 - \frac{1}{z^{k-1}} \frac{(\rho^k - 1)}{k(\rho - 1)}$$

ე. ი. მივიღებთ მუდმივი წნევის დროს სითბოს მიწოდებით მომუშავე ძრავების თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

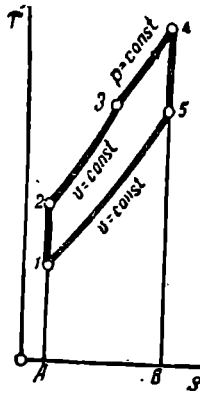
ანალოგიურად წინათ განხილული ციკლებისა გამოვსახოთ ტრინკლერის ციკლიც TS დიაგრამაზე.

თუ დავეუშვებთ, რომ TS დიაგრამაზე წერტილი 1 (ნაკ. 1-43) საწყის მდგომარეობას გამოსახავს, მაშინ ადიაბატურად შეკუმშვის პროცესი გამოისახება 1-2 სწორი ხაზით, სითბოს მიწოდების პროცესი $v = \text{const}$ დროს 2-3 მრუდით, სითბოს მიწოდების პროცესი $p = \text{const}$ დროს 3-4 მრუდით, ადიაბატურად გაფართოების პროცესი 4-5 სწორი ხაზით და სითბოს არჩენბცს პროცესი $v = \text{const}$ დროს 5-1 მრუდით.

ამგვარად, მივიღებთ 1-2-3-4-5-1 შეკრული კონტური, რომლის მიერ შემოსაზღვრული ფართობი სასარგებლოდ გამოყენებულ სითბოს გამოსახავს. ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობა კი განისაზღვრება ტოლობით

$$\eta_i = \frac{\text{ფართ. } 1-2-3-4-5-1}{\text{ფართ. } A-2-3-4-B-A}$$

სადაც მნიშვნელი დახარჯულ სითბოს რაოდენობას გამოსახავს.



ნაკ. 1-43.

განხილული შიგაწვის ძრავების განმასხვავებელ ნიშნს წარმოადგენს ის, რომ თვით ძრავას ცილინდრში სათბობის წვის შედეგად მიღებული აირთა ნარევის სითბური ენერჯის გარდაქმნა მექანიკურ ენერჯიად დგუშისანი მექანიზმის უქუქცევალი-გადატანითი მოძრაობის საშუალებით ხდება.

უკანასკნელ დროს მექანიკური ენერჯის მისაღებად მრეწველობაში აგრეთვე გამოყენებულია აირტუბინისანი დანადგარი, რომელშიაც სათბობის სითბური ენერჯის გარდაქმნა მექანიკურ ენერჯიად აირტუბინის საშუალებით ხორციელდება.

აირტუბინი, რომელშიაც მუშა სხეულად, აგრეთვე, წვის ნაწარმა გამოყენებული, ზემოგანხილული სახის ძრავებისაგან იმით განსხვავდება, რომ მასში დგუშისანი მექანიზმი შეცვლილია როტაციული ტიპის მექანიზმით და ლილვის ბრუნვითი მოძრაობის მექანიკური ენერჯია მიღებულია აირის ხილული მოძრაობის კინეტიკური ენერჯის ხარჯზე.

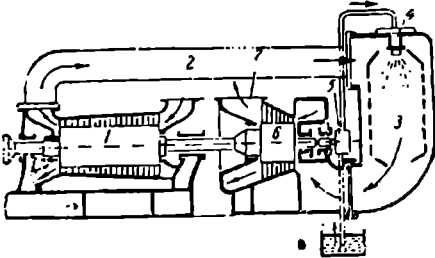
დგუშისან ძრავებთან შედარებით, როტაციული ტიპის ძრავებს მნიშვნელოვანი უპირატესობანი აქვთ; მათ ახასიათებთ ის, რომ მათ არა აქვთ უქუქცევალი-გადატანითი მოძრაობის მქონე ნაწილები, რომლებიც დგუშისან ძრავებში სელის უთანაბრობასა და ინერციულ ძალებს იწვევენ; მაშასადამე, ეს უკანასკნელი უარყოფითი თვისება როტაციული სახის ძრავებში აცილებულია, რაც საშუალებას იძლევა აღნიშნული სახის ძრავების განხორციელებისა, როგორც სწრაფმაყალის, ბრუნთა დიდი რიცხვით და ამასთან დაკავშირებით, ცალკეულ აგრეგატებში დიდი სიმძლავრეების მიღებისა, აგრეგატის შედარებით მცირე გაბარიტისა და წონის დროს.

წვის პროცესის შესაბამისად განასხვავებენ აირტუბინის ორ ძირითად ტიპს:

- 1) აირტუბინი სათბობის წვით მუდმივი წნევის დროს;
- 2) აირტუბინი სათბობის წვით მუდმივი მოცულობის დროს.

აირტუბინი მუდმივი წნევის დროს წვით. მუდმივი წნევის დროს წვით აირტუბინის სქემა მოცემულია ნაკ. 1-44-ზე.

კომპრესორი 1 ატმოსფერულ ჰაერს შეიწოვს და მას ადიამატურად შეკუმშავს. შემდეგ შეკუმშული ჰაერი მილით 2 შედის წვის კამერაში 3, რომელშიაც ტუმბოს 5 საშუალებით მიწოდებული თხევადი სათბობით ფრქვევანათი 4 შეიფრქვევა.



ნაკ. 1-44.

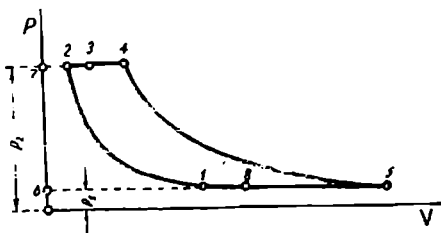
მიღებული აირის კინეტიკური ენერჯია ტუბინის 6 მუშა ფრთებზე მექანიკურ ენერჯიად გარდაიქმნება. გადაზეულებული აირები კი ტუბინის მილწყლიდან 7 გამოიღონ ატმოსფეროში.

აღნიშნული დანადგარის მუშაობის აღწერილობიდან ჩანს, რომ მუშა სხეული შეუძრავ პროცესს ასრულებს; ამასთან, ძრავაში შეუქცევალი წვის პროცესი სრულდება და მუშა სხეულის თვისებები ცვლილებას განიცდიან.

ციკლის თერმოდინამიკური განხილვისათვის საჭიროა დაეუშვათ, რომ პროცესი შეკრული ციკლით მიმდინარეობს, მუშა სხეულის რაოდენობა უცვლელია და სითბოს მიწოდება და არინება სითბოს უსასრულოდ მთელი რიგი წყაროების საშუალებით ხორციელდება.

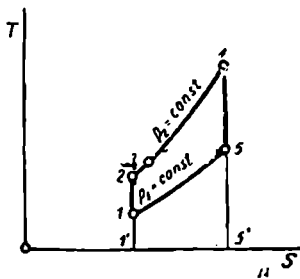
ნაკ. 1-45 და 1-46-ზე ნაჩვენებია pV და TS კოორდინატთა სისტემებში $p = \text{const}$ დროს წვეთ მომუშავე აირტურბინის თეორიული დიაგრამა.

დაეუშვათ, რომ მუშა სხეული აღებული გვაქვს 1 კგ-ის რაოდენობით და მისი საწყისი მდგომარეობა, რომელიც p_1 და T_1 პარამეტრებით ხასიათდება, 1 წერტილით გამოისახება (ნაკ. 1-45). ამ შემთხვევაში 1-2 მრუდი გამოსახავს p_2 წნევამდე აირის შეკუმშვის პროცესს, რომლის დროსაც იდეალური ციკლით მომუშავე კომპრესორის მიერ დახარჯული მუშაობა გამოისახება 6-1-2-7-6 ფართობით.



ნაკ. 1-45.

შეკუმშვის შემდეგ სითბოს წყაროდან $p_2 = \text{const}$ დროს მიწოდებული სითბოს ხარჯზე მუშა სხეული T_2 ტემპერატურამდე თბება, რაც დიაგრამაზე 2-4 პროცესით გამოისახება. ამ პროცესის დროს მიწოდებული q_1 სითბოს რაოდენობა TS დიაგრამაზე (ნაკ. 1-46) 1'-2-4-5'-1' ფართობით გამოისახება. p_2 წნევისა და T_2 ტემპერატურის შეთანხმებით ირის ტურბინში, სადაც იგი $p_3 = p_1$ წნევამდე (4-5) აღიბატურად ფართოვდება. ამ შემთხვევაში საქმენში გაფართოებისას მიღებული მუშაობა, რომელიც გარდაიქმნება ტურბინაში გამოსაყენებელ ენერჯიად. p_3 დიაგრამაზე (ნაკ. 1-45) 6-5-4-7-6 ფართობით გამოისახება. და, ბოლოს, ტურბინიდან გამოდინების შემდეგ აირი მაიკერის საშუალებით $p_1 = \text{const}$ წნევის დროს ცივდება 5-1 ხაზის მიხედვით და კვარავს q_2 სითბოს რაოდენობას, რომელიც 1'-1-5-5'-1' ფართობით (ნაკ. 1-46) გამოისახება. ციკლის შესრულებისას მიღებული სასარგებლო მუშაობა pV დიაგრამაზე გამოისახება



ნაკ. 1-46.

6-5-4-7-6 და 6-1-2-7-6 ფართობების სხვაობით, სახელდობრ, 1-2-4-5-1 ფართობით.

ციკლის მარტივი კმედების კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის გამოვიყენოთ გამოსახულება:

$$\eta_c = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_p(T_5 - T_1)}{c_p(T_1 - T_2)} = 1 - \frac{T_5 - T_1}{T_1 - T_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{\frac{T_3}{T_1} - 1}{\frac{T_4}{T_2} - 1} \quad (a)$$

$$1-2 \text{ აღიბატისათვის გვაქვს } \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\kappa-1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad (b)$$

$$\text{ხოლო } 4-5 \text{ აღიბატისათვის კი } \frac{T_1}{T_5} = \left(\frac{v_5}{v_4}\right)^{\kappa-1} = \left(\frac{p_4}{p_5}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad (c)$$

მაგრამ, რადგან $p_3 = p_1$; ხოლო $p_1 = p_2$, ამიტომ

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_4}{T_3} \quad \text{და} \quad \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_4}{T_2}.$$

ამ ტოლობის გათვალისწინებით (ა) გამოსახულებიდან გვექნება

$$\eta_i = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\frac{T_2}{T_1}} \quad (d)$$

(ბ) და (ვ) გამოსახულებებიდან, აგრეთვე, გამოდინარეობს, რომ

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{v_3}{v_4} = \varepsilon,$$

ე. ი. ადიბატური შეკუმშვისა და გაფართოების ხარისხები ტოლია. ამ მნიშვნელობის გათვალისწინებით (დ) გამოსახულება მიიღებს სახეს

$$\eta_i = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}. \quad (1-168)$$

თუ $\frac{p_2}{p_1}$ -ს λ -თი აღვნიშნავთ, მაშინ (ბ) გამოსახულების საფუძველზე

$$\frac{T_2}{T_1} = \lambda^{\frac{k-1}{k}}$$

და

$$\eta_i = 1 - \frac{1}{\lambda^{\frac{k-1}{k}}}. \quad (1-169)$$

ამგვარად, $p = \text{const}$ დროს წვით მომუშავე აირტურბინის თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტი დამოკიდებულია წნევათა ფარლობის სიდილეზე და მისი გადიდებით იზრდება. ანალოგიურად შეგვიძლია ვთქვათ, რომ შეკუმშვის ხარისხის გაზრდითაც თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტი სიდიდე იზრდება.

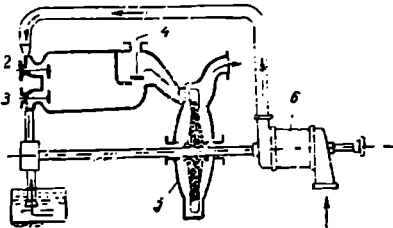
თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტის გადიდების ერთ-ერთ ეფექტურ ღონისძიებას წარმოადგენს ნამუშევარი აირების სითბოს რეგენერაცია. ამ შემთხვევაში ჰაერი კომპრესორიდან წვის კამერაში შესვლამდე, გადის თბოვადამცემ აპარატში (რეგენერატორში), სადაც იგი ტურბინიდან გამოშვებული ნამუშევარი აირის სითბოს ხარჯზე თბება. ამგვარად, ხდება ტურბინიდან გამოშვებული, ჯერ კიდევ მალალტემპერატორიანი, აირის სითბოს გამოყენება.

ტურბინიდან გამოსული აირებისაგან რეგენერატორში სითბოს არინების პროცესი დიაგრამაზე (ნაქ. 1—45) 5—8 ხაზით გამოისახება. აირების გაცივება თეორიულად შეგვიძლია ჩათვალოთ 1 წერტილით გამოსახულ მდგომარეობამდე, მხოლოდ პრაქტიკულად ასეთი სრული რეგენერაცია შეუძლებელია.

დიაგრამაზე, ჰაერის გათბობის პროცესი რეგენერატორში გამოისახება 2—3 ხაზით, ხოლო გარედან მიწოდებული სითბოს ხარჯზე კი 3—4 ხაზით. TS დიაგრამაზე (ნაქ. 1—46) შესაბამისად ჰაერის გათბობის პროცესი ნამუშევარი აირების სითბოს ხარჯზე გამოისახება 2—3 მრუდით, ხოლო სითბოს წყაროს საშუალებით მიღებულ სითბოს ხარჯზე 3—4 მრუდით. ამ დიაგრამიდან ნათლად ჩანს, რომ რეგენერაციის გამოყენებით დანადგარის მარჯი ქმედების კოეფიციენტი საკმარისად იზრდება.

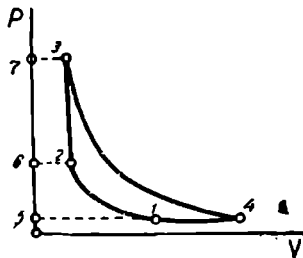
აირტურბინი მუდმივი მოცულობის დროს წვით. მუდმივი მოცულობის დროს წვით მომუშავე აირტურბინის სქემა მოცემულია ნაკ. 1—47-ზე.

აღნიშნული აგრეგატი შედგება წვის კამერისაგან 1, რომელსაც აქვს სამი სარქველი 2, 3 და 4. პირველის საშუალებით ხდება ჰაერის მიწოდება, ხოლო მეორით სათბობისა. მესამე სარქველი წვის ნაწარმი შედის ტურბინში, რომლის მუშა ბორბალი 5 კომპრესორთან ერთ ლივზე დაყენებული. ჰაერის მიწოდება სწორედ ამ კომპრესორით ხდება.



ნაკ. 1—47.

აირტურბინიანი აგრეგატის მუშაობის აღწერისათვის დავუშვათ, რომ წვის კამერის 2, 3 და 4 სარქველები დახურულია და კამერა შევსებულია მუშა ნარევით, რომელიც ჰაერისა და თხევადი ან აიროვანი სათბობისაგან შედგება. წვისკამერაში გვექნება განსაზღვრული წნევა, რომელიც კომპრესორის მიერ იქნება წარმოქმნილი. მუშა ნარევის აალება ელექტრული სანთლის საშუალებით ხორციელდება. რადგან აალები დახშულ კურკულში ხდება, წნევა იზრდება, სარქველი (4) იღება და წვის დროს გამოყოფილ სითბოს ხარჯზე გამთბარი აირები საქმინში გავლით ტურბინის მუშა ფრთებისაკენ მიემართებიან. ამ შემთხვევაში გამოდინება საქმინიდან ხდება ისე, რომ წვის კამერაში წნევა ეცემა. როდესაც წნევა განსაზღვრულ სიდიდემდე შემცირდება, იღება სარქველი 2 და ხდება კამერის გამოქრევა ახალი ჰაერით, რომელიც გადის ტურბინში და მის დეტალებს აციეებს. შემდეგ სარქველები 4 და 2 იხურება და ხდება სათბობის მიწოდება სარქველის 3 საშუალებით; შევსების შემდეგ ციკლი მეორდება.



ნაკ. 1—48.

ნაკ. 1—48 და 1—49-ზე გამოსახულია p და T S კოორდინატთა სისტემაში $v = c \sin \alpha$ დროს წვით მომუშავე აირტურბინის თეორიული დიაგრამა. ამ შემთხვევაში

შიაც, როგორც წინა პარაგრაფში, აღწერილი ციკლი შეცვლილია შექცევადი ციკლით. მითითებულ დიაგრამებზე გამოსახულია: 1—2 კომპრესორში ჰაერის ადიაბატური შექუმვა; 2—3 სითბოს წყაროდან მუშა სხეულის გათბობა, რაც ნამდვილ ციკლში წვის პროცესს შეესაბამება; 3—4 ადიაბატური გაფართოება (ტურბინში); 4—1 მაკიერის საშუალებით მუშა ნარევის გაციეება, რაც ნამდვილ პროცესში აირის განდევნას შეესაბამება.

ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი

$$\tau_{II} = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

რომელშიაც

$$q_2 = c_p (T_4 - T_1) \quad \text{და} \quad q_1 = c_v (T_3 - T_2)$$

მეშენელობების ჩასმით, მივიღებთ:

$$\eta_i = 1 - \frac{c_p (T_4 - T_1)}{c_v (T_3 - T_2)} = 1 - k \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad (a)$$

გამოსახვით ამ განტოლებაში შემავალი ყველა ტემპერატურა, როგორც T_1 -ის ფუნქცია, რისთვისაც წინასწარ აღვნიშნოთ

$$\frac{p_2}{p_1} = \lambda \quad \text{და} \quad \frac{v_1}{v_2} = \varepsilon.$$

1-2 ალიბატის განხილვიდან გვაქვს $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1}$ საიდანაც

$$T_2 = T_1 \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} = T_1 \varepsilon^{k-1} \quad (b)$$

2-3 იზობორული პროცესიდან შეგვიძლია დავწეროთ

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2} = \lambda \quad \text{და} \quad T_3 = T_2 \lambda.$$

(b) გამოსახულების მხედველობაში მიღებით

$$T_3 = T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda \quad (c)$$

3-4 ალიბატიდან კი გვაქვს:

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{p_3}{p_4}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{p_3}{p_2} \cdot \frac{p_2}{p_4}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

მაგრამ, რადგან

$$\frac{p_3}{p_2} = \lambda \quad \text{და} \quad \frac{p_3}{p_4} = \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k = \varepsilon^k,$$

ამიტომ

$$\frac{T_3}{T_4} = \lambda^{\frac{k-1}{k}} \quad \text{და} \quad T_4 = \frac{T_3}{\lambda^{\frac{k-1}{k}} \varepsilon^{k-1}},$$

მხოლოდ, თუ მივიღებთ მხედველობაში (c) გამოსახულებას, მაშინ

$$T_4 = \frac{T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda}{\lambda^{\frac{k-1}{k}} \varepsilon^{k-1}} = T_1 \lambda^{\frac{1}{k}}$$

(a) გამოსახულებაში ტემპერატურათა მიღებული მნიშვნელობების ჩასმით გვექნება:

$$\eta_i = 1 - k \cdot \frac{T_1 \lambda^{\frac{1}{k}} - T_1}{T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda - T_1 \varepsilon^{k-1}},$$

საიდანაც

$$\eta_i = 1 - \frac{k}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\lambda^{\frac{1}{k}} - 1}{\lambda - 1} \quad (1-170)$$

როგორც ვხედავთ, აგრეგატის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი დამოკიდებულია ε შეკუმშვის ხარისხზე და წვის დროს მიღებულ λ წნევათა ფარდობაზე, მათი გადიდებით თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტიც იზრდება.

1-57. კომპრესორის სიძლი

ზემოაღწერილი ციკლებით მომუშავე ძრავები წარმოადგენენ აირის ძრავებს, რომლებიც მუშა სხეულის გამოსყენებით სითბურ ენერჯიას მექანიკურ ენერჯიად გარდაქმნიან, ე. ი. მუშაობას გვაძლევენ.

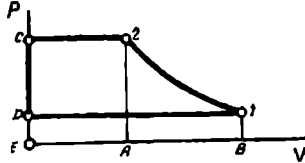
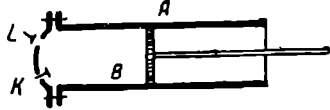
მაგრამ არსებობს აგრეთვე აირის ძრავები, რომლებიც წინათ განხილულისაგან განსხვავებით შექცეული ციკლით მუშაობენ და მათი მოქმედებაში მოსაყვანად გარედან მექანიკური ენერჯიის, ე. ი. მუშაობის დახარჯვას მოითხოვენ. ასეთი მანქანების ტიპს წარმოადგენს კომპრესორი, რომელიც სხვადასხვა მიზნისათვის შეკუმშულ ჰაერს გვაძლევს. შეკუმშული ჰაერი, მაგალითად, საჭიროა მუდმივი წნევის დროს წვით მომუშავე ძრავაში სათბობის გაფრქვევისათვის, ძრავას გაშვებისათვის, აგრეთვე სხვადასხვა წარმოებაში ტექნოლოგიური პროცესების განხორციელებისათვის, როგორც არის პნევმატიკური იარაღებით ბურღვა, მოქლონევა, ქედვა პნევმატიკური უროების საშუალებით, ნახშირის გაწმენდა სილაქავრული აპარატის საშუალებით და სხვ.

კომპრესორები შეიძლება იყოს დგუშიანი და ცენტრიდანული, მაგრამ ამ სახელმძღვანელოში ჩვენ მხოლოდ დგუშიან კომპრესორებს ვავეცნობით.

დგუშიანი კომპრესორების ცილინდრში ჰაერის შეკუმშვას ასრულებს დგუში თავისი უკუქცევადი-გადატანითი მოძრაობის დროს. ამ მოძრაობის განხორციელებისათვის დგუში დაკავშირებულია კოკის, ბარბაცას და მრუდმხარა მექანიზმის საშუალებით ლიფთან, რომელიც ბრუნვით მოძრაობას რომელიმე გარეშე ძრავასაგან ღებულობს.

განვიხილოთ დგუშიანი კომპრესორის მუშა პროცესი ინდიკატორულ თეორიულ დიაგრამაზე, რომელიც დგუშის სვლის მიხედვით V მოცულობის ცვლილებასთან დაკავშირებით p წნევის ცვლილებას გვაძლევს.

კომპრესორის მუშა ციკლი სრულდება შემდგენიარად: დგუშის მარჯვნივ მოძრაობის დროს იღება შემშვები K სარკველი და ჰაერის შეწოვა ხდება, ამასთან, თეორიულად ეს პროცესი განხილული გვაქვს როგორც მუდმივი წნევის პროცესი, რომლის დროსაც p_1 წნევა ატმოსფერული წნევის ტოლია. დიაგრამაზე (ნაქ. 1-50) ეს პროცესი $D-1$ სწორი ხაზით გამოისახება. დგუშის შექცეული სვლის დროს შემშვები სარკველი K იხურება და გარედან მიღებული ენერჯიის ხარჯზე ჰაერის შეკუმშვა ხდება, სანამ მისი წნევა არ მიაღწევს p_2 წნევას, რომელიც რესიფერში მოთავსებული ჰაერის წნევის ტოლია. ჰაერის შეკუმშვის პროცესი დიაგრამაზე 1-2 მრუდით გამოისახება. დგუშის მთერ მე-2 წერტილის შეაბამისი მდებარეობის დაკავებისას ჰაერის გამოსაშვები სარკველი L იღება და მილსადენის საშუალებით, დგუშის სვლის დასასრულამდე, რეზერვუარში შეკუმშული ჰაერის მიწოდება წარმოებს. ეს პროცესი დიაგრამაზე გამოისახება 2-C პროცესით, რომელიც მუდმივი წნევის პროცესს წარმოადგენს.



ნაქ. 1-50.

დგუშის მიერ მარცხენა მკედარი მდებარეობის დაკეებისას იხურება გამოსაშვები L სარკველი, იღება შემშვები K სარკველი, რომლის დროსაც თეორიულად მიღებული გვაქვს, რომ წნევა p_1 -დან p_2 -მდე უტბად ეცემა, რაც დიაგრამაზე CD ხაზით არის გამო-სახული. ამ პროცესის შემდეგ აღწერილი ციკლი მეორედება. აღვნიშნოთ აქვე, რომ თანახმად ზემომოყვანილი განმარტებისა, ამ შემთხვევაში მხოლოდ 1—2 ხაზი წარმოად-გენს აირის მდგომარეობის ცვლილების ხაზს.

როგორც უკვე დაინახეთ, კომპრესორის მთელი მუშა პროცესი სრულდება დგუ-შის ორი სელით, ე. ი. ლილვის ერთი შემობრუნებით და, მაშასადამე, კომ-პრესორი ორტაქტთან ძრავას წარმოადგენს.

კომპრესორის ციკლის შესრულებაზე გარედან დახარჯული მუშაობა დიაგრამაზე მიღებული $D-1-2-C-D$ ფართობით გამოისახება. დიაგრამიდან ჩანს, რომ იგი 1—2 პროცესის მსვლელობის ხასიათზეა დამოკიდებული. ერთი და იგივე საბოლოო p_2 წნე-ვის დროს v_2 მოცულობა შეიძლება სხვადასხვა სიდიდის იყოს იმის მიხედვით, თუ რა გზით არის შესრულებული შეკუმშვის პროცესი. თუ შეკუმშვა ისე მოვასდინეთ, რომ წყლით ცილინდრის კედლების გაციეების საშუალებით ტემპერატურა მუდმივი შევინარ-ჩუნეთ, მაშინ 1—2 შეკუმშვის პროცესი იზოთერმული იქნება, ხოლო თუ პროცესი ისე სრულ-დება, რომ სითბოს ცულას ადგილი არა აქვს, მაშინ 1—2 მრუდი ადიაბატურად შეკუმ-შვის პროცესს გამოისახავს. სინამდვილეში კი კომპრესორში შეკუმშვის პროცესი პოლიტროპულად წარმოებს, რაც დაკავშირებულია ჰაერის შეკუმშვის დროს სითბოს არინებასთან; ეს უკანასკნელი კი მიღწეულია ცილინდრისათვის წყლის პერან-გის გამოყენებით.

მუშაობის გამოსათვლელად დავუბრუნდეთ ნაკ. 1—50-ზე გამოსახულ დიაგრამას. მუ-შაობა შეიძლება განისაზღვროს შემდეგნაირად:

$$l = \text{ფართ. } D-1-2-C-D = \text{ფართ. } E-C-2-A-E + \text{ფართ. } A-2-1-B-A - \text{ფართ. } E-D-1-B-E.$$

მაგრამ, ვინაიდან ფართ. $E-C-2-A-E = p_2 v_2$ და ფართ. $E-D-1-B-E = p_1 v_1$, ამიტომ საბოლოოდ გვექნება:

ა) იზოთერმული შეკუმშვისათვის

$$l = p_2 v_2 + RT \ln \frac{v_2}{v_1} - p_1 v_1,$$

მაგრამ, რადგან ამ შემთხვევისათვის $T = \text{const}$ და $p_1 v_1 = p_2 v_2$, ამიტომ

$$l = RT \ln \frac{v_2}{v_1}. \quad (1-171)$$

ბ) ადიაბატური შეკუმშვისათვის

$$l = p_2 v_2 + \frac{1}{k-1} (p_2 v_2 - p_1 v_1) - p_1 v_1 = p_2 v_2 + \frac{p_2 v_2}{k-1} - \frac{p_1 v_1}{k-1} - p_1 v_1 = p_2 v_2 \left(\frac{k-1+1}{k-1} \right) - p_1 v_1 \left(\frac{1+k-1}{k-1} \right) = \frac{k}{k-1} p_2 v_2 - \frac{k}{k-1} p_1 v_1$$

და საბოლოოდ გვექნება:

$$l = \frac{k}{k-1} (p_2 v_2 - p_1 v_1). \quad (1-172)$$

გ) პოლიტროპული შეკუმშვისათვის

$$l = p_2 v_2 + \frac{1}{n-1} (p_2 v_2 - p_1 v_1) - p_1 v_1 = \frac{n}{n-1} (p_2 v_2 - p_1 v_1). \quad (1-173)$$

ბოგორც უკვე ზემოთ აღვნიშნეთ, კომპრესორის თერორული ციკლის განზილვისას შესაძლებელია, რომ შეკუმშვის მრული წარმოდგენდეს იზოთერმას, ადიაბატას და პოლიტროპს. იმის გამოსარკვევად, თუ რომელი ამ პროცესებთან უფრო ხელსაყრელია კომპრესორის მუშაობისათვის გამოსაყენებლად, განვიხილოთ სამივე პროცესი დიაგრამაზე და შევადაროთ ისინი ერთიმეორეს, რისთვისაც დავეშვათ, რომ პაერის შეკუმშვის შედეგად მიღებული საბოლოო p_2 წნევა ყველა პროცესში ერთი და იგივეა.

მიღებული დაშვებით აღებული სამი მრული დიაგრამაზე ისე გამოისახება, როგორც ეს ნაკ. 1-51-ზეა ნაჩვენები. აქ 1-2 გამოსახავს იზოთერმას და 1-2'' კი ადიაბატას, რადგან, შეკუმშვის დროს ადიაბატა უფრო ციკაბო მრულია, ვიდრე იზოთერმა. მაშასადამე, დიაგრამიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ იზოთერმული შეკუმშვა უფრო ნაკლები მუშაობის დაბარჯვით სრულდება, ვიდრე ადიაბატური; ეს განსხვავება 2-1-2''-2 ფართობით არის გამოსახული. ამიტომ პრაქტიკულად მიზანშეწონილი იქნებოდა, რომ შეკუმშვის პროცესი მიმდინარეობდეს იზოთერმულად, მაგრამ, რადგან ეს პროცესები განუხორციელებელია, ამიტომ სინამდვილეში შეკუმშვის მრული გამოისახება 1-2' პოლიტროპული მრულით; 1-2' მრული 1-2 და 1-2'' მრუდებს შორის გაივლის, რადგან მისი მაჩვენებელი $1 < n < k$ ფარგლებშია მოქცეული. მაშასადამე, შეკუმშვაზე დაბარჯული მუშაობის სიდიდე დამოკიდებულია პროცესის მსვლელობაზე, რომლის გამომსახველი მრუდის სახე თავის მხრით დამოკიდებულია სითბოს იმ რაოდენობაზე, რომელიც პაერს შეკუმშვის დროს აერინება.

ამგვარად მივიღეთ, რომ იზოთერმული შეკუმშვის დროს დაბარჯული მუშაობა ყველაზე უმცირესია, ხოლო ადიაბატური შეკუმშვის დროს კი ყველაზე უდიდესი. ეს უკანასკნელი, აგრეთვე გამომდინარეობს იქიდან, რომ ადიაბატური შეკუმშვის დროს აირის ტემპერატურა იზრდება, რის გამოც წნევა უფრო სწრაფად იზრდება და გარედან დაბარჯულ ენერჯიას უფრო მეტი წინალობის გადალახვა უხდება, ვიდრე მაშინ, როდესაც გვაქვს იზოთერმული პროცესი, რომლის დროსაც $dT=0$ და $du=c_p dT=0$.

მუშაობა ადიაბატური შეკუმშვის დროს მეტად ადვილად განისაზღვრება $i-s$ დიაგრამით. ამის განმარტებისათვის ვაიხსენოთ, რომ ადიაბატური პროცესის დროს მუშაობა შეკუმშვისათვის გამოთვლება ფორმულით:

$$\frac{1}{A} (u_2 - u_1) .$$

ამ გამოსახულების ჩასმით კომპრესორის მუშაობისათვის მიღებულ განტოლებაში, მივიღებთ

$$l = p_2 s_2 + \frac{1}{A} (u_2 - u_1) - p_1 s_1,$$

საიდანაც

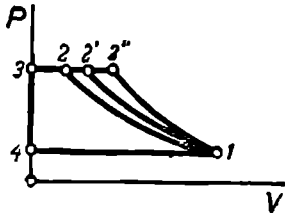
$$Al = Ap_2 s_2 + (u_2 - u_1) - Ap_1 s_1 = (u_2 + Ap_2 s_2) - (u_1 + Ap_1 s_1).$$

მაგრამ ვიცით, რომ

$$i_1 = u_1 + Ap_1 s_1 \quad \text{და} \quad i_2 = u_2 + Ap_2 s_2,$$

ამიტომ

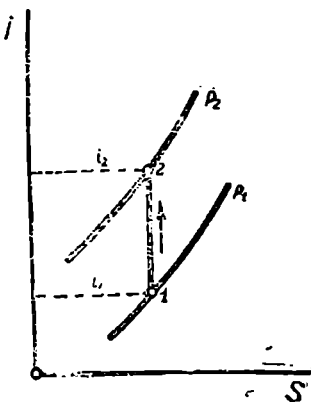
$$l = \frac{i_2 - i_1}{A} = 427 (i_2 - i_1) .$$



ნაკ. 1-51.

მიღებული გამოსახულება მართებულია როგორც იდეალური, ასევე რეალური აირისათვის.

სითბოშემცველობა, როგორც უკვე ვიცით, აირის პარამეტრს წარმოადგენს, რის გამოც ჩვენ საშუალება გვაქვს ავაგოთ ის დიაგრამა, რომელიც თერმოდინამიკური პროცესების განვარაგებებს მნიშვნელოვნად ამარტივებს; ეს უკანასკნელი კი იმით აიხსნება,

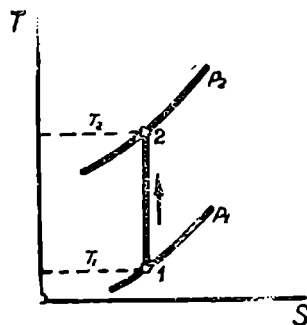


ნაკ. 1-52.

რომ ადიაბატური შეკუმშვით მომუშავე კომპრესორის მუშაობის აბსოლუტური მნიშვნელობა საბოლოო და საწყისი მდგომარეობების სითბოშემცველობათა სხვაობით მიიღება. ის დიაგრამაზე სითბოშემცველობათა მნიშვნელობები გადაზომილია ორდინატთა ლერძზე, ხოლო ენტროპიისა კი აბსცისთა ლერძზე.

აირის საწყისი მდგომარეობის გამოსახველი წერტილი ის დიაგრამაზე განისაზღვრება საწყისი p_1 წნევის იზობარისა და i_1 ტემპერატურის იზოთერმის თანაკვეთით (ნაკ. 1-52); ამ წერტილიდან ორდინატთა ლერძზე პერპენდიკულარის დაშვებით, გადაკვეთის წერტილში, პირველი მდგომარეობის სითბოშემცველობის მნიშვნელობას მივიღებთ. რადგან ადიაბატური შეკუმშვის დროს $ds=0$, ამიტომ აღებულ დიაგ-

რაშივე ამ პროცესის გამომსახველი იქნება ორდინატთა ლერძის პარალელური სწორი ხაზი. ამგვარად, საბოლოო მდგომარეობის გამომსახველი წერტილის მისაღებად საჭიროა 1 წერტილიდან ვავატაროთ 1-2 სწორი ხაზი, რომელიც p_2 იზობარის გადაკვეთის ადგილში საძიებელ 2 წერტილს მოგვცემს. ცხადია, ამავე წერტილზე გამავალი იზოთერმის ხაზი საბოლოო მდგომარეობას ტემპერატურის მნიშვნელობას მოგვცემს. საბოლოო მდგომარეობის სითბოშემცველობის მნიშვნელობას მივიღებთ იმავე გზით, როგორც საწყისი მდგომარეობისათვის, ხოლო მათი სხვაობა მოგვცემს იდეალური კომპრესორის მუშაობის აბსოლუტურ მნიშვნელობას (კვალ-ით) ადიაბატური შეკუმშვის დროს.



ნაკ. 1-53.

იდეალური კომპრესორის მუშაობის აბსოლუტური მნიშვნელობა აკრთვე შეგვიძლია განვსაზღვროთ TS დიაგრამით, რომელზედაც გატარებულია სხვადასხვა წნევის მრუდები, ე. ი. იზობარები. ამ შემთხვევაშიაც ადიაბატური შეკუმშვის პროცესი გამოისახება 1-2 სწორი ხაზით (ნაკ. 1-53) და ანალოგიურად ის დიაგრამისა მოიძებნება 1 და 2 წერტილები, რის საშუალებითაც განვსაზღვრავთ შეკუმშვის ბოლოში მიღებულ ტემპერატურას. მუშაობა კი განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებით

$$Al = i_2 - i_1 = c_{pm} T_2 - c_{pm} T_1.$$

ყოველივე ზემოთქმულის საფუძველზე შეგვიძლია ვთქვათ, რომ როდესაც შეკუმშვის ხარისხი საკმარისად დიდია, მაშინ ჰაერის ტემპერატურა მტკიცებულად იზრდება. ეს კი ცილინდრის გაცივებას მტკიცად აართულებს, განსაკუთრებით დიდი ცილინდრების შემთხვევაში, და მისი შეზღუდვის პირობებს აუარესებს. დიდი წნევების დროს შესაძლებელია ჰაერის ტემპერატურა იმდენად გაიზარდოს, რომ მეტი იყოს საცხები ნივთიერების აალების ტემპერატურაზე და მისი აუთოქემა მოახდინოს. ამის თავიდან აცილება შეიძლება ორ- და სამსაფეხურიანი კომპრესორების გამოყენებით, რომლებშიც ცალკეულ საფეხურებს შორის ხდება ჰაერის გაცივება. ამ დროს მიიღება შეზღუდვის უფრო ხელსაყრელი პირობები და კომპრესორის უფრო ეკონომიური მუშაობა.

მრავალსაფეხურიან კომპრესორში ერთი ცილინდრიდან მეორე ცილინდრში ჰაერის გადასვლის დროს, მას გაცივების მიზნით სპეციალურ გამაცივებელში ატარებენ, რომლის დროსაც მისი ტემპერატურა საწყის ტემპერატურამდე ეცემა, ე. ი. ჰაერი მეორე ცილინდრში იმავე ტემპერატურით შევა, რომლითაც იგი პირველ ცილინდრში შევიდა. რაც შეეხება შეკუმშვას, უნდა ითქვას, რომ მას წაყენებული აქვს შეკუმშვაზე მინიმუმი მუშაობის დახარჯვის პირობა, რაც სპეციალურ სახელმძღვანელოებში მოყვანილის საფუძველზე შეგვიძლია ვთქვათ, რომ მაშინ არის დატული, როდესაც წნევათა ფარდობა ყოველ საფეხურზე ერთი და იგივე იქნება.

მაგალითისათვის განვიხილოთ ინდიკატორულ თეორიულ დიაგრამაზე ორსაფეხურიანი კომპრესორის მუშაობის პრინციპი, რომლის ანალოგიურია უფრო მტკიცებულებიანი კომპრესორის მუშაობის პრინციპი. ნაკ. 1—54-ზე გამოსახულია ორსაფეხურიანი კომპრესორის დიაგრამა, სადაც $O-1$ გამოსახავს შეწოვას, $1-2$ პირველ საფეხურში შეკუმშვას, $2-3$ ჰაერის გაგლას გამაცივებელში და p_2 მუდმივი წნევის დროს t_1 ტემპერატურამდე მის გაცივებას, $3-4$ ჰაერის შეკუმშვას მეორე საფეხურში და $4-A$ ჰაერის განდენას გამაცივებელში და რესივრში.

დავუშვათ, რომ ჰაერის შეკუმშვა ყოველ საფეხურში აღინაშნავდეს წარმოებს და აღნიშნოთ ყოველი საფეხურის წნევათა ფარდობა x -ით, ე. ი.

$$x = \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_4}{p_3}$$

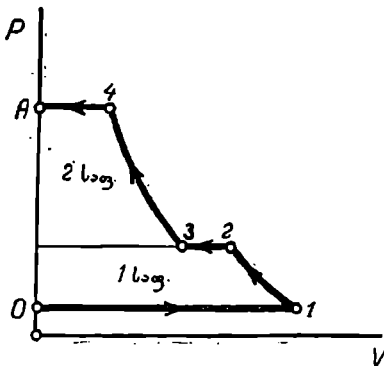
რადგან მივიღეთ, რომ წნევათა ფარდობა ყოველ საფეხურზე ერთი და იგივეა შეიძლება დაიწეროს

$$x = \frac{p_2}{p_1} \quad \text{და} \quad x = \frac{p_4}{p_3}$$

აქედან კი

$$x^2 = \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{p_4}{p_3}$$

ვინიდან $p_2 = p_3$, ამიტომ $x^2 = \frac{p_4}{p_1}$ და $x = \sqrt{\frac{p_4}{p_1}}$



ნაკ. 1—54.

ანალოგიურად, სამსაფეხურიანი კომპრესორისათვის შეგვიძლია დავამტკიცოთ, რომ

$$x = \sqrt[3]{\frac{p_3}{p_1}}$$

მაშასადამე, ორივე შემთხვევაში ფესვის მაჩვენებელი საფეხურების რიცხვის ტოლი ყოფილა და შეგვიძლია ზოგადად დავწეროთ, რომ

$$x = \sqrt[n]{\frac{p_{3n}}{p_1}}$$

სადაც n არის საფეხურების რაოდენობა,

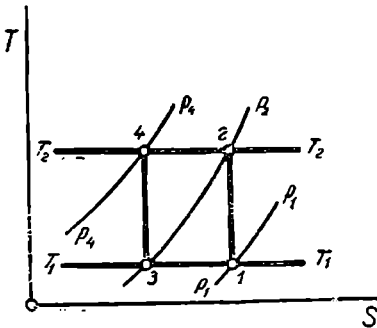
p_1 —პირველ საფეხურში შემავალი ჰაერის წნევა,

p_{3n} —უკანასკნელი საფეხურიდან გამომავალი ჰაერის წნევა.

განვიხილოთ აღებული შემთხვევისათვის ყოველ საფეხურში შეკუმშვის გამომსახველი მრუდის განტოლებები:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \quad \text{და} \quad \frac{p_3}{p_2} = \left(\frac{T_3}{T_2}\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

და რადგან წნევათა ფარდობები ერთიმეორის ტოლია, ამიტომ $\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$. ვიცით, რომ $T_1 = T_2$, რის კამო მივიღებთ $T_3 = T_4$, ე. ი. ყოველი საფეხურიდან გამომავალი ჰაერის ტემპერატურებიც ერთიმეორის ტოლი ყოფილა. აქედან კი შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ როგორც ჰაერის შეკუმშვის დასაწყისის გამომსახველი ყველა საფეხურის წერტილები ერთ $T_1 = T_2$ იზოთერმაზე მდებარეობენ, ისე ჰაერის შეკუმშვის დასასრულის გამომსახველი ყველა საფეხურის წერტილებიც ერთ $T_3 = T_4$ იზოთერმაზე მდებარეობენ.



ნაკ. 1-55.

TS დიაგრამაზე ორცილინდრიანი კომპრესორის სქემა გამოსახულია ნაკ. 1-55-ზე, რომელიც განსაკუთრებულ ახსნა-განმარტებას არ მოითხოვს. როგორც ვთქვით, ყოველი საფეხურის სა-

ბოლო და დასაწყისი წერტილები იზოთერმებზე მდებარეობენ, გაცივების პროცესები კი იზობარებით არის გამოსახული. თითოეული საბოლოო წერტილის მოძებნა ხორციელდება ადიაბატური პროცესის გამომსახველი სწორი ხაზების საშუალებით, რომლებიც იზობარებისა და იზოთერმების თანაკვეთის წერტილებიდან არიან აგებული.

თ ა ზ ი 1-9

წალის ორთქლი

1-58. წალის ორთქლი და მისი ვიღება. დღლილი და ორთქლადქცევა, pv დიაგრამა წალის ორთქლისათვის

ორთქლის ძრავებში და ზოგიერთ თბოგადამცემ აპარატებში მუშა სხეულად გამოყენებული წყლის ორთქლი, განსხვავებით აირის ძრავებში გამოყენებული მუშა სხეულისაგან, სახელდობრ, აირისაგან, არამდგრად სხეულს წარმოადგენს. აირის ძრავებში

გამოყენებული აიროს ჩვეულებრივი ტემპერატურა მის კრიტიკულ ტემპერატურაზე გაცილებით მეტია, რის გამოც იგი მდგრად სხეულს წარმოადგენს. წყლის ორთქლის პარამეტრების მცირე შეცვლასაც კი შეუძლია გამოიწვიოს მისი ფიზიკური მდგომარეობის ცვლილება, რის გამოც იგი არამდგრადი სხეულია.

ამიტომ წყლის ორთქლის პროცესთა გამოკვლევა აიროს პროცესთა გამოკვლევისაგან მნიშვნელოვნად განსხვავდება. მაგრამ წყლის ორთქლის პროცესთა გამოკვლევის ზემოთხევეაშიც, ანალოგიურად აიროს პროცესებისა, ჩვენს ამოცანას შეადგენს სითბური ენერჯის მექანიკურ ენერჯად გარდაქმნის პროცესის შესწავლა. აღნიშნული ამოცანის გადაწყვეტის დროს უნდა გვახსოვდეს, რომ თერმოდინამიკის როგორც პირველი, ისე მეორე კანონიც შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, აგრეთვე, წყლის ორთქლისათვისაც, რადგან აღნიშნული ორივე კანონი ენერჯის გარდაქმნის ზოგად კანონებს გამოსახავენ, ხოლო აიროს დამახასიათებელი ვანტოლების გამოყენება წყლის ორთქლისათვის არ შეიძლება, ამიტომ ამ უქანასკნელს ვიზილაეთ როგორც რეალურ აირს.

წყლის ორთქლის მიღების პროცესი ტექნიკაში განხორციელებულია ორთქლის ქებაებში, რომლებიც ორთქლის მოთხოვნილი პარამეტრებისა და რაოდენობის მიხედვით, როგორც კონსტრუქციის, ისე სიდიდის მიხედვით ერთიმეორისაგან მეტად განსხვავდებიან. მაგრამ მიუხედავად ამისა, წყლის ორთქლის მიღება ხდება ყოველთვის მუდმივი წნევის დროს.

წყლის ორთქლის თვისებების შესწავლას ჩვენ დავიწყებთ მისი მიღების პროცესის განხილვიდან. ნივთიერების თხევადი მდგომარეობიდან აიროვან მდგომარეობაში გადასვლის პროცესს ო რ თ ქ ლ ა დ ქ ე ვ ა ეწოდება.

სითხის მოლეკულები, ანალოგიურად აიროს მოლეკულებსა, ქაოსურ სითბურ მოძრაობაში იმყოფებიან. მათზე შევიძულობის ძალები შოქმდებენ. ამასთან, სითხის ცალკეულ მოლეკულებს სხვადასხვა სიჩქარე აქვს, რის გამოც სითხეში არსებობს მოლეკულები, რომელთა კინეტიკური ენერჯია საშუალოზე ნაკლებია და, აგრეთვე, ისეთებიც, რომელთა კინეტიკური ენერჯია საშუალოზე მეტია.

თუ სითხის ზემოთ თავისუფალი სივრცე გვაქვს, მაშინ ისეთი მოლეკულები, რომელთა კინეტიკური ენერჯია საშუალოზე მეტია და საკმარისია მიზიდულობის ძალების დასაძლევად, გადალახავს ზედაპირულ დაჭიმულობას, სითხეს მოცილდება და ორთქლს შექმნის. ამ მოვლენას ა ო რ თ ქ ლ ე ბ ა ეწოდება. ამ პროცესთან ერთდროულად კონდენსაციის პროცესიც ხდება. ორთქლის ზოგიერთი მოლეკული, რომელიც სითხის მახლობლად იმყოფება, ეჯახება რა სითხის ზედაპირს, თხევად მდგომარეობაში გადადის. აღნიშნული აორთქლებისა და კონდენსაციის პროცესები ყოველი ტემპერატურის დროს მიმდინარეობენ.

აორთქლების გარდა ორთქლადქცევის პროცესი შეიძლება, აგრეთვე, დუღილის საშუალებითაც მოხდეს. სითხის გათბობით მისი ნაწილაკების კინეტიკურ ენერჯიას ეზრდით და, ამის გარდა, ვცვლით მის შიგა ენერჯიას, მოლეკულთა შორის ურთიერთქმედების შეცვლით. აღნიშნული პროცესის შედეგად ძლიერდება აორთქლება და იზრდება სითხის ტემპერატურა; ბოლოს გარკვეულ ტემპერატურაზე დაიწყება სითხის დუღილი: ამ დროს ორთქლადქცევა ხდება არა მარტო სითხის ზედაპირიდან, არამედ სითხის შიგნიდან ან კედლებთან მყოფი ჰაერის ან ორთქლის ყოველ მცირე ბუშტულაში; ტემპერატურის აწევის შედეგად ამ მცირე ბუშტულებში ორთქლის წნევა თანდათან მატულობს და ბოლოს, რადეცაც ბუშტულებში მყოფი ორთქლის წნევა გარეგანი წნევის ტოლი გახდება, ანდა, უფრო სწორად, მცირედ გადააჯარბებს მას, მაშინ ბუშტულები

შედლებენ სითხის ზედაპირზე ამოსვლას. ტემპერატურას, რომლის დროსაც სითხის დუღილი იწყება, დუღილის ტემპერატურა ეწოდება.

აღსანიშნავია, რომ დუღილისათვის საჭიროა სითხეში იყოს ჰაერის მცირე ბუშტულები, რომლებიც აორთქლების ცენტრების როლს ასრულებენ. თუ ასეთი ცენტრები სითხეში მეტად მცირე რაოდენობითაა, შეიძლება დუღილი არ დაიწყოს გარე წნევის სათანადო ტემპერატურაზე; სითხის ტემპერატურა ამ შემთხვევაში დუღილის ტემპერატურაზე მეტი გახდება, ორთქლადქცევის პროცესი არ დაიწყება და მივიღებთ სითხის გადახურებას.

განვიხილოთ წყლის ორთქლის წარმოქმნის პროცესი და შესაბამისად მისი მდგომარეობის ცვლილება *p* დიაგრამის საშუალებით.

დავუშვათ, რომ მოძრავდგუშინან ცილინდრში მოთავსებულია 1 კგ წყალი, რომლის ტემპერატურაა 0°C, ხოლო ხვედრითი მოცულობა *v*'₀. ამასთან ერთად მივიღოთ, რომ დგუშზე მოქმედებს მუდმივი, რომელიღაც *p* წნევა. წყლის აღებული მდგომარეობა *p* დიაგრამაზე, ვთქვათ, *a* წერტილით გამოისახა (ნაქ. 1—56).

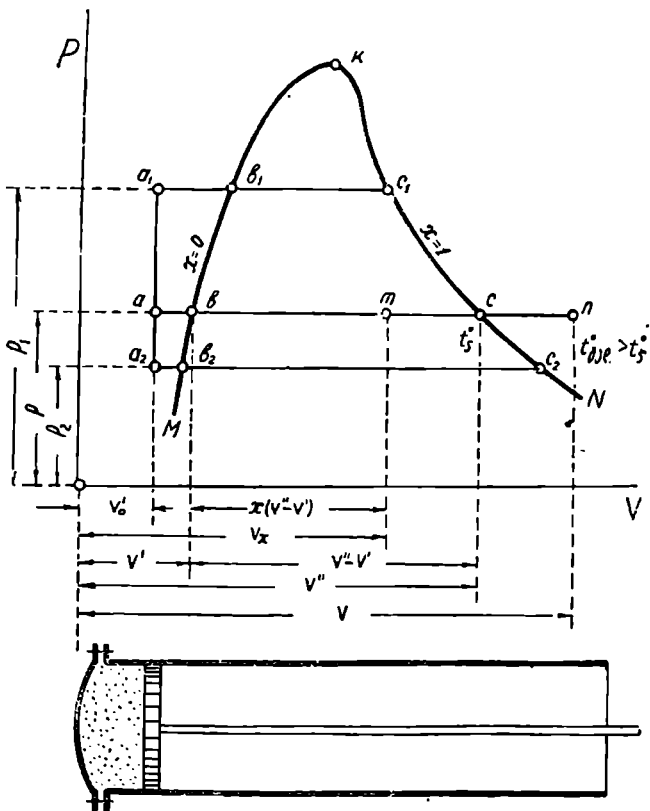
მუდმივი წნევის შენარჩუნებით, თუ ცილინდრში მოთავსებულ წყალს დავუწყებთ სითბოს მიწოდებას, მაშინ მისი ტემპერატურა დაიწყებს ზრდას და ტემპერატურის აღნიშნული ცვლილება გაგრძელდება იმ დრომდე, სანამ იგი *p* წნევის შესაბამისი დუღილის *t*₁ ტემპერატურას არ მიაღწევს. გარდა აღნიშნულისა, სითბოს მიწოდების დროს ხდება აგრეთვე სითხის ხვედრითი მოცულობის შედარებით უმნიშვნელო გადიდება (სიმარტივისათვის მხედველობაში არ ვღებულობთ იმას, რომ 40°C ტემპერატურის დროს წყალს უდიდესი სიმკვრივე აქვს). აღუღებული წყლის ხვედრითი მოცულობა *v*'-ით აღვნიშნოთ. წყლის ამ მდგომარეობას დიაგრამაზე შეესაბამისება *b* წერტილი, რომელიც იმავე იზობარაზე მდებარეობს, რომელზედაც *a* წერტილი, რადგან, როგორც დავაპირობეთ, გათბობის პროცესი მუდმივი წნევის დროს მიმდინარეობს. ამგვარად, წყლის გათბობის პროცესი 0°C ტემპერატურიდან *t*₁ დუღილის ტემპერატურამდე სწორი ხაზის *ab* მონაკვეთით გამოისახება.

მუდმივი წნევის დროს სითბოს შემდგომი მიწოდებით წყალი დულს და ორთქლად ქცევა წარმოებს. ამ დროს წყლის წონითი რაოდენობა მცირდება და ორთქლისა მატულობს, ხოლო რაც შეეხება საერთო მოცულობას, იგი მეტისმეტად იზრდება. ეს პროცესი მიმდინარეობს, სანამ წყლის უკანასკნელი წვეთი არ აორთქლდება. ცდები გვიჩვენებენ, რომ ორთქლადქცევის მთელი პროცესის დროს, აღუღებული წყლის *t*₁ ტემპერატურა, რომელიც მისგან გამოყოფილი ორთქლის ტემპერატურის ტოლია, მუდმივი რჩება, სანამ წყალი მთლიანად ორთქლად არ გარდაიქმნება. წყლის ორთქლის აღნიშნულ მდგომარეობას, რომლის ხვედრითი მოცულობა *v*''-ით აღვნიშნავთ, დიაგრამაზე *c* წერტილი შეესაბამება. ამგვარად, ორთქლადქცევის პროცესი სწორი ხაზის *bc* მონაკვეთით გამოისახება.

b და *c* წერტილებს შორის აღებული ყოველი წერტილი, მაგალითად, *m* წერტილი, წყლისა და ორთქლის ნარევის გამოსახავს. ნარევის მიერ დაკავებულ გარკვეულ მოცულობას ორთქლის საწვებით განსაზღვრული წონითი რაოდენობა შეესაბამება. თუ აღებულ შემთხვევაში მუდმივი ტემპერატურის დროს მოცულობას შევამცირებთ, მაშინ წნე-

ვა არ გაიზრდება და ორთქლის ნაწილი წყალად გარდაიქმნება, ხოლო თუ მოცულობას გაეზრდით, მაშინ წნევა არ შემცირდება და წყლის ნაწილი ორთქლად იქცევა.

ეს გარემოება აღნიშნავს იმას, რომ ორთქლი გააჯერებს იმ სივრცეს, რომელშიც იგი იმყოფება, რის გამოც *b* და *c* წერტილებს შორის აღებული მდგომარეობის შესაბამის ორთქლს ნაჯერი ეწოდება. ამასთან, *b* წერტილს შეესაბამისება აღებული წყალი, ხოლო *b* და *c* წერტილებს შორის შუალედური მდგომარეობების შესაბამის ორთქლს, რომელიც წყლის წვეთებისა და სუფთა ორთქლის ნარევის წარმოადგენს,



ნაკ. 1—56.

ტენიანი ნაჯერი ორთქლი ანუ უბრალოდ ტენიანი ორთქლი ეწოდება. *c* წერტილი კი გამოსახავს წყლის ორთქლის იმ მდგომარეობას, რომლის დროსაც ორთქლი წყლის წვეთებს არ შეიცავს, რის გამოც *c* წერტილით გამოსახული მდგომარეობის წყლის ორთქლს მშრალი ნაჯერი ორთქლი ეწოდება.

როგორც უკვე ვთქვით, სანამ მივიღებდით მშრალ ნაჯერ ორთქლს, გვეჩვენა *b* და *c*-ს შორის წერტილებით გამოსახული წყლის ორთქლის მდგომარეობა, რომელიც

წყლისა და ორთქლის ნარევეს წარმოადგენდა. აღებულ ნარევეში ორთქლისა და წყლის წონითი შედგენილობის მიხედვით სხვადასხვა ტენიანობის ნაჯერი ორთქლი გვექნება. ამ მდგომარეობის ორთქლი მასში შემავალი მშრალი ნაჯერი ორთქლის წონითი რაოდენობით ხასიათდება

ასე, მაგალითად, თუ ნაქ. 1—56-ზე აღებული m წერტილით გამოსახული მდგომარეობის 1 კგ ტენიან ორთქლში x კგ მშრალი ნაჯერი ორთქლი შედის, მაშინ x -ს ეწოდება ორთქლის სიმშრალის ხარისხი ან ორთქლშემცველობა, ხოლო $(1-x)$ სიდიდეს, რომელიც ვვიჩვენებს, თუ წყლის რა ნაწილი შედის ტენიან ორთქლში—სინოტივის ხარისხი ან ტენშემცველობა. ამგვარად, თუ გვეცოდინება x სიდიდე, ყოველთვის იქნება შესაძლებელი იმის განსაზღვრა, თუ რა რაოდენობის მშრალი ნაჯერი ორთქლი და რა რაოდენობის წყალი შედის მოცემულ ტენიან ორთქლში.

ზემოთ აგრეთვე აღნიშნული გვექნება, რომ ორთქლადქცევის მთელი პროცესის დროს ტემპერატურა უცვლელია და ადუღებული წყლის ტემპერატურის ტოლია, რის გამოც ამ t_s ტემპერატურას დუღილის ტემპერატურა ან გაჯერების ტემპერატურა ეწოდება. ცდებით დადგენილია, რომ აღნიშნული ტემპერატურა დამოკიდებულია წნევაზე და ყოველ წნევას წყლის დუღილის და, მაშასადამე, გაჯერების საესებით განსაზღვრული ტემპერატურა შეესაბამება. ამგვარად,

$$t_s = \varphi(p). \quad (a)$$

არსებობს მოყვანილი (ა) სახის სხვადასხვა ემპირიული ფორმულები, რომელთა საშუალებით შესაძლებელია განესაზღვროთ ერთ-ერთი სიდიდე, თუ ვიცით მეორე. მაგრამ, რადგან პრაქტიკული გაანგარიშებების დროს მათ არ ვიყენებთ (ცხარეგელობთ ცხრილებით), ამიტომც ეს უკანასკნელი აქ არ მოგვეყვას.

ამგვარად, ზემოთქმულის თანახმად ტემპერატურა, დაწყებული წყლის დუღილიდან მშრალი ნაჯერი ორთქლის მიღებამდე წნევის ფუნქციაა და მთელი პროცესის განმავლობაში მუდმივია. მაგრამ, თუ მუდმივი წნევის დროს მშრალი ნაჯერი ორთქლის შემდგომ გათბობას განვაგრძობთ, მაშინ მისი ტემპერატურა ზრდას დაიწყებს. ამ შემთხვევაში ორთქლი დაკავებულ სივრცეს არ გააჯერებს, რის გამოც ასეთ ორთქლს გადახურებულ ორთქლი ეწოდება.

გადახურებული ორთქლი მშრალი ნაჯერი ორთქლისაგან იმით განსხვავდება, რომ მისგან მცირე რაოდენობის სითბოს არინება არ იწვევს ორთქლის კონდენსაციას, როგორც ამას ადვილი აქვს მშრალი ნაჯერი ორთქლის შემთხვევაში, არამედ ასეთი სითბოს არინება მხოლოდ მისი ტემპერატურის დაწვევას იწვევს. ამ მხრივ გადახურებული ორთქლი ემსგავსება აირებს და რაც უფრო მალაღია მისი ტემპერატურა, მით უფრო უახლოვდება იგი თავისი თვისებებით იდეალურ აირს.

მაშასადამე, გადახურებული ორთქლი ხასიათდება იმით, რომ იგი წარმოადგენს ორთქლს, რომლის ტემპერატურა იმავე წნევის ნაჯერი ორთქლის (ან წყლის დუღილის) ტემპერატურაზე მეტია, ე. ი. $t_{\text{გაჯ}} > t_s$. აღსანიშნავია ის გარემოებაც, რომ ტემპერატურასთან ერთად გადახურებული ორთქლის მიღებისას იზრდება აგრეთვე მისი ხედრითი მოცულობაც და გადახურების პროცესი აბსცისთა ლერძის პარალელური სწორი ხაზის mn მონაკვეთით გამოისახება, რადგან სითბოს მიწოდებას მუდმივი წნევის დროს ვაწარმოებდით.

მაშასადამე, გადახურებული ორთქლის ხედრითი მოცულობა, რომელიც ნაქ. 1—56-ზე აღნიშნულია u -ით, მშრალი ნაჯერი ორთქლის ხედრითი მოცულობაზე მეტია, ე. ი. $u > u'$. აქედან კი გამომდინარეობს, რომ აღებული წნევის დროს თუ ორთქლის

ტემპერატურა ან ხვედრითი მოცულობა მშრალი ნაჯერისაზე მეტია, მაშინ იგი გადახურებული ორთქლი იქნება. ხოლო თუ იმავე წნევის დროს ორთქლის ხვედრითი მოცულობა მშრალი ნაჯერისაზე ნაკლები, მაგრამ წყლისაზე მეტია, მაშინ ტენიანი ნაჯერი ორთქლი გვექნება და, ბოლოს, თუ ორთქლის ტემპერატურა გაჯერების ტემპერატურაზე ნაკლები იქნება, მაშინ წყალი გვექნება.

მაშასადამე, აბსცისთა ღერძის პარალელური სწორი ხაზის ax მონაკვეთი გამოსახავს p წნევის შესაბამის ორთქლის წარმოქმნის მთელ პროცესს, დაწყებული 0°C ტემპერატურიანი წყლის ზღვომარეობიდან მოცემული ტემპერატურის გადახურებული ორთქლის მიღებამდე.

ახლა, თუ ორთქლადქცევის პროცესს გავიმეორებთ სხვა რომელიმე p_1 წნევისათვის, რომელიც p წნევაზე მეტია, ე. ი. $p_1 > p$, მაშინ ორთქლის მიღების პროცესი ნაკ. 1-56-ზე შესაბამისად გამოისახება სწორი ხაზის a_1c_1 მონაკვეთით, რომელიც პირველ ხაზზე უფრო მაღლა იქნება მოთავსებული. a_1 წერტილი მოთავსდება ორდინატთა ღერძის პარალელურ a -ზევე სწორ ხაზზე, რაზედაც a წერტილი, რადგან წყალს უკუმშვადლ ვთვლით და ამის გაცო წნევის სიდიდის მიუხედავად ხვედრითი მოცულობა 0°C დროს ერთი და იგივე იქნება. წერტილი b_1 , რომელიც დუღილის დასაწყისს გამოსახავს, ორდინატთა ღერძიდან უფრო მეტად იქნება დაილებული, ვიდრე b წერტილი, რადგან ამ შემთხვევაში დუღილის ტემპერატურა პირველისაზე უფრო მეტია იმის გამო, რომ $p_1 > p$ და, მაშასადამე, წყლის ხვედრითი მოცულობაც მეტი იქნება. და, ბოლოს, c_1 წერტილი, რომელიც მშრალი ნაჯერი ორთქლის ზღვომარეობას გამოსახავს p_1 წნევის დროს, c წერტილის მარცხნივ მოთავსდება, რადგან მშრალი ნაჯერი ორთქლი ამ შემთხვევაში უფრო მეტი წნევის ქვეშ იმყოფება და, მაშასადამე, მოცულობა უფრო ნაკლები ექნება.

თუ ორთქლადქცევის პროცესს უფრო ნაკლები წნევის დროს გავიმეორებთ, ვიდრე პირველი ცდის ჩატარების დროს გვექონდა, სახელდობრ p_2 წნევით ($p_2 < p$), მაშინ წყლის ორთქლის წარმოქმნის პროცესისათვის დიაგრამაზე შესაბამისად შეივლებთ სწორი ხაზის a_2c_2 მონაკვეთს.

სხვადასხვა წნევისათვის ასეთი ცდების ჩატარებით და დიაგრამაზე მათი შესაბამისი გამოსახვით მივიღებთ მთელ რიგ წერტილებს, რომელთა შეერთება სამ ხაზს მოგვცემს. ერთი იქნება ორდინატთა ღერძის პარალელური სწორი ხაზი, რომელიც წნევის ცვლილების მიხედვით 0°C ტემპერატურის დროს წყლის ხვედრითი მოცულობის ცვლილებას გამოსახავს, მეორე— MK ადუღებული წყლის ხვედრითი მოცულობის ცვლილებას და მესამე NK მშრალი ნაჯერი ორთქლის ხვედრითი მოცულობის ცვლილებას. აღსანიშნავია, რომ a, a_2 , იზოქორა, რადგან იგი გამოსახავს წყლის ზღვომარეობის ცვლილებას მუდმივი ტემპერატურის დროს, სახელდობრ, 0°C ტემპერატურის დროს, აგრეთვე იზოთერმას წარმოადგენს. MK და NK მრუდებს შორის სწორი ხაზის b_1c_1 , b_2c_2 და b, c მონაკვეთები კი, რომლებიც იზობარებია, აგრეთვე იზოთერმებსაც გამოსახავენ, რადგან როგორც უკვე ვთქვით, ეს უკანასკნელნი გამოსახავენ ორთქლადქცევის პროცესებს, რომლებიც მუდმივი ტემპერატურის დროს მიმდინარეობენ.

როგორც ნაკ. 1-56-დან ჩანს, წნევის ამოღებისთან ერთად b და c წერტილები ერთმანეთს უახლოვდებიან და საკმარისად მაღალი წნევის დროს MK და NK მრუდები გადაიკვეთებიან. გადაკვეთის წერტილს კრიტიკული ეწოდება. ამ წერტილს შესაბამისება წყლის ორთქლის ზღვომარეობა, რომლის პარამეტრებს კრიტიკული მდგომარეობის პარამეტრები ეწოდებათ. წყლის ორთქლისათვის ეს პარამეტრებია:

$$p_{კ} = 225,5; \quad t_{კ} = 374,2^{\circ}\text{C} \quad \text{და} \quad v' = v'' = v_{კ} = 0,0031 \text{ მ}^3/\text{კგ.}$$

MKN მრუდი დიაგრამას სამ ნაწილად ჰყოფს. მის შიგნით მოთავსებული ნაწილი შესაბამისად წყლისა და მშრალი ნაჯერი ორთქლის ნარევის, ე. ი. ტენიან ნაჯერ

თილ ორთქლს. MK მრუდის მარცხნივ მოთავსებული არე წყლის არეს წარმოადგენს, ხოლო NK მრუდის მარჯვნივ არე კი გადახურებული ორთქლის არეს. ამგვარად, ეს მრუდები ps კოორდინატთა სისტემის სიბრტყეში სახლერავენ წყლის ორთქლის სხვადასხვა მდგომარეობას, რის გამო მათ ზღვრული მრუდები ეწოდება, ამასთან MK მრუდს ეწოდება ქვედა ზღვრული მრუდი, ხოლო NK მრუდს — ზედა ზღვრული მრუდი. ცხადია, რომ ქვედა ზღვრული მრუდის წერტილებით გამოსახული წყლის მდგომარეობისათვის $x = 0$, ხოლო ზედა ზღვრული მრუდით გამოსახული მშრალი ნაჯერი ორთქლის მდგომარეობისათვის კი $x = 1$.

1—59. წყლისა და მშრალი ნაჯერი ორთქლის პარამეტრები. სითბოს სითბო, ორთქლადქცევის ფარული სითბო. მშრალი ნაჯერი ორთქლის სრული სითბო და შიგა მენარბი

წყლის პარამეტრები. წნევის ცვლილება ერთი და იგივე საკმარისად დაბალი ტემპერატურის დროს მეტად უმნიშვნელო გავლენას ახდენს წყლის ხვედრით მოცულობაზე, რას გამო $0^{\circ}C$ ტემპერატურის დროს წყლის ხვედრითი მოცულობა, შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ ყველა წნევისათვის ერთი და იგივეა.

ტექნიკური გაანგარიშებების წარმოებისას ყოველი წნევისათვის წყლის ხვედრითი მოცულობა $0^{\circ}C$ ტემპერატურის დროს საკმარისი სიზუსტით შეგვიძლია მივიღოთ

$$v'_{0} = 0,001 \text{ მ}^3/\text{კგ} \quad \text{და} \quad \gamma'_{0} = 1000 \text{ კგ/მ}^3.$$

ტემპერატურის გადიდების დროს წყლის ხვედრითი მოცულობა იზრდება, თუმცა მცირე წნევების შემთხვევაში წყლის ხვედრითი მოცულობის გადიდება მეტად უმნიშვნელოა. ამის გამო მცირე წნევების ფარგლებში წყლის ხვედრითი მოცულობის მომატებას მხედველობაში არ იღებენ და თვლიან, რომ $v' = v'_{0} = 0,001 \text{ მ}^3/\text{კგ}$. მაგრამ საკმარისად დიდი წნევების შემთხვევაში ხვედრითი მოცულობის მომატება, ტემპერატურის გადიდებასთან დაკავშირებით, უკვე შესამჩნევი ხდება, რაშიაც დაერწმუნდებით, თუ დაუქვირდებით ნაქ. 1—56-ზე მოცემულ MK მრუდს, რომელიც წნევისა და შესაბამისი დუღილის ტემპერატურის ცვლილების მიხედვით წყლის ხვედრითი მოცულობის ცვლილებას გამოსახავს.

აღებული მრუდი თვალსაჩინოდ გვიჩვენებს, რომ იგი ზემოთ, მაღალი წნევის ფარგლებში (დაახლოებით 100 ატ-ზე ზემოთ), ორდინატთა ღერძიდან უფრო მეტად არის დაცილებული, ვიდრე ქვემოთ. ეს გარემოება იმით აიხსნება, რომ ტემპერატურის გადიდება იწვევს წყლის ხვედრითი მოცულობის უფრო მეტ მომატებას, ვიდრე წნევის ერთდროული ამაღლება მის შემცირებას; ასე, რომ, ხვედრით მოცულობაზე ტემპერატურის ზრდას გაცილებით მეტი გავლენა აქვს, ვიდრე წნევის ამაღლებას.

მაშასადამე, მაღალი წნევების ფარგლებში $v' \neq v'_{0}$ და წყლის ხვედრითი მოცულობების მნიშვნელობანი აღებული უნდა იქნენ წყლის ნეჯერი ორთქლის ცხრილებიდან, რომლებშიც v' -ის მნიშვნელობანი ექსპერიმენტულად არიან განსაზღვრული.

მოცემული წნევისა ან ტემპერატურისათვის წყლის ხვედრითი წონის მნიშვნელობანი განისაზღვრება დამოკიდებულებით

$$\gamma' = \frac{1}{v'},$$

სადაც v' -ის მნიშვნელობანი ცხრილების საშუალებით არის განსაზღვრული.

შევა ენერგია და სითბოშემცველობა $0^{\circ}C$ ტემპერატურისა და მისი შესაბამისი გაჯერების წნევისათვის ($\rho_{s,0} = 0,006228$ ატა) ნულის ტოლად არინ მიღებული, რადგან ამ მდგომარეობის წყლის აღნიშნული პარამეტრები ათვლის საწყისად არიან მიჩნეული; ე. ი.

$$u'_0 = 0 \quad \text{და} \quad v'_0 = 0. \quad (a)$$

სხვა ტემპერატურებისათვის სითბოშემცველობის მნიშვნელობანი მოყვანილია ცხრილებში. თუ ცხრილებს დაუვყვირდებით, დაინახავთ, რომ 100°C-მდე ტემპერატურებისათვის

$$i' = i_1, \quad (1-174)$$

რაც შეგვიძლია გამოვიყვანოთ თვით სითბოშემცველობის განსაზღვრიდანაც. ვიცით, რომ

$$i' = c_{pm}(t_c - 0) = i_1,$$

რადგან 100°C-მდე ტემპერატურებისათვის მიღებული გვაქვს, რომ $c_{pm} \approx 1$ კკალ/კგ°C.

ტემპერატურისა და წნევის საკმარისად დიდ ფარგლებში წყლის სითბოტევადობა მნიშვნელოვნად იცვლება, რის გამო ამ შემთხვევებისათვის აღწერილი წყლის სითბოშემცველობის მნიშვნელობანი ცხრილებიდან უნდა ავიღოთ.

ზოგადად 0°C ტემპერატურისაგან განსხვავებული ტემპერატურის წყლისათვის შიგა ენერგია განისაზღვრება ჩვენთვის უკვე ცნობილი ფორმულით

$$u' = i' - Apv' \quad (1-175)$$

100°C-ის ტემპერატურამდე შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ

$$u' = i' = i_1, \quad (1-176)$$

რადგან აღნიშნულ შემთხვევაში pv' მეტად მცირე სიდიდეა და პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის მას მნიშვნელობა არა აქვს.

შორალი ნაჯერი ორთქლის პარამეტრები. მშრალი ნაჯერი ორთქლის ტემპერატურა წყლის დუღილის ან, სხვანაირად რომ ვთქვათ, გაჯერებას t_2 ტემპერატურის ტოლია და, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, წნევის ფუნქციაა. მისი მნიშვნელობა შევვიძლია ავიღოთ ცხრილიდან p_2 წნევის შესაბამისად. თავის მხრით წნევა ტემპერატურის ფუნქციაა, ეს კი ცხრილიდან t_2 ტემპერატურის მიხედვით მისი მნიშვნელობის განსაზღვრის საშუალებას იძლევა.

მშრალი ნაჯერი ორთქლის ხვედრითი მოცულობა v' წნევის ფუნქციაა. ე. ი.

$$v' = F(p).$$

მკვლევარების მიერ ჩატარებული ცდები ხვედრითი მოცულობის განსაზღვრისათვის, დაკავშირებული იყო მნიშვნელოვან სიძველევებთან, იმის გამო, რომ აღებული სახის ორთქლი არამდგრად მდგომარეობაშია და გარემოსთან სითბოს უმნიშვნელო რაოდენობის ცვლის დროსაც კი გადადის ტენიანი ან გადახურებული ორთქლის მდგომარეობაში. ამის გამო მისი განსაზღვრა უმეტესად ხდება გაანგარიშების გზით, რაც ამოცანის გადაწყვეტას მნიშვნელოვნად ამარტივებს.

მშრალი ნაჯერი ორთქლის წნევისა და ხვედრითი მოცულობას შორის დამოკიდებულება პრაქტიკულად საკმარისი სიზუსტით გამოისახება ემპირიული ფორმულით

$$p^{15} v' = 1,7235, \quad (1-177)$$

სადაც p გამოსახულია ატა-ით და v' კი მ³/კგ. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ თბოტექნიკური გაანგარიშებების დროს ჩვენ ამ ფორმულით არ ვსარგებლობთ და წყლის მშრალი ნაჯერი ორთქლის ხვედრითი მოცულობის მნიშვნელობებს ცხრილებიდან ვიღებთ.

მშრალი ნაჯერი ორთქლის ხვედრითი წონის მნიშვნელობებს, რომლებიც შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს გამოსახულებით

$$v'' = \frac{1}{\rho''},$$

ვიღებთ იმავე ცხრილებიდან.

ანალოგიურად, სითბოშემცველობათა მნიშვნელობანი i' შეიძლება აღებულ იქნეს ცხრილებიდან, ხოლო შიგა ენერგია გამოითვალოს ფორმულით

$$u' = i' - Ap' \quad (1-178)$$

ხათხის ხათხო. სითბოს რაოდენობას, რომელიც საჭიროა 1 კგ წყლის გასათბობად 0°C ტემპერატურიდან შესაბამისი წნევის დუღილის ტემპერატურამდე სითხის სითბო ეწოდება და აღინიშნება q_p -ით. მის გასაანგარიშებლად შეგვიძლია ვისარგებლოთ ფორმულით

$$q_p = \int_0^{t_s} c_p dt = c_p (t_s - 0) = i_s \quad (1-179)$$

რადგან დაბალი ტემპერატურის ფარგლებში c_p შეგვიძლია მივიღოთ მუდმივ სიდიდედ და ერთის ტოლად. მაგრამ, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ეს მნიშვნელობა მიიხსობითია; წნევისა და ტემპერატურის საკმარისად დიდ ფარგლებში c_p სიდიდე იცვლება და (1-179) ფორმულა სითხის სითბოს განსაზღვრისათვის არ გამოიყენება. ამ შემთხვევაში საჭირო იქნება მხედველობაში მივიღოთ წნევისა და ტემპერატურის ცვლილება, რაც სითხის სითბოს განსაზღვრას გაანგარიშების გზით ართულებს. ამისათვის სითხის სითბოს საზღვრადენ სითბოშემცველობათა სხვაობით, სახელდობრ, ტოლობით:

$$q_p = i' - i'_0 \quad (1-180)$$

მაშასადამე, სითხის სითბოს განსაზღვრისათვის საკმარისი იქნება აღუღებული წყლის i' სითბოშემცველობისა და იმავე წნევის შესაბამისი, 0°C ტემპერატურის წყლის i'_0 სითბოშემცველობის ცხრილებიდან აღება და (1-180) ფორმულაში ჩასმა, რაც ამოცანას მნიშვნელოვნად ამარტივებს.

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ $i'_0 = 0$ და $i' = i_s$, მაშინ

$$q_p = i' = i_s.$$

ორთქლადქცევის ფარული სითბო. სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც საჭიროა დუღილის ტემპერატურამდე მიყვანილი წყლის იმავე წნევის მშრალ ნაჯერ ორთქლად გარდაქმნისათვის, ორთქლადქცევის ფარული სითბო ეწოდება და r ასოთი აღინიშნება. რადგან ორთქლადქცევა წარმოადგენს პროცესს, რომელიც მუდმივი წნევის დროს მიმდინარეობს, ამიტომ ორთქლადქცევის ფარული სითბო, სითხის სითბოს მსგავსად, შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$r = i'' - i' \quad (1-181)$$

სადაც i'' არის მშრალ ნაჯერი ორთქლის სითბოშემცველობა და i' —კი იმავე წნევისათვის აღებული ადუღებული წყლის სითბოშემცველობა. საჭიროა აქვე აღვნიშნოთ, რომ r სიდიდეს ზოგჯერ აგრეთვე ორთქლების სითბოს უწოდებენ. მისი მნიშვნელობები მოცემული ტემპერატურის ან წნევის მიხედვით ცხრილებიდან აიღება.

როდესაც ცნობილია ორთქლადქცევის ფარული სითბო და აღუღებული წყლის სითბოშემცველობა, მაშინ თანახმად (1-181) ფორმულით, გვექნება

$$i'' = i' + r \quad (1-182)$$

აღნიშნული r სითბოს მიწოდებით ადუღებული სითხის ტემპერატურა არ მატულობს, სითბოს ამ რაოდენობის მნიშვნელოვანი ნაწილი იხარჯება მოლეკულთა შორის მოქმედი შეკიდულობის ძალების გადასაღებად, ე. ი. ორთქლის შიგა ენერგიის ცვლილებაზე. სითბოს ამ ნაწილს ორთქლადქცევის შიგა სითბო ეწოდება და აღინიშნება p ასოთი.

სითბოს დანარჩენი, პირველთან შედარებით მცირე, ნაწილი კი v' -დან v'' -მდე გაფართოების მუშაობაზე იხარჯება და მას ეწოდება ორთქლადქცევის გარე სითბო. იგი ψ ასოთი აღინიშნება. ამგვარად, ორთქლადქცევის ფარული სითბო შეგვიძლია შემდეგნაირად გამოვსახოთ:

$$r = p + \psi. \quad (1-183)$$

ორთქლადქცევის გარე სითბო კი განისაზღვრება ტოლობით:

$$\psi = Al,$$

სადაც l არის ის მუშაობა, რომელიც შესრულდება ψ სითბოს მიწოდებით, v' -დან v'' -მდე ხვედრითი მოცულობის ცვლილების დროს. მუშაობა, როგორც ვიცით, განისაზღვრება გამოსახულებით

$$l = \int_{v'}^{v''} p dv,$$

მაგრამ, რადგან ორთქლადქცევის პროცესი მუდმივი წნევის დროს ხორციელდება, ამიტომ

$$l = p(v'' - v') \quad \text{და} \quad \psi = Ap(v'' - v').$$

(1-183) ტოლობაში მიღებული მნიშვნელობების ჩასმით, გვექნება

$$r = p + Ap(v'' - v'). \quad (1-184)$$

ორთქლადქცევის სრული სითბო r არის წნევის ფუნქცია; ამასთან წნევის გადიდებისას იგი მცირდება. ასე რომ, კრიტიკული წნევისა და ტემპერატურის დროს, ე. ი. როცა $p_c = 225,5$ და $t_c = 374,2$, იგი ნულის ტოლი ხდება.

მშრალი ნაჯერი ორთქლის სრული სითბო და შიგა ენერჯია. სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც საჭიროა 0°C ტემპერატურის მქონე ერთი კგ წყლიდან მუდმივი წნევის დროს მშრალი ნაჯერი ორთქლის მისაღებად, მშრალი ნაჯერი ორთქლის სრული სითბო ეწოდება. ცხადია, სითბოს ეს რაოდენობა ტოლი იქნება სითბოთა ჯამისა, რომლებიც მიეწოდება 0°C ტემპერატურის მქონე წყალს მისი ადლულებსათვის, ე. ი. q_p და ადლულებულ წყალს მისი მთლიანად ორთქლადქცევისათვის, ე. ი. r . ამგვარად, თუ მშრალი ნაჯერი ორთქლის სრულ სითბოს λ'' -ით აღვნიშნავთ, მაშინ

$$\lambda'' = q_p + r. \quad (1-185)$$

r სიდიდის მნიშვნელობის ჩასმით (1-185) ფორმულაში λ'' -სათვის მივიღებთ, რომ

$$\lambda'' = q_p + p + Ap(v'' - v'). \quad (1-186)$$

აქედან კი გამომდინარეობს, რომ 1 კგ მშრალი ნაჯერი ორთქლის მისაღებად საჭირო λ'' სითბოდან $Ap(v'' - v')$ ნაწილი იხარჯება გაფართოების მუშაობაზე, ხოლო დანარჩენი კი ორთქლის შიგა ენერჯიის გადიდებაზე. ასე, რომ

$$u'' = q_p + p. \quad (1-187)$$

ეს სიდიდე აგრეთვე შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს ფორმულით:

$$u'' = i'' - Apv'' \quad (1-188)$$

λ'' სითბოს რაოდენობა შეიძლება აგრეთვე სითბოშემცველობების საშუალებითაც განისაზღვროს, სახელდობრ,

$$\lambda'' = i'' - i'_0, \quad (1-189)$$

$$i'' = \lambda'' + i''_0 \approx \lambda''$$

დასასრულ აღვნიშნოთ, რომ სითხის სითბო q_p და ორთქლადქცევის ფარული სითბო r წნევის გადიდებისას იცვლება. ამასთან, q_p იზრდება და r კი მცირდება, რის გამო მშრალი ნაჯერი ორთქლის სრული სითბოს λ'' -ის ცვლილების ხასიათი q_p -ს ზრდისა და r -ის შემცირების ხასიათზეა დამოკიდებული.

1-60. ტენიანი ნაჯერი ორთქლის პარამეტრები, ხრული სითბო და შიზა მენიკაია

ტენიანი ნაჯერი ორთქლის პარამეტრები. დავუშვათ, რომ ტენიანი ნაჯერი ორთქლის მდგომარეობა ნაკ. 1-56-ზე ნაჩვენებ დიაგრამაზე გამოსახულია რომელიმე, მაგალითად, m წერტილით, რომელიც მოთავსებულია მოცემული p წნევის შესაბამის ხაზზე MK და NK მრუდებს შორის. რადგან ორთქლადქცევის მთელი პროცესი მუდმივი ტემპერატურის დროს მიმდინარეობს, ამიტომ b და c წერტილებს შორის რომელი წერტილიც კი არ უნდა ავიღოთ, გამოსახავს ტენიანი ნაჯერი ორთქლის მდგომარეობას, რომლის ტემპერატურა გაჯერების ტემპერატურის ტოლია.

ამგვარად, ტენიანი ნაჯერი ორთქლის ტემპერატურა შეიძლება აღებულ იქნეს ცხრილიდან მოცემული წნევის მიხედვით. ანალოგიურად, როდესაც მოცემული გვაქვს ტემპერატურა, მაშინ მისი შესაბამისი წნევა შეიძლება აღებულ იქნეს ცხრილიდან, რადგან ორთქლადქცევის პროცესი იზოთერმულ, ისე იზობარულ პროცესსაც წარმოადგენს.

1 კგ ტენიანი ნაჯერი ორთქლი, როგორც უკვე ვთქვით, წარმოადგენს x კილოგრამი მშრალი ნაჯერი ორთქლისა და $(1-x)$ კილოგრამი წყლის ნარევეს. ამის გამო m წერტილით გამოსახული ტენიანი ნაჯერი ორთქლის ხვედრითი მოცულობა v_x შედგება x კგ მშრალი ორთქლის ხვედრითი მოცულობისა, რომელიც xv'' -ის ტოლია, და $(1-x)$ კგ წყლის ხვედრითი მოცულობისაგან, რომელიც $(1-x)v'$ ტოლია. ამგვარად, x სიმშრალის ხარისხიანი ტენიანი გაყვანილი ორთქლის ხვედრითი მოცულობა იქნება

$$v_x = xv'' + (1-x)v'. \quad (1-191)$$

ამ ფორმულის გარდაქმნით ტენიანი ნაჯერი ორთქლის ხვედრითი მოცულობა შეიძლება შემდეგნაირად გამოვსახოთ

$$v_x = v' + x(v'' - v') \quad (1-192)$$

ნაკ. 1-56-დან ჩანს, რომ $x(v'' - v')$ ხვედრითი მოცულობა დიაგრამაზე h_{1m} მონაკვეთით გამოისახება, მაშასადამე,

$$h_{1m} = x(v'' - v')$$

მაგრამ იმავე ნაკვეთიდან ჩანს, რომ $v'' - v' = bc$ და, მაშასადამე,

$$h_{1m} = xbc \quad \text{და} \quad x = \frac{h_{1m}}{bc}$$

ამგვარად, სიმშრალის ხარისხის განსაზღვრისათვის დიაგრამაზე მოცემული რომელიმე m წერტილისათვის, საკმარისია ამ წერტილზე გავატაროთ იზობარა, გავზომოთ მანძილი ამ წერტილიდან ქვედა ზღვრულ მრუდემდე (აღებულ შემთხვევაში b -მდე) და მანძილი ქვედა და ზედა ზღვრულ მრუდებს შორის. (ე. ი. b და c წერტილებს შორის), რის შემდეგ პირველი გავყოთ მეორეზე.

სიმშრალის დიდი ხარისხისა და მცირე წნეების შემთხვევაში ($1-x \ll 1$) ფორმულაში შემავალი მარჯვენა მხარის მეორე წევრი, სახელდობრ $(1-x)^2$ სიდიდე, მეტად მცირეა, რის გამო შეგვიძლია იგი შედეგლობაში არ მივიღოთ და ტენიანი ნაჯერი ორთქლის ხვედრითი მოცულობა განისაზღვროთ შემდეგი ფორმულით

$$v_x = xv'' \quad (1-193)$$

რაც იმას გეიჩვენებს, რომ ტენიანი ნაჯერი ორთქლის ხვედრითი მოცულობა, რომლისთვისაც $x < 1$, ყოველთვის ნაკლებია მშრალი ნაჯერი ორთქლის ხვედრით მოცულობაზე.

ტენიანი ნაჯერი ორთქლის ხვედრითი წონა შესაბამისად განისაზღვრება ფორმულით

$$= \frac{1}{v_x} = \frac{1}{xv'' + (1-x)v'} \quad (1-194)$$

ან, თუ მნიშვნელის მეორე წევრს შედეგლობაში არ მივიღებთ შემომოყვანილი მოსახრებების გამო, მაშინ

$$v_x = \frac{1}{xv''} = \frac{v''}{x} \quad (1-195)$$

საიდანაც ჩანს, რომ ტენიანი ნაჯერი ორთქლის ხვედრითი წონა ყოველთვის მეტია მშრალი ნაჯერი ორთქლის ხვედრით წონაზე.

ამგვარად, ტენიანი ნაჯერი ორთქლის წნევა და ტემპერატურა, რომლებიც ორთქლადქცევის მთელი პროცესის დროს მუდმივი სიდიდეებია, ვერ საზღვრავენ ტენიანი ნაჯერი ორთქლის მდგომარეობას და მის განსაზღვრისათვის აუცილებელია x სიმშრალის ხარისხის ცოდნა.

ხვედრითი მოცულობის განსაზღვრისას მოყვანილი მსჯელობის მსგავსად თუ ვინაგალებთ, მაშინ 1 კგ ტენიანი ნაჯერი ორთქლის სითბოშემცველობა განისაზღვრება განტოლებით:

$$i_v = x i'' + (1-x) i' \quad (1-196)$$

თუ ამ განტოლებაში ჩავსვამთ i'' -ის მნიშვნელობას (1-182) გამოსახულებიდან, მივიღებთ

$$i_v = x(i' + r) + (1-x)i'$$

საიდანაც

$$i_v = i' + rx \quad (1-196a)$$

და

$$rx = i_v - i'$$

მაშასადამე, x სიმშრალის ხარისხის მქონე ტენიანი ნაჯერი ორთქლის მისაღებად აღულებულ წყალს მუდმივი წნევის დროს rx სითბოს რაოდენობა უნდა მიეწოდოს.

ტენიანი ნაჯერი ორთქლის ხრული სითბო და შიგა ენერჯია. ტენიანი ნაჯერი ორთქლის სრული სითბო ეწოდება სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც საკიროა მიეწოდოს 0°C ტემპერატურის მქონე 1 კგ წყალს მუდმივი წნევის დროს x სიმშრალის ხარისხის მქონე ტენიანი ნაჯერი ორთქლის მისაღებად. ამგვარად, აღნიშნული სითბოს რაოდენობა, რომელსაც q_p -ით აღვნიშნავთ, შედგება დუღილის ტემპერატურამდე წყლის გათბობაზე დახარჯული სითბოსა q_p და x კილოგრამი წყლის ორთქლადქცევაზე დახარჯული სითბოსგან, რომელიც, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, rx -ის ტოლია. მაშასადამე,

$$i_v = q_p + rx \quad (1-197)$$

თუ ამ გამოსახულებაში (1—84) განტოლებიდან r -ის მნიშვნელობას შევიტანოთ, მივიღებთ

$$\lambda_x = q_p + p_x + Ap(v'' - v')x,$$

საიდანაც ჩანს, რომ გარე ზეშობაზე იხარჯება $Ap(v'' - v')$ სითბოს რაოდენობა, ხოლო დანარჩენი კი ტენიანი ნაჯერი ორთქლის შიგა ენერჯიას წარმოადგენს. მაშასადამე,

$$u_x = q_p + p_x. \quad (1—198)$$

ტენიანი ნაჯერი ორთქლის შიგა ენერჯია შეიძლება განსახლერულ იქნეს ზოგადი ფორმულითაც, სახელდობრ,

$$u_x = i_x - Apv_x, \quad (1—199)$$

სადაც მარჯვენა ნაწილში შემავალი პარამეტრები x სიმშრალის ხარისხიანი, ტენიანი ნაჯერი ორთქლის მდგომარეობის შესაბამისად უნდა იქნეს აღებული.

1—81. გადახურებული ორთქლი. გადახურებული ორთქლის პარამეტრები, საშუალო სითბო და შიგა ენერჯია

განსახლერული წნევის გადახურებული ორთქლი მიიღება იმავე წნევის მშრალი ნაჯერი ორთქლისაგან სითბოს შემდგომი მიწოდებით. ამასთან, ამ სითბოს მიწოდება ხდება საპეციალურ მოწყობილობაში—ორთქლგადამხურებელში, სადაც ქვაბიდან მილსადენებით მიწოდებულია ტენიანი ნაჯერი ორთქლი. ორთქლგადამხურებელში ტენიანი ნაჯერი ორთქლი სითბოს მიწოდების შედეგად გარდაიქმნება ჯერ მშრალ ნაჯერ ორთქლად და შემდეგ კი გადახურებულ ორთქლად.

გადახურებული ორთქლის მიღების დროს წნევა მუდმივია და ტოლია იმ წნევისა, რომელიც ორთქლს აქვს ქვაბში ორთქლადქცევის პროცესის დროს (აღნიშნული წნევა მცირედ იცვლება, რადგან მილსადენებში გავლის დროს იგი ცოტათი მცირდება, მაგრამ წნევის ამ დაცემას გაანგარიშების დროს ხშირად მხედველობაში არ ვიღებთ და თეორიულად მიღებული გვაქვს, რომ იგი გაჯერების წნევის ტოლია), ხოლო ტემპერატურა იზრდება, განსხვავებით ნაჯერი ორთქლისაგან, რომლის ტემპერატურა ორთქლადქცევის მთელი პროცესის დროს მუდმივია. გადახურებული ორთქლის საბოლოო ტემპერატურა დამოკიდებულია მიწოდებულ სითბოს რაოდენობაზე.

გადახურებული ორთქლის კონდენსაცია იწყება მხოლოდ მაშინ, როდესაც იგი გაჯერების ტემპერატურამდე გაცივდება, განსხვავებით ნაჯერი ორთქლისაგან, რომელიც სითბოდ გარდაიქცევა სითბოს მცირე რაოდენობის არინების საშუალებითაც კი. ამგვარად, გადახურებული ორთქლის თვისებები მკვეთრად განსხვავდებიან ნაჯერი ორთქლის თვისებებისაგან და უხახვანდებიან აირების თვისებებს; ამასთან, მით უფრო მეტად, რაც უფრო მეტია გადახურება, ე. ი. რაც უფრო მეტია გადახურებული ორთქლის ტემპერატურისა და იმავე წნევის ნაჯერი ორთქლის ტემპერატურის სხვაობა.

გადახურებული ორთქლისათვის პრაქტიკული გაანგარიშების დროს, საკმარისი სიზუსტით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს (მცირე წნევებისა და გადახურების დროს) მდგომარეობის განტოლება შემდეგი სახით:

$$p(v + 0,016) = RT, \quad (1—200)$$

სადაც

$$R = \frac{\mu R}{\mu_{H_2O}} = \frac{848}{18} = 47,1 \text{ კგმ/კგ}^\circ\text{C}.$$

მაშასადამე, (1—200) განტოლება შეიძლება შემდეგნაირადაც გამოისახოს:

$$p(v + 0,016) = 47,1 T. \quad (1—200a)$$

აღნიშნული განტოლება, რომელსაც გადახურებული ორთქლის მდგომარეობის განტოლებას ვუწოდებთ, საშუალებას გვაძლევს ტემპერატურისა და წნევის მიხედვით განვსაზღვროთ ხვედრითი მოცულობა. ხვედრითი მოცულობის განსაზღვრისათვის მოცემული იყო გადახურებული ორთქლის მდგომარეობის მრავალი სხვა განტოლება. განსაკუთრებული სიზუსტით გამოირჩევა ცხრილები, რომლებიც შედგენილ იქნა გადახურებული ორთქლის მდგომარეობის მ. პ. ეუკალოვიჩისა და ი. ი. ნოვიკოვის შემდეგი განტოლებით:

$$p v = 47,053 T - \frac{1}{v} \left\{ \left[63,2 + \frac{10005}{\left(\frac{T}{100}\right)^{2,468}} - 0,03995 T \right] + \frac{1}{v} \left[\frac{8,941}{\left(\frac{T}{100}\right)^{2,468}} - \left(1 - \frac{22,7}{T^{0,8}}\right) \left(1 + \frac{0,0069}{v} - \frac{35,57 \cdot 10^{-9}}{v^2}\right) \times \left(\frac{85014}{\left(\frac{T}{100}\right)^{6,928}}\right) \right] \right\}. \quad (1-201)$$

გადახურებული ორთქლის პარამეტრები, სრული სითბო და შიგა ენერჯია. ჩვეულებრივად გადახურებული ორთქლის ტემპერატურა და წნევა მოცემულია, ხოლო განსაზღვრელია ხვედრითი მოცულობა. ამასთან ეს განსაზღვრა წარმოებს როგორც (1—200ა) განტოლების, ისე სათანადო ცხრილიდან შერჩევის საშუალებით.

გადახურებული ორთქლის სრული სითბოს განსაზღვრამდე გამოვარკვეოთ გადახურებაზე დახარჯული სითბო; ეს უკანასკნელი წარმოადგენს სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც საჭიროა მივაწოდოთ მოცემული წნევის 1 კგ მშრალ ნაჯერ ორთქლს, რომ იმავე წნევისა და $t_{\text{გაფ}}$ ტემპერატურის გადახურებული ორთქლი მივიღოთ. აღნიშნული სითბოს რაოდენობა შეგვიძლია განვსაზღვროთ როგორც სითბო, რომელიც დაიხარჯა t_2 -დან $t_{\text{გაფ}}$ მდე ორთქლის გასათბობად. სითბოს ეს რაოდენობა კი განისაზღვრება ზოგადი ფორმულით:

$$q_{\text{გაფ}} = c_{pm} (t_{\text{გაფ}} - t_2). \quad (1-202)$$

გადახურებული ორთქლის სრული სითბო კი წარმოადგენს სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც საჭიროა 0°C ტემპერატურის მქონე წყლიდან $t_{\text{გაფ}}$ ტემპერატურის გადახურებული ორთქლის მისაღებად. ცხადია, რომ იგი შედგება მშრალი ნაჯერი ორთქლის სრული სითბოსა და გადახურებაზე დახარჯულ სითბოს ჯამისაგან. ამგვარად, თუ გადახურებული ორთქლის სრულ სითბოს აღვნიშნავთ $\lambda_{\text{გაფ}}$ -ით, მაშინ

$$\lambda_{\text{გაფ}} = \lambda' + q_{\text{გაფ}},$$

რომელიც შესაბამისი მნიშვნელობების ჩასმით, მიიღებს სახეს:

$$\lambda_{\text{გაფ}} = q_p + r + c_{pm} (t_{\text{გაფ}} - t_2). \quad (1-203)$$

რადგან გადახურებული ორთქლის მიღების პროცესი მუდმივი წნევის დროს წარმოებს, ამიტომ ამ პროცესის დროს დახარჯული სითბოს რაოდენობა შეგვიძლია სითბოშემცველობების საშუალებითაც განვსაზღვროთ. თუ აღვნიშნავთ i სიდიდით გადახურებული ორთქლის სითბოშემცველობას და i' -ით მშრალი გაყენითილი ორთქლის სითბოშემცველობას, მაშინ, ცხადია, რომ მათი სხვაობა მოგვცემს სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც გადახურებაზე დაიხარჯა. მაშასადამე,

$$i - i' = q_{\text{გაფ}}.$$

საიდანაც, $q_{\text{გაფ}}$ მნიშვნელობის ჩასმით და i სიდიდის მიმართ ამოხსნით, მივიღებთ

$$i = i' + c_{pm} (t_{\text{გაფ}} - t_2). \quad (1-204)$$

მიგრამ თუ გავითვალისწინებთ (1—180) და (1—182) განტოლებებს, მაშინ

$$i' = i' + r = i'_0 + q_p + r$$

და (1-204) ვახტოვებაში მიღებული მნიშვნელობის ჩასმით მივიღებთ

$$i = i'_0 - q_p + r + c_{pm} (t_{\text{გაღ}} - t_0)$$

ეს კი (1-203) განტოლების საფუძველზე შემდეგნაირად დაიწერება

$$i = i'_0 + \lambda_{\text{გაღ}},$$

და საქმარისი სიხუსტით პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის შეგვიძლია მივიღოთ

$$i = \lambda_{\text{გაღ}}. \quad (1-205)$$

გადახურებული ორთქლის შიგა ენერგია კი განისაზღვრება ზოგადი ფორმულით

$$u = i - Apv,$$

სადაც i და v შეირჩევა წნევისა და ტემპერატურის მიხედვით გადახურებული ორთქლის ცხრილიდან, რომელშიაც გადახურებული ორთქლის აღნიშნულ პარამეტრებს გარდა, მოცემულია იგივე პარამეტრები წყლისათვის წნევისა და ტემპერატურის მიხედვით.

1-62. წყლის ორთქლის მდგომარეობა. TS და JS დიაგრამაში წყლის ორთქლისათვის

იდეალური აირების განხილვის დროს აღნიშნული გვექონდა, რომ პრაქტიკული გაანგარიშებების დროს თბოტექნიკაში ჩვენთვის მნიშვნელობა აქვს ენტროპიის არა აბსოლუტური მნიშვნელობას, არამედ მის ცვლილებას. სავსებით ასევე წყლის ორთქლის შემთხვევაშიაც ჩვენთვის მნიშვნელობა აქვს ენტროპიის ცვლილებას, რის გამო სულერთია თუ საიდან დაეიწყებთ მის ათვლას. ჩვეულებრივად ენტროპიის ათვლას იწყებენ მნიშვნელობიდან, რომელიც შეესაბამება წყლის მდგომარეობას, ალებულს 0°C ანუ 273°K ტემპერატურისა და მისი სათანადო გაჯერების წნევის $p_s = 0,006228$ ატა დროს.

წყლის აღნიშნული მდგომარეობის ენტროპიის მნიშვნელობას პირობით ნულს უტოლებენ. ამის გარდა, რადგან წყალს უკუმშეადად ვთვლით, ჩვენ შეგვიძლია იზოთერმულ პროცესში, განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში, როდესაც ტემპერატურა ნულის ტოლია, მივიღოთ, რომ წნევის ცვლილებისაგან დამოუკიდებლად ენტროპიის ცვლილება ნულის ტოლია. მაშასადამე, 0°C ტემპერატურისა და ნებისმიერი წნევის პირობებში წყლის ენტროპია შეგვიძლია ნულის ტოლად ჩავთვალოთ, ე. ი. მივიღოთ, რომ

$$s'_0 = 0.$$

ამ წინასწარი ცნებების განმარტების შემდეგ გადავდივართ ენტროპიის ცვლილების განსაზღვრაზე ორთქლადქცევის პროცესისათვის. ვიცით, რომ ორთქლადქცევის პროცესი იყოფა ორ საფეხურად: სახელდობრ, t_s დუღილის ტემპერატურამდე სითხის გათბობისა და თვით ორთქლადქცევის პროცესებად. განვიხილოთ ჯერ სითხის გათბობის პროცესი, თუ ამ შემთხვევაში dq -თი აღვნიშნავთ სითბოს იმ ელემენტარულ რაოდენობას, რომელიც სითხეს გათბობის პროცესში მიეწოდება, მაშინ ენტროპიის ცვლილების ზოგადი ფორმულის თანახმად გვექნება

$$ds = \frac{dq}{T}.$$

მაგრამ, რადგან $dq = c_p dT$ და წყლისათვის მიღებული გვაქვს, რომ $c_p \approx 1$, ამიტომ $dq = dT$ და

$$ds = \frac{dT}{T}.$$

აქედან კი იმ შემთხვევისათვის, როდესაც სითხე თბება $t = 0^{\circ}\text{C}$ ანუ $T = 273^{\circ}\text{K}$ -დან

დუცალის I_s ანუ $T_s = 273 + t_s$ ტემპერატურასდგ, გსტრობისას კვლადების განსასაყვლად მივიღებთ გამოსახულებას

$$s'' - s'_0 = \int_{273}^{T_s} \frac{dT'}{T'}$$

უკანასკნელი განტოლების მარჯვენა მხარის ინტეგრებით და დაშვებით, რომ $s'_0 = 0$ ადულებული წყლის ენტროპიის გამოთვლისათვის მივიღებთ ფორმულას:

$$s' = \ln \frac{T_s}{273} = 2,303 \lg \frac{T_s}{273} \quad (1-206)$$

ენტროპიის ცვლილება მშრალი ნაჯერი ორთქლის მდგომარეობასა და ადულებულ წყალს შორის გამოითვლება შემდეგი მოსაზრებებიდან. ვიცით, რომ ორთქლადქცევის პროცესში მიწოდებულია r კკალ/კგ სითბოს რაოდენობა მუდმივი T_s ტემპერატურის დროს. მაშასადამე, რადგან, ამ შემთხვევაში $q=r$ და $T=T_s = \text{const}$, ამიტომ ადულებული წყლიდან მშრალი ნაჯერი ორთქლის მიღების პროცესში ენტროპიის ნაზრდი განისაზღვრება ფორმულით

$$s'' - s' = \frac{r}{T_s} \quad (1-207)$$

სადაც s'' არის მშრალი ნაჯერი ორთქლის ენტროპია, ხოლო s' კი ადულებული წყლისა.

(1-207) ფორმულიდან მშრალი ნაჯერი ორთქლის ენტროპიისათვის მივიღებთ

$$s'' = s' + \frac{r}{T_s} \quad (1-208)$$

სადაც (1-206) განტოლებიდან s' -ის მნიშვნელობის ჩასმით ენტროპიის სრული ნაზრდისათვის გვექნება შემდეგი ფორმულა:

$$s'' = \ln \frac{T_s}{273} + \frac{r}{T_s} = 2,303 \lg \frac{T_s}{273} + \frac{r}{T_s} \quad (1-209)$$

იმ შემთხვევისათვის კი, როდესაც გვექნება ტენიანი ნაჯერი ორთქლი x სიმშრალის ხარისხით, მაშინ, ცხადია, რომ ადულებული 1 კგ წყლიდან ტენიანი ნაჯერი ორთქლის მისაღებად დაიხარჯება xr სითბოს რაოდენობა და შესაბამისად ენტროპიის ცვლილება იქნება

$$s_x - s' = \frac{xr}{T_s} \quad \text{და} \quad s_x = s' + \frac{xr}{T_s}$$

s' -ის მნიშვნელობის ჩასმით საბოლოოდ მივიღებთ

$$s_x = 2,303 \lg \frac{T_s}{273} + \frac{xr}{T_s} \quad (1-210)$$

გადახურებული ორთქლისათვის ენტროპიის ცვლილების გამოსათვლელად უნდა გავითვალისწინოთ აგრეთვე სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც საჭიროა მიეწოდოს მშრალ ნაჯერ ორთქლს გადახურებული ორთქლის მისაღებად. თუ dq -თი აღვნიშნავთ სითბოს იმ ელემენტუარულ რაოდენობას, რომელიც გადახურების პროცესში მიწოდება,

მაშინ ამ პროცესისათვის, მსგავსად სხვა შემთხვევებისა, ენტროპიის უსასრულო მცირე ნაზრდი შემდეგნაირად გამოისახება

$$ds = \frac{dq}{T}.$$

აქედან მშრალი ნაჯერი ორთქლისა და გადახურებული ორთქლის მდგომარეობებს შორის ენტროპიის ნაზრდის გამოსათვლელად მივიღებთ განტოლებას:

$$s - s'' = \int_{T_s}^{T_{\text{გაფ}}} \frac{dq}{T},$$

სადაც $dq = c_p dT$.

იმ დაშვებით, რომ $c_p = c_{pm} = \text{const}$, გვექნება

$$s - s'' = \int_{T_s}^{T_{\text{გაფ}}} c_{pm} \frac{dT}{T} = c_{pm} \int_{T_s}^{T_{\text{გაფ}}} \frac{dT}{T}$$

და

$$s - s'' = c_{pm} \ln \frac{T_{\text{გაფ}}}{T_s}, \quad (1-211)$$

აქედან კი

$$s = s'' + c_{pm} \ln \frac{T_{\text{გაფ}}}{T_s}. \quad (1-212)$$

უანასენელში (1-209) გამოსახულებიდან s'' -ის მნიშვნელობის ჩასმით, საბოლოოდ მივიღებთ

$$s = \ln \frac{T_s}{273} + \frac{r}{T_s} + c_{pm} \ln \frac{T_{\text{გაფ}}}{T_s} \quad (1-213)$$

ას

$$s = 2,303 \lg \frac{T_s}{273} + \frac{r}{T_s} + 2,303 c_{pm} \lg \frac{T_{\text{გაფ}}}{T_s}. \quad (1-213 a)$$

სათანადო ცხრილებიდან შეგვიძლია ავიღოთ ნაჯერი ორთქლის ენტროპიის მნიშვნელობები და $\frac{r}{T_s}$ სიდიდე როგორც ენტროპიათა $s'' - s'$ სხვაობა. გადახურებული

ორთქლის ცხრილიდან აგრეთვე შეგვიძლია ავიღოთ წყლის გადახურებული ორთქლის სხვადასხვა მდგომარეობის ენტროპიის მნიშვნელობები $c_p \neq \text{const}$ შემთხვევისათვის.

TS დიაგრამა წყლის ორთქლისათვის. წყლის ორთქლის მდგომარეობის პარამეტრებს შორის ინალიზური დამოკიდებულება საქმოდ რთულია, რის გამო გაანგარიშებების დროს მათი გამოყენება ერთგვარ სიძნელეს წარმოადგენს. ამიტომ ამოცანების ამოხსნის დროს ცხრილის მონაცემებთან ერთად აგრეთვე იყენებენ გრაფიკულ მეთოდსაც.

ორთქლის პროცესების გრაფიკული გამოსახვისათვის TS დიაგრამის გარდა გამოყენებულია TS დიაგრამაც, რომელიც მოხერხებულია იმით, რომ პროცესის გამომსახველი მრუდის ქვემოთ მოთავსებული ფართობი განსაზღვრულია მასშტაბით სითბოს რაოდენობის იძლევა და ამასთან ერთად ამ დიაგრამაზე გამოსახული ადიაბატური პროცესი (შექცევიდი) ორდინატთა ღერძის პარალელური სწორი ხაზით გამოისახება (რად-

გან ამ პროცესისათვის $\gamma = \text{const}$). განვიხილოთ ორთქლადქცევის პროცესი TS დიაგრამაზე, რომელზედაც ყოველი წერტილი, როგორც pv დიაგრამაზე, სხეულის განსაზღვრულ მდგომარეობას გამოისახავს.

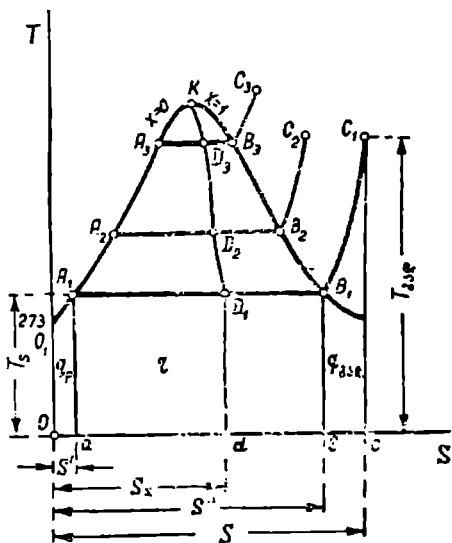
დავუშვათ, რომ გვაქვს 0°C ტემპერატურაინი 1 კგ წყალი რომელიმე p წნევის ქვეშ. რადგან აღებული მდგომარეობის წყლის ენტროპია ნულის ტოლად გვაქვს მიღებული, ამიტომ აღნიშნული მდგომარეობა დიაგრამაზე (ნაქ. 1—57) გამოისახება წერტილით, რომლის კოორდინატებია $t_s = 0^{\circ}\text{C}$ ანუ $T_s = 273^{\circ}\text{K}$ და $s'_0 = 0$. ცხადია, რომ ეს წერტილი მოთაესდება ორდინატთა ღერძზე და დაიკავებს მდებარეობას, რომელიც ნაქ. 1—57-ზე აღნიშნულია O_1 წერტილით.

დუღილის ტემპერატურამდე წყლის გათბობის დროს ტემპერატურისა და ენტროპიის მნიშვნელობანი იზრდება და ეს პროცესი $c_p = \text{const}$ დროს ლოგარითმული მრუდით O_1A_1 გამოისახება. A_1 წერტილი კი გამოისახავს დუღილის T_s ტემპერატურამდე გამთბარი წყლის მდგომარეობას. 0°C -დან დუღილის ტემპერატურამდე წყლის გათბობაზე დაბარჯული სითბოს რაოდენობა ნაქ. 1—57-ზე $OO_1A_1A_1O$ ფართობით გამოისახება.

სითბოს შემდგომი მიწოდებით იწყება ორთქლადქცევის პროცესი, რომელიც მიმდინარეობს როგორც მუდმივი წნევის დროს, ისე მუდმივი ტემპერატურის დროს. ამიტომ აღნიშნული პროცესი TS დიაგრამაზე აბსცისთა ღერძის პარალელური A_1B_1 სწორი ხაზის მონაკვეთით გამოისახება. აღებულ ხაზზე B_1 წერტილი მიღებული წნევის შესაბამისი მშრალი ნაჯერი ორთქლის მდგომარეობას გამოისახავს. ვასაგებია, რომ A_1 და B_1 წერტილები შესაბამისად მდებარეობენ ქვედა და ზედა ზღვრულ კრუდეზე, როგორც აღუღებული წყლისა და მშრალი ნაჯერი ორთქლის მდგომარეობათა გამოისახველი წერტილები.

ორთქლადქცევაზე დაბარჯული სითბოს r რაოდენობა დააგრამაზე aA_1B_1ba ფართობით გამოისახება.

თუ ორთქლადქცევა დასრულებული არ არის და x სიმშრალის ხარისხიანი ტენიანი ნაჯერი ორთქლია მიღებული, მაშინ ასეთი ორთქლის მდგომარეობა გამოისახება რომელიც D_1 წერტილით, რომელიც B_1 წერტილის მარცხნივ A_1B_1 იზოთერმაზე მდებარეობს. როდესაც ცნობილია D_1 წერტილის მდებარეობა, მაშინ დიაგრამიდან ადვილია x სიმშრალის ხარისხის განსაზღვრა და პირაქით, როცა მოცემულია x სიმშრალის ხარისხი, მაშინ D_1 წერტილის მდებარეობის განსაზღვრა. დიაგრამიდან ჩანს, რომ $r = A_1B_1 \cdot T_s$ და აღუღებული წყლიდან x სიმშრალის ხარისხიანი ტენიანი ნაჯერი ორთქლის მისაღებად



ნაქ. 1—57.

ღანსარჯულ სითბოს რაოდენობა, რომელიც aA_1D_1d ფართობით გამოისახება. იქნება $x = A_1D_1 T$ მეორე ტილობის პირველზე გაყოფით მივიღებთ

$$x = \frac{A_1D_1}{A_1B_1}.$$

მშრალი ნაჯერი ორთქლის შენდგომი ვაბობით, იმავე მუდმივი წნევის პირობებში, მივიღებთ ვადახურებულ ორთქლს, რომლის მიღების პროცესი $c_p = \text{const}$ დროს, თანახმადა ($1-211$) განტოლებისა, დიაგრამაზე გამოისახება B_1C_1 ლოგარითმული მრუდით, ხოლო ამ პროცესში დახარჯული სითბოს რაოდენობა bB_1C_1cb ფართობით. C_1 კი გამოისახავს ალბუღი $T_{\text{გაე}}$ ტემპერატურის მქონე ვადახურებული ორთქლის მდგომარეობას.

ზემოხსენებულ ფართობები OO_1A_1aO , aA_1B_1ba და bB_1C_1cb შესაბამის პროცესებში მიწოდებულ სითბოს რაოდენობებს გამოისახავენ. მაგრამ, რადგან ყველა შემთხვევისათვის მიღებული გვაქვს, რომ

$$i = \lambda,$$

აპიტომ იგივე ფართობები სათანადოდ სითბომეცველობებსაც გამოისახავენ.

ყველა ზემონათქაში შევხებოდა TS დიაგრამაზე ორთქლადქცევის პროცესის გამოისახავს ალბუღი ნებისმიერი β წნევისათვის. ამასთან, ორთქლადქცევის მთელი პროცესი მიმდინარეობდა მუდმივი წნევის დროს, რის გამო $O_1A_1B_1C_1$ ხაზი იზობარას წარმოადგენს. თუ ავაგებთ მსგავს იზობარებს სხვა წნეებისათვის, მაშინ ადვილად დაერწმუნდებით, რომ წყლის საწყისი მდგომარეობა ყოველი წნევისათვის გამოისახება ისევე O_1 წერტილად, რადგან ნებისმიერი წნევისა და $t=0^\circ C$ ტემპერატურის პირობებში $s'_0 = 0$ გვაქვს მიღებული.

ალბუღი წყლის მდგომარეობა კი გამოისახება წერტილებით A_2, A_3 და ა. შ., როცა მდგომარეობა დამოკიდებულია ალბუღი წნევის შესაბამის დუღილის ტემპერატურაზე. ანალოგიურად ორთქლადქცევის პროცესებშიც გამოისახება დუღილის ანუ გაჯერების ტემპერატურის შესაბამისი იზოთერმებით A_2B_2, A_3B_3 და ა. შ., რომლებზედაც B_2, B_3 და ა. შ. წერტილები მშრალი ნაჯერი ორთქლის მდგომარეობებს გამოისახავენ. შესაბამისად ვადახურებული ორთქლის მიღების პროცესები გამოისახება მრუდებით B_2C_2, B_3C_3 და ა. შ., ხოლო C_2, C_3 და ა. შ. წერტილები კი სხვადასხვა ტემპერატურის ვადახურებული ორთქლის მდგომარეობებს გამოისახავენ. ამგვარად, მივიღებთ $O_1A_2B_2C_2, O_1A_3B_3C_3$ და ა. შ. იზობარათა ქსელს, რომელთაგან თითოეული განსაზღვრული წნევისა და შესაბამისი ტემპერატურის ორთქლის მიღების პროცესებს გამოისახავენ.

A_1, A_2, A_3 და ა. შ. წერტილების შეერთებით მივიღებთ O_1K მრუდს, რომელიც ქვედა ზღვრულ მრუდს წარმოადგენს, ხოლო B_1, B_2, B_3 და ა. შ. წერტილების შეერთებით მივიღებთ KB_1 მრუდს, რომელიც ზედა ზღვრულ მრუდს წარმოადგენს. ამ ზღვრული მრუდების თანაკვეთის წერტილი K კი კრიტიკულ წერტილს წარმოადგენს. pa დიაგრამის ანალოგიურად, TS დიაგრამაზედაც O_1K მრუდის მარცხნივ სითბის არეა, O_1K და KB_1 მრუდებს შორის ტენიანი ნაჯერი ორთქლის არე და KB_1 მრუდის მარჯვნივ კი ვადახურებული ორთქლის არე.

მსგავსად ზღვრული მრუდებისა, რომლებიც $x=0$ და $x=1$ სიმშრალის ხარისხს შესაბამებთან, დიაგრამაზე მუდმივი სიმშრალის ხარისხთან სხვა მრუდებსაც ატარებენ (მაგალითად, ნაქ. 1—57-ზე KI_1 მრუდი), რისთვისაც ზღვრულ მრუდებს შორის მოთავსებულ იზობარებს ჰყოფენ რამდენიმე თანასწორ ნაწილად (ჩვეულებრივად 10 ნაწილად) და შემდეგ სხვადასხვა წნევისათვის მიღებულ შესაბამის წერტილებს შეაერთებენ. ამგვარად, მიიღებენ ერთნაირი სიმშრალის ხარისხთან მრუდებს.

TS დიაგრამაზე რიგი ამოცანების გადასაწყვეტად იგება იზოქორები ($\nu = \text{const}$) და ერთნაირი შიგა ენერჯის მრუდები (მრული $\mu = \text{const}$). ეს უკანასკნელი შესაძლებლობას გვაძლევს მოცემული μ და ν სიდიდეების საშუალებით მოვძებნოთ დიაგრამაზე წერტილი, რომელიც აღებულ მდგომარეობას გამოსახავს და ამ წერტილის მიხედვით განვსაზღვროთ სხვა დანარჩენი პარამეტრები.

IS დიაგრამა წყლის ორთქლისათვის, მისი აგების მეთოდია და გამოყენება. თბოტექნიკური გაანგარიშებების დროს, როდესაც მუშა სხეულად გამოყენებულია წყლის ორთქლი, მეტად მნიშვნელოვანია მისი სითბომეცველობისა და აღებულ პროცესში სითბომეცველობათა სხვაობის ცოდნა. იმ მიზნით, რომ აღნიშნული სიდიდეები მიღებულ იქნეს მარტივი გზით, გრაფიკულად, აგებენ *is* დიაგრამას, რომლის აბსცისთა ღერძზე გადაზომილია ენტროპიებისა, ხოლო ორდინატთა ღერძზე თბომეცველობის მნიშვნელობანი. *TS* დიაგრამასთან შედარებით, ასეთი გზით მიღებულ *is* დიაგრამას ის უპირატესობა აქვს, რომ მასში სითბომეცველობის მნიშვნელობანი სწორი ხაზის ნონაკვეთებით არის მოკეპული, მაშინ, როდესაც პირველ დიაგრამაზე სითბომეცველობა მოკეპულია ფართობით, რომლის გაზომვა მნიშვნელოვან სიძნელეებთან არის დაკავშირებული.

is დიაგრამის აგება განხორციელებულია შემდეგნაირად: ცხრილის მონაცემების *i* და *s* სიდიდეების მიხედვით, რომლებიც აღებულია სხვადასხვა წნევის შესაბამისად, ზედა და ქვედა ზღვრული მრუდებია აგებული. მიღებული ზღვრული მრუდები დიაგრამას ჰყოფენ გადახურებული ორთქლის არეულ და ნაჯერი ორთქლის არეულ.

ზღვრულ მრუდებზე მდებარე ერთი და იმავე წნევის შესაბამისი წერტილების სწორი ხაზებით შეერთებით, ნაჯერი ორთქლის არეში მიღებული იქნება იზობარები, რადგან $p = \text{const}$ დროს ნაჯერი ორთქლისათვის *i* და *s* შორის დამოკიდებულება სწორხაზოვანია.

აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ ნაჯერი ორთქლის არეში იზობარები აგრეთვე იზოთერმებსაც წარმოადგენენ, რადგან ორთქლის ერთსა და იმავე წნევას ერთი და იგივე გაჯერების ტემპერატურა შეესაბამება.

ps და *TS* დიაგრამების ანალოგიურად *is* დიაგრამაზედაც ნაჯერი ორთქლის სიმშრალის ხარისხი იზობარაზე აღებული წერტილიდან ქვედა ზღვრულ მრუდმდე მანძილსა და ზღვრულ მრუდებს შორის მოთავსებული იზობარის მონაკვეთის ფარდობით განისაზღვრება. ამის შესაბამისად *is* დიაგრამაზედაც გატარებულია მულტივი სიმშრალის ხარისხის მრუდები. ამ მრუდების აგება ისევე ხდება, როგორც *TS* დიაგრამაზე, სახელდობრ, ნაჯერი ორთქლის არეში იზობარებს ჰყოფენ ათ თანასწორ ნაწილად და შესაბამისი წერტილების შეერთებით მულტივი სიმშრალის ხარისხის მრუდებს მიიღებენ.

დიაგრამის აგება მთავრდება იზობარებისა და იზოთერმების აგებით გადახურებული ორთქლის არეში, სადაც ეს უკანასკნელი განშტოებულია და თითოეული მათგანი ცალკე მრუდს წარმოადგენენ. მათი აგება აგრეთვე წერტილების მიხედვით წარმოებს, ამასთან *i* და *s* სიდიდეების მნიშვნელობას წნევების შესაბამისად ცხრილიდან იღებენ.

გადახურებული ორთქლის არეში იზობარები გამოისახებიან არა სწორი ხაზების სახით, როგორც აშას ადგილი ჰქონდა ნაჯერი ორთქლის არეში, არამედ მრუდებით. ამასთან, იზობარები ზემოთ მიმართულია მდოვრად, ხოლო იზოთერმები მარცხნიდან მარჯვნივ, ისე რომ, ზედა ზღვრული მრუდიდან დაშორებასთან ერთად მისი ზემოთ აწევა თანდათანობით მცირდება და ჰორიზონტალს უახლოვდება.

დიაგრამაზე, როგორც *TS* დიაგრამაზე, ადიამატური შექცევადი პროცესი მე-

ტად მარტივად გამოისახება, სახელდობრ, სწორი ხაზით, რადგან აღბეჭდულ პროცესში $r = \text{const}$. ამის გარდა, $p = \text{const}$ დროს მიმდინარე პროცესში ნიწოდებულ სითბოს რაოდენობა, აგრეთვე, მარტივად განისაზღვრება, სახელდობრ, აღებული პროცესის საწყისი და საბოლოო წერტილების ორდინატთა სხვაობით (რადგან $i = \lambda$). ამ თვისებების გამო i დიაგრამა პრაქტიკული გამოთვლებისათვის ფართოდ არის გამოყენებული.

i დიაგრამა წყლის ორთქლისათვის აგებულია პროფ. მ. პ. ვუკალოვიჩის ან БТИ*-ს მონაცემების მიხედვით. პრაქტიკული მიზნებისათვის i დიაგრამა მთლიანად არ არის მოცემული, არამედ მოცემულია მხოლოდ ის ნაწილი, რომელიც ტექნიკური გაანგარიშებისათვის უფრო საჭიროა. ეს უკანასკნელი გარემოება კი უფრო დიდი მასშტაბის გამოყენების საშუალებას გვაძლევს, რაც აადვილებს მით სარგებლობას. აღნიშნული დიაგრამა მთელი რიგი ამოცანების ამოხსნას ამარტივებს და გამოიყენება ორთქლის სხვადასხვა მდგომარეობის პარამეტრების განსაზღვრისათვის, სითბურ მოწყობილობებში მიმდინარე პროცესების დროს დახარჯული სითბოს გამოთვლისათვის, ორთქლის მდგომარეობის ცვლილებასთან დაკავშირებული საკითხების გადაწყვეტისათვის და ა. შ.

1-63. წყლის ორთქლის ცხრილები

წყლის ორთქლისათვის მოცემული ემპირიული ფორმულების განხილვიდან ჩანს, რომ ისინი მეტად რთული არიან და მოუხერხებელია მათი გამოყენება თბოტექნიკურ¹ გაანგარიშებებში. ამის გამო წყლის ორთქლის შემთხვევაში გაანგარიშებების დროს T S და i დიაგრამებთან ერთად ფართოდაა გამოყენებული წყლის ორთქლის ცხრილები რომლებიც შედგენილი არიან ამა თუ იმ ემპირიული ფორმულის საფუძველზე განსაზღვრული ინტერვალებით.

წყლის ორთქლისა და მისი თვისებების გამორკვევაზე მოსკოვის ენერგეტიკულ ინსტიტუტსა და ძერენისკის სახელობის სრულიად საკავშირო თბოტექნიკურ ინსტიტუტში ჩატარებული დიდი თეორიული და ექსპერიმენტული სამუშაოები, რომელთა მიხედვით შედგენილი იქნა წყლის ორთქლის ცხრილები.

ფართოდაა გამოყენებული და თითქმის ყველა წიგნში მოყვანილია, როგორც ყველაზე უტყუარი, მ. პ. ვუკალოვიჩის ან БТИ-ს მიერ შედგენილი წყლის ორთქლის ცხრილები.

წყლის ორთქლისათვის ცხრილები მოცემულია ნაჯერდ ორთქლისა და გადახურებული ორთქლისათვის ცალ-ცალკე. ამასთან გადახურებული ორთქლის ცხრილებში აგრეთვე მოყვანილია წყლისათვის ზოგიერთი მონაცემი.

ნაჯერი ორთქლისათვის ცხრილები მოცემულია ორი სახით. ერთი მათგანი შედგენილია წნევითა მიხედვით, ხოლო მეორე ტემპერატურათა მიხედვით. ეს ორივე ცხრილთ ფაქტიურად ერთი და იგივეა, განსხვავება მხოლოდ იმაშია, რომ პირველ ცხრილში პირველ სვეტში მოცემულია წნევები, ხოლო მეორეში კი წნევები.

ნაჯერი ორთქლისათვის ცხრილებში მოცემულია ადუღებული წყლის: ხვედრითი მოცულობა v' , ენტალპია i' , ენტროპია s' , ხოლო მშრალი ნაჯერი ორთქლისათვის: ხვედრითი მოცულობა v'' , ხვედრითი წონა γ'' , ენტალპია i'' და ენტროპია s'' . ამ ცხრილში მოცემულია აგრეთვე r ორთქლადქცევის სითბო. წყლისათვის შიგა ენერგია განისაზღვრება (1—175) ფორმულით, ხოლო მშრალი ნაჯერი ორთქლისათვის (1—178) ფორმულით.

ტენიანი ნაჯერი ორთქლის პარამეტრები განისაზღვრება ამ ცხრილების მონაცემების ჩასმით (1—191), (1—194), (1—196), (1—199), (1—210) ფორმულებში.

გადახურებული ორთქლის ცხრილებში მოცემულია წნევებისა და ტემპერატურების მიხედვით წყლისა და გადახურებული ორთქლისათვის ხვედრითი მოცულობა v , ენტალპია i და ენტროპია s . შიგა ენერგია კი განისაზღვრება $u = i - \lambda p$ ფორმულით.

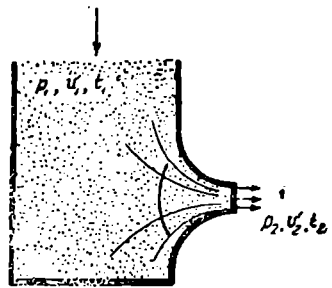
* БТИ—სრულიად საკავშირო თბოტექნიკური ინსტიტუტი.

იდეალური და რეალური აირების მდგომარეობის ცვლილების განხილვის დროს ისეთ შემთხვევებს ვიხილავდით, რომლებშიც აირის გადასაცვლებას ადგილი არ ჰქონდა, ე. ი. არ არსებობდა ხილული მოძრაობა. თბოტექნიკაში მთელი რიგი აგრეგატების— ორთქლისა და აირის ტურბინების, ვენტილატორების, ტურბოკომპრესორების მუშაობა დაკავშირებულია მუშა სხეულის ხილულ მოძრაობასთან.

ორთქლის მანქანებში ორთქლის წნევის ენერჯია უშუალოდ გარდაიქმნება დგუშის მოძრაობის მექანიკურ ენერჯიად, ხოლო ორთქლის ტურბინებში ორთქლის წნევის ენერჯია გარდაიქმნება ორთქლის ჰაელის კინეტიკურ ენერჯიად, ხოლო ეს უკანასკნელი— მექანიკურ ენერჯიად.

მნიშვნელოვანი კინეტიკური ენერჯია აქვთ აირებს ან ორთქლებს ეგრეთ წოდებული საქშენებიდან გამოღინების დროს. ამის გამო ჩვენ აქ განვიხილავთ გამოღინების პროცესს და მოვლენებს საქშენში, სადაც აირი სიჩქარეს იძენს.

ეთქვით, რომ p_1 , v_1 და t_1 პარამეტრებია აირი განუწყვეტლად შედის მარაგელაში (ნაკ. 1—58), საიდანაც იგი თანდათან შევიწროებულ საქშენის საშუალებით გამოდის გარე სივრცეში, რომლის წნევა არის p_2 . ამასთან, დაეუშვათ, რომ საქშენის გამოსასვლელ კვეთში აირის წნევა იგივეა, რაც გარე სივრცისა, ე. ი. მისი წნევა p_2 -ის ტოლია. ცხადია, რომ აირის გამოსვლა მარაგელადან გარე სივრცეში შესაძლებელი იქნება მხოლოდ მაშინ, როდესაც $p_1 > p_2$. ამ p_1 წნევის შესაბამისი ხვედრითი მოცულობა და ტემპერატურა აღვნიშნოთ v_1 და t_1 -ით. ამგვარად, საქშენში აირის მოძრაობისას ხდება p_1 , v_1 და t_1 პარამეტრებით დახასიათებული აირის მდგომარეობის ცვლილება p_2 , v_2 და t_2 პარამეტრებით დახასიათებულ მდგომარეობამდე. ამასთან, საქშენის ერთი კვეთიდან მეორემდე აირის მოძრაობის სიჩქარე იზრდება და გამოსასვლელ კვეთში უდიდეს მნიშვნელობას აღწევს.



ნაკ. 1-58.

პრაქტიკული მრავალი ამოცანის გადაწყვეტის დროს შესაძლებელია დაეუშვათ, რომ საქშენში აირის ნაკადის მოძრაობა დამყარებულია, ე. ი. რომ საქშენის ყოველ წერტილში აირის პარამეტრები მუდმივი რჩება. ამასთან, გასაგებია, რომ პარამეტრების გარდა, ნაკადის ყოველ წერტილში, აგრეთვე, აირის ნაწილაკების სიჩქარეც მუდმივი რჩება. დამყარებული მოძრაობის დროს სიჩქარისა და მდგომარეობის პარამეტრების ცვლილება ხდება საქშენის ერთი კვეთიდან მეორე კვეთში აირის გადასვლის დროს. ასეთ პირობებში, ერთი წამის განმავლობაში საქშენის ნებისმიერ კვეთში გავლილი აირის წონითი რაოდენობა ერთნაირია და დროის მიხედვით არ იცვლება, ე. ი.

$$\frac{fc}{v} = G = \text{const}, \quad (1-214)$$

სადაც f არის საქშენის კვეთის ფართობი აღებულ ადგილში, c ამ კვეთში აირის ნაწილაკების სიჩქარე, v აირის ხვედრითი მოცულობა და G აირის წამური ხარჯი.

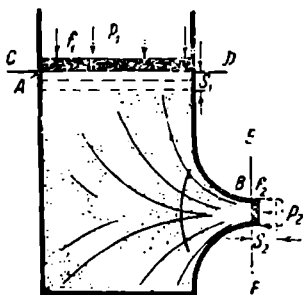
საქშენის ნებისმიერ კვეთში აირის ერთი და იგივე წონითი რაოდენობის ხარჯი ყოველ მომენტში მოძრაობის უწყვეტობას აპირობებს, რის გამოც (1-214) განტოლებას უწყვეტობის პირობა ეწოდება.

განვიხილოთ, თუ რა თერმოდინამიკურ დებულებებზე ემყარება საქუნის გამოყენების საშუალებით აირის პოტენციალური ენერჯიის გარდაქმნა კინეტიკურ ენერჯიად. ამისათვის დავუშვათ, რომ საქუნში აირის გალის დროს ადგილი არა აქვს ხახუნისა და გრივალურ მოვლენებს, რის გამო ზემოაღნიშნული პროცესი შეგვიძლია შექცევად პროცესად ჩავთვალოთ. ამ დავების შემდეგ გამოდინების პროცესისათვის შეგვიძლია თერმოდინამიკის პირველი კანონის განტოლების გამოყენება იმ სახით, რომელიც განიხილება სივრცეში აირის ხილული მოძრაობის შემთხვევისათვის

$$dq = du + Adl' + Ad \left(\frac{c^2}{2g} \right),$$

ს.დ.ა. dl' აირის მიერ შესრულებული მუშაობაა გარე ძალების გადასალახავად, ხოლო $Ad \left(\frac{c^2}{2g} \right)$ აირის ხილული მოძრაობის ენერჯიის ცვლილება.

გარე ძალების მუშაობის გამოსათვლელად CD და EF კვეთებს შორის მოთავსებული აირი გამოვეყთ (ნაკ. 1—59). გარე არეს მოქმედების გათვალისწინებისათვის დავუშვათ, რომ გამოყოფილი აირის ორივე მხრიდან, ერთი CD კვეთში და მეორე EF კვეთში, მოძრაობენ A და B უწონ დგუშები და ამ დგუშებზე მოდებულია გარე ძალები, რომლებიც გარე არეს მოქმედების ტოლძალოვანია. ამასთან, აირის მოძრაობის მიმართულებით A დგუშზე მოქმედებს მიმართულებით ϵ B დგუშზე p_2 წნევა. თუ აღვნიშნავთ A დგუშის ფართობს f_1 -ით, ხოლო B -სი f_2 -ით, მაშინ აირის გამომდინი ძალა იქნება $p_1 f_1$, ხოლო გამოდინების საწინააღმდეგო ძალა $\epsilon - p_2 f_2$. ვთქვათ, რომ 1 კგ აირის გამოდინების დროს დგუშმა A დაიწია s_1 მანძილით, ხოლო B დგუშში ამავე დროს s_2 მანძილით გადაადგილდა. ამ დროს გარე ძალა $p_1 f_1$ ასრულებს მუშაობას $p_1 f_1 s_1$, რომელიც აირზე გარედან იხარჯება; $p_2 f_2$ ძალა კი მიმართულია მოძრაობის საწინააღმდეგოდ და მის გადასალახავად აირი $p_2 f_2 s_2$ მუშაობას ასრულებს. პირველი მათგანი, როგორც აირზე გარედან დახარჯული მუშაობა, უარყოფითია, ხოლო მეორე — დადებითი.



ნაკ. 1—59.

ორივე ამ ძალის მუშაობის შედეგი გამოდინების დროს გარე მუშაობას წარმოადგენს. მაშასადამე.

$$l' = p_2 f_2 s_2 - p_1 f_1 s_1;$$

თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ $f_1 s_1 = v_1$ და $f_2 s_2 = v_2$, მაშინ გვექნება

$$l' = p_2 v_2 - p_1 v_1 = \Delta p v.$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც ჩვენ განვიხილავთ გამოდინების პროცესს, რომელიც აღებულა უსასრულო მცირე ელემენტარული კვეთისათვის, მაშინ

$$dl' = d(pv).$$

თერმოდინამიკის პირველი კანონის განტოლებაში ამ უკანასკნელი გამოსახულების ჩასმით, გვექნება

$$dq = du + Ad(pv) + Ad \left(\frac{c^2}{2g} \right) = d(u + Apv) + Ad \frac{c^2}{2g}; \quad (1-215)$$

მაგრამ, რადგან $u + p v = i$, ამიტომ საბოლოოდ მივიღებთ

$$dq = di + Ad \left(\frac{c^2}{2g} \right). \quad (1-216)$$

ეს უკანასკნელი წარმოადგენს ძირითად განტოლებას აირის ან ორთქლის ნაჯღისათვის: ამასთან იგი მართებულია როგორც შექცევადი, ისე შეუქცევადი გამოდინების პროცესებისათვის.

თუ ვავიოვალისწინებთ $l' = p_2 v_2 - p_1 v_1 = \Delta p v$ გამოსახულებას, ჩანს მდგომარეობის სასრული ცვლილებისათვის (1-215) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს

$$q = \Delta u + A(p_2 v_2 - p_1 v_1) + A \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g}. \quad (1-217)$$

შექცევადი პროცესისათვის, როგორც (1-215) განტოლებიდან ჩანს, გავრთობების შედეგად იხილება გარე წნევის გადაღების მუშაობაზე dl' და აირის გარე კინეტიკური ენერჯის ნაზრდზე; მაშასადამე, გაერთოების შემთხვევაში

$$dl = dl' + d \left(\frac{c^2}{2g} \right) \text{ და } d \frac{c^2}{2g} = dl - d'.$$

მაგრამ, რადგან $dl = p dv$ და $dl' = d(pv) = p dv + v dp$, ამიტომ წინა ტოლობა მიიღებს სახეს

$$\frac{dc^2}{2g} = p dv - p dv - v dp = -v dp.$$

აქედან კი გამომდინარეობს, რომ შექცევადი პროცესის დროს მოძრაობის სიჩქარეს გაზრდა წნევის შემცირებასთანაა დაკავშირებული და, პირიქით.

შესაბამის ზღვრებში მიღებული ტოლობის ინტეგრებით გვექნება

$$\frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} = - \int_{p_1}^{p_2} v dp = \int_{p_2}^{p_1} v dp. \quad (a)$$

თუ მივიღებთ, რომ საწყისი სიჩქარის სიმცირის გამო $c_1 = 0$ და საქმენიდან გამოდინების სიჩქარეს c_2 აღვნიშნავთ c -თი, მაშინ გამოდინების დროს გარე კინეტიკური ენერჯის განსაზღვრისათვის მივიღებთ დამოკიდებულებას

$$\frac{c^2}{2g} = \int_{p_2}^{p_1} v dp. \quad (b)$$

ამ გამოსახულების მარჯვენა მხარეს ხშირად უწოდებენ გარე პოტენციულ ენერჯიას და, აგრეთვე, აირის მუშაობის უნარს.

აღნიშნული ენერჯიის, გამოდინებებს სიჩქარისა და ერთ წამში აირის ბარჯის განსაზღვრისათვის საჭიროა უკანასკნელი გამოსახულების ინტეგრება მოვახდინოთ, რის გამო საჭირო ხდება v და p სიდიდეებს შორის დამოკიდებულების დადგენა, ე. ი. საჭიროა ცოდნა იმისა, თუ რა სახის პროცესი სრულდება გამოდინების დროს. დაშვებით იმისა, რომ აირსა და გარე სივრცეს შორის თბოგადაცემა არ წარმოებს, გამოდინების პროცესი შეგვიძლია ჩავთვალოთ, როგორც ადიაბატური პროცესი, რის გამო შემოაღწინებული სიდიდეები ადიაბატური პროცესისათვის განსაზღვრით.

ადიაბატური პროცესის დროს წნევისა და ხვედრითი მოცულობას შორის დამოკიდებულება აირის რივი მდგომარეობისათვის, როგორც ვიცით, გამოსახება შემდეგნაირად:

$$p v^k = p_1 v_1^k, \quad \text{საიდანაც} \quad v = \left(\frac{p_1 v_1^k}{p} \right)^{\frac{1}{k}}$$

მიღებული მნიშვნელობის (ა) განტოლებაში ჩასმით გვექნება

$$\frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} = \int_{p_2}^{p_1} \left(\frac{p_1 v_1^k}{p} \right)^{\frac{2}{k}} dp. \quad (c)$$

მაგრამ, რადგან $p_1 v_1^k = \text{const}$ და, მაშასადამე, $(p_1 v_1^k)^{\frac{2}{k}} = \text{const}$, ამიტომ (c) გამოსახულება მიიღებს სახეს

$$\frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} = (p_1 v_1^k)^{\frac{2}{k}} \int_{p_2}^{p_1} \frac{dp}{(p)^{\frac{2}{k}}} = p_1^{\frac{2}{k}} v_1^{\frac{2}{k}} \int_{p_2}^{p_1} p^{-\frac{2}{k}} dp,$$

რომლის ინტეგრებით მივიღებთ

$$\frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} = \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right].$$

მიღებულ გამოსახულებაში $c_2 = c$ და $c_1 = 0$ მნიშვნელობების ჩასმით, გვექნება

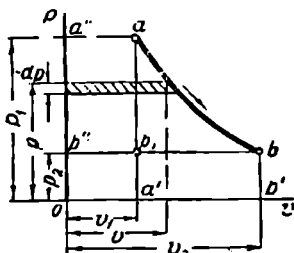
$$\frac{c^2}{2g} = \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad (d)$$

აღიბატური პროცესის დროს, როგორც ვიცით, გაფართოების მუშაობა ტოლია

$$l = \frac{1}{k-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right].$$

ამ განტოლების შედარებით (d) გამოსახულებასთან დავინახავთ, რომ

$$\frac{c^2}{2g} = kl.$$



ნაქ. 1—60.

აქედან კი გამომდინარეობს, რომ გამომდინების დროს კინეტიკური ენერჯია გაფართოების მუშაობაზე მეტია, რადგან $k > 1$. პოლიტროპული პროცესის დროს k -ს მაგიერ უნდა ჩაისვას პოლიტროპის მაჩვენებელი n და, ცხადია, ამ შემთხვევაში კინეტიკური ენერჯია შეიძლება იყოს გაფართოების მუშაობაზე როგორც მეტი, ისე ნაკლებიც, იმისდა მიხედვით n ერთზე მეტი იქნება, თუ ნაკლები.

გამომდინების კინეტიკური ენერჯიისათვის მიღებული (b) განტოლების გამოყენება შესაძლებელია, აგრეთვე, გამომდინების პროცესის $p v$ დიაგრამაზე განხილვით.

აღნიშნულ დიაგრამაზე (ნაქ. 1—60) a წერტილით გამოსახულია აირის მდგომარეობა გამომდინების დასაწყისში. ab შრული გამოსახავს აღიბატურ გაფართოებას გამომდინების დროს, რომლის დროს ხვედრითი მოცულობა v_1 -დან v_2 -მდე იზრდება, ხოლო წნევა p_1 -დან p_2 -მდე ეცემა.

დიაგრამაზე დაშტრიხული ელემენტარული ფართობი შეესაბამება dp წნევის ცვლილებას. ასე, რომ

$$-dF = vdp,$$

ხოლო მთელი $abb''a''a$ ფართობი კი

$$F = \int_{p_2}^{p_1} vdp.$$

მიღებული გამოსახულების (b) გამოსახულებასთან შედარებიდან ვხედავთ, რომ

$$\frac{c^2}{2g} = F$$

და, მაშასადამე, ρv დიაგრამაზე ნაპირა აბსცისებზე, ორდინატთა ღერძით და ადიაბატური გაფართოების პროცესის მრუდით შემოსაზღვრული ფართობი გამოსახავს გამოდინებული აირის ქაველის კინეტიკურ ენერგიას.

როგორც ნახაზიდან ჩანს:

ფართ. $nb''a''a =$ ფართ. $a''aa'a'' +$ ფართ. $abb'a'a -$ ფართ. $b''bb'ob''$,
მაგრამ, რადგან

ფართ. $a''aa'a'' = \rho_1 v_1$, ფართ. $abb'a'a = \frac{1}{k-1}(\rho_1 v_1 - \rho_2 v_2)$, ფართ. $b''bb'ob'' = \rho_2 v_2$,

ამიტომ

$$\frac{c^2}{2g} = \rho_1 v_1 + \frac{1}{k-1}(\rho_1 v_1 - \rho_2 v_2) - \rho_2 v_2.$$

აქედან კი

$$\frac{c^2}{2g} = \frac{k}{k-1}(\rho_1 v_1 - \rho_2 v_2).$$

და, მაშასადამე,

$$\frac{c^2}{2g} = \frac{k}{k-1} \rho_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$$

მიღებული განტოლებიდან განისაზღვრება სიჩქარე

$$c = \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \rho_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}. \quad (1-218)$$

კინეტიკური ენერგიისა და სიჩქარის მნიშვნელობანი შესაძლებელია ავრტოვე განისაზღვროს სითბოშემცველობების საშუალებითაც. ამისათვის გამოვიყენოთ (1-217) განტოლება და მასში ადიაბატური პროცესისათვის ჩავსვათ $q=0$. ამგვარად, მივიღებთ

$$A \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} = -\Delta u - A(\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1).$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ $\Delta u = u_2 - u_1$ და $c_2 = c$, ხოლო $c_1 = 0$, მაშინ

$$A \frac{c^2}{2g} = -(u_2 - u_1) - A(\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1) = (u_1 + A\rho_1 v_1) - (u_2 + A\rho_2 v_2).$$

მაგრამ, რადგან $u_1 + A\rho_1 v_1 = i_1$ და $u_2 + A\rho_2 v_2 = i_2$, ამიტომ

$$A \frac{c^2}{2g} = i_1 - i_2,$$

საიდანაც სიჩქარისათვის მივიღებთ

$$c = \sqrt{\frac{2g}{A} (i_1 - i_2)} \text{ მ/წმ.} \quad (1-219)$$

ამ გამოსახულებაში თუ ჩავსვამთ $g=9,81$ მ/წმ² და $A = \frac{1}{427}$ კკალ/კგმ, მაშინ

$$c = 91,53 \sqrt{i_1 - i_2} \text{ მ/წმ.} \quad (1-220)$$

როდესაც ცნობილია სიჩქარის სიდიდე, მაშინ შესაძლებელი ხდება აირის ხარჯის განსაზღვრა. აირის ხარჯი ერთ წამში განისაზღვრება (1-214) განტოლებით, რომელშიაც ხვედრითი მოცულობის მნიშვნელობა აღებული უნდა იქნეს საბოლოო მდგომარეობისათვის. ამგვარად,

$$G = f \frac{c}{s_2}.$$

ამ გამოსახულებაში $s_2 = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\kappa}}$, s_1 და c სიჩქარის მნიშვნელობების ჩასმით (1-218) განტოლებიდან, გვექნება

$$G = f \sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{p_1}{s_1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa-1}} \right]}. \quad (1-221)$$

როგორც (1-218) და (1-221) განტოლებებიდან ჩანს, გამოდინების სიჩქარე და გამოდინების დროს აირის ხარჯი დამოკიდებულია წნევათა ფარდობაზე $\frac{p_2}{p_1}$. p_2 წნევის გადიდება სიჩქარისა და ხარჯის შემცირებას იწვევს და, პირიქით, p_2 წნევის შემცირება იწვევს სიჩქარისა და ხარჯის ზრდას, რაც საყვებით გასაგებია, რადგან ამ დროს აირის გამოდინების საწინააღმდეგოდ მოქმედი ძალის დაძლევაზე უფრო ნაკლები მუშაობა დაიხარჯება. განვიხილოთ რამდენიმე კერძო შემთხვევა:

1. როდესაც $\frac{p_2}{p_1} > 1$, მაშინ ფესვის ქვეშ მოთავსებული გამოსახულება უარყოფით სიდიდეს გვაძლევს და G სიდიდე წარმოსახვითი ხდება, რაც საყვებით გასაგებია, რადგან ამ შემთხვევაში $p_2 > p_1$, ე. ი. გარე წნევა შიგაზე მეტია და გამოდინება შეუძლებელია.

2. როდესაც $p_2 = p_1$, ე. ი. $\frac{p_2}{p_1} = 1$, მაშინ, როგორც (1-221) განტოლებიდან ჩანს, $G=0$, რადგან გარე და შიგა წნევები ერთიმეორის ტოლია. მაგრამ p_2 -ის შემდგომი შემცირებით ხარჯი იზრდება, აღწევს თავის მაქსიმუმს, ხოლო შემდეგ კი ისევ მცირდება.

3. როდესაც $p_2 = 0$ (ე. ი. გარე სივრცეში აბსოლუტური სიცალიერეა), მაშინ $\frac{p_2}{p_1} = 0$ და ხარჯი $G = 0$, როგორც ამაში დავრწმუნდებით (1-221) განტოლებიდან მასში $\frac{p_2}{p_1} = 0$ მნიშვნელობის ჩასმით.

უქანასენელი დასკვნა გაუგებარია და ცდებით მიღებული შედეგების საწინააღმდე-

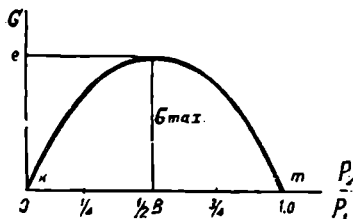
გოა. აღნიშნულის გამოსარკვევად გრაფიკულად განვიხილოთ $\frac{P_2}{P_1}$ წნევათა ფარდობაზე ხარჯის დამოკიდებულება. აბსცისთა ლერძზე გადავზომოთ (ნაქ. 1—61) წნევათა ფარდობის სხვადასხვა მნიშვნელობა

$$\frac{P_2}{P_1} = 0, \frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{4}; \frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{2}; \frac{P_2}{P_1} = \nu; \frac{P_2}{P_1} = \frac{3}{4} \text{ და } \frac{P_2}{P_1} = 1,$$

ხოლო ორდინატთა ლერძზე, კი (1—221) განტოლებიდან განსაზღვრული ხარჯის მნიშვნელობანი; აღებულ შემთხვევაში kHm მრული გამოსახავს ხარჯის სიდიდის ცვლილებას $\frac{P_2}{P_1}$ ფარდობაზე დამოკიდებულებით. მიღებული მრუდის m შტო საეცებით ვასაგებია.

ხოლო kH შტო გამოსახავს ისეთ ცვლილებას, რომელიც ცდებით არ არის დადასტურებული. ცდები გვიჩვენებს, რომ აიჩინებამოდი-
ნების დროს G იცვლება mne მრულით, ე. ი.

წნევათა ფარდობის ცვლილების დროს 1-დან ν -მდე ხარჯი მაქსიმუმამდე იზრდება, ხოლო შემდეგ წნევათა ცვლილების დროს ν -დან 0-მდე G მუდმივი რჩება. ამგვარად, n წერტილით გამოსახულ მნიშვნელობიდან ხარჯი P_2 წნევაზე აღარ არის დამოკიდებული და ამ შემთხვევაში თეორია სინამდვილისაგან განსხვავდება. აღნიშნული განსხვავება აიხსნება იმით, რომ ვიწროვდებადი საქმენის გამოსადენ კვეთში არსებული P_2



ნაქ. 1—61.

წნევა ყოველთვის არ არის ტოლი იმ გარემომცველი არეს წნევისა, სადაც აირი გამოდინდება; რომელიც ზღვარამდე გამოსადენ კვეთში წნევა P_2 ტოლია გარემომცველი არეს წნევისა და, მაშასადამე, გარემოს წნევის შემცირებასთან ერთად მცირდება აგრეთვე P_2 წნევაც, ხოლო ხარჯი G კი იზრდება. ამ ზღვარის შემდეგ გარემოს წნევის შემდგომი შემცირებისას, P_2 წნევა აღარ არის მასზე დამოკიდებული, იგი მუდმივი რჩება, რის გამო გამოდინებულ აირის წონა G უცვლელი რჩება.

ფარდობას $\frac{P_2}{P_1}$, რომლის დროსაც აირის მაქსიმალური ხარჯი გვაქვს, კრიტიკული ფარდობა ეწოდება და აღინიშნება $\nu_{კ}$. ამის შესაბამის P_2 წნევას ეწოდება კრიტიკული წნევა $P_{კ}$, ხოლო სიჩქარეს—კრიტიკული სიჩქარე $c_{კ}$.

განვსაზღვროთ წნევათა კრიტიკული ფარდობა, კრიტიკული სიჩქარე და აირის მაქსიმალური ხარჯი.

რადგან წნევათა კრიტიკული ფარდობა აირის მაქსიმალურ ხარჯს შეესაბამება, ამიტომ იგი გვექნება მაშინ, როდესაც ხარჯისათვის გამოყვანილი (1—221) განტოლების ფესვის ქვეშ მოთავსებულ ცვლად სიდიდეს

$$\left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{3}{\kappa}} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]$$

მაქსიმალური მნიშვნელობა ექნება.

მაქსიმალური მნიშვნელობის განსაზღვრისათვის უყანასკნელი გამოსახულების წარმოებული ავიღოთ და ნულს გავუტოლოთ.

პირველი წარმოებული ტოლია

$$\frac{2}{k} \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{\frac{2-k}{k}} - \frac{k+1}{k} \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{\frac{1}{k}} = 0 \text{ და } \frac{2}{k} \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{\frac{2-k}{k}} = \frac{k+1}{k} \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{\frac{1}{k}}$$

ამ უკანასკნელი ტოლობის ორივე ზერის

$$(k+1) \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{\frac{2-k}{k}}$$

სიდიდეზე გაყოფით მივიღებთ:

$$\frac{2}{k+1} = \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

მაგრამ, რადგან $\rho_2 = \rho_{3a}$, კრიტიკული ფარდობისათვის გვექნება

$$v_{3a} = \frac{\rho_{3a}}{\rho_1} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}. \quad (1-222)$$

უკანასკნელი ფორმულა გვიჩვენებს, რომ წნევათა კრიტიკული ფარდობა მხოლოდ აირის თვისებებზეა დამოკიდებული, რადგან ყოველი აირისათვის k -ს გარკვეული მნიშვნელობა აქვს.

ამგვარად, ყველა იმ შემთხვევაში, როდესაც $\rho_2 > \rho_{3a}$, გამოსადენ კვეთში წნევა გარემოს წნევის ტოლია და აირის ხარჯი განისაზღვრება (1-221) განტოლებით, ხოლო, როდესაც $\rho_2 < \rho_{3a}$, მაშინ გამოსადენ კვეთში წნევა გარემოს წნევას არ უდრის. იგი ტოლი რჩება ρ_{3a} წნევისა, ხარჯი მაქსიმალურია, სიჩქარე კი კრიტიკული.

კრიტიკული სიჩქარის განსაზღვრისათვის (1-218) განტოლებაში $\frac{\rho_2}{\rho_1}$ ფარდობის

მაგიერ უნდა ჩავსვათ $\frac{\rho_{3a}}{\rho_1}$ ფარდობის მნიშვნელობა (1-222) განტოლებიდან.

ამგვარად

$$\begin{aligned} c_{3a} &= \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \rho_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1} \cdot \frac{k-1}{k}} \right]} = \\ &= \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \rho_1 v_1 \left(\frac{k+1-2}{k+1} \right)} = \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \rho_1 v_1 \left(\frac{k-1}{k+1} \right)} \end{aligned}$$

და საბოლოოდ გვექნება

$$c_{3a} = \sqrt{2g \frac{k}{k+1} \rho_1 v_1}. \quad (1-223)$$

მაქსიმალური ხარჯი კი განისაზღვრება (1-221) განტოლების საშუალებით, სადაც

$\frac{\rho_2}{\rho_1}$ -ის მაგიერ უნდა ჩავსვათ $\frac{\rho_{3a}}{\rho_1}$ წნევათა ფარდობის მნიშვნელობა. მაშასადამე,

$$\begin{aligned}
 G_{max} &= f \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \frac{\rho_1}{\rho_2} \left[\left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1} \cdot \frac{1}{k}} - \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1} \cdot \frac{k+1}{k}} \right]} = \\
 &= f \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \frac{\rho_1}{\rho_2} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \left[1 - \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1} - \frac{1}{k-1}} \right]} = \\
 &= f \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \frac{\rho_1}{\rho_2} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \left[1 - \left(\frac{2}{k+1} \right) \right]} = \\
 &= f \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \frac{\rho_1}{\rho_2} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \left[\frac{k+1-2}{k+1} \right]},
 \end{aligned}$$

სიღანაც საბოლოოდ მივიღებთ

$$G_{max} = f \sqrt{2g \frac{k}{k+1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \frac{\rho_1}{\rho_2}} \quad (1-224)$$

გამოსადენი კვეთი განისაზღვრება (1-221) ტოლობიდან

$$f = \frac{G}{\sqrt{2g \frac{k}{k-1} \frac{\rho_1}{\rho_2} \left[\left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{\frac{1}{k}} - \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}} \quad (1-225)$$

კრიტიკული სიჩქარის შესაბამისი f_{min} კვეთი კი განისაზღვრება (1-225) განტოლებით, თუ მასში წნევათა კრიტიკული ფარდობის მნიშვნელობას ჩავსვამთ, ე. ი.

$$f_{min} = \frac{G}{\sqrt{2g \frac{k}{k-1} \frac{\rho_1}{\rho_2} \left[\left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1} \cdot \frac{1}{k}} - \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1} \cdot \frac{k+1}{k}} \right]}}$$

სიღანაც

$$f_{min} = \frac{G}{\sqrt{2g \frac{k}{k+1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \frac{\rho_1}{\rho_2}}}$$

კერძოდ, ორატომიანი აირებისათვის, როდესაც $k=1,4$ გვექნება:

$$\gamma_{კრ} = \frac{\rho_2}{\rho_1} = 0,528; c_{კრ} = 3,38 \sqrt{\rho_1 v_1} = 3,38 \sqrt{RT_1}; G_{max} = 2,14 f \sqrt{\frac{\rho_1}{v_1}}$$

$$f_{min} = \frac{G}{2,14 \sqrt{\frac{\rho_1}{v_1}}}$$

გადაზღვრებული ორთქლისათვის $k=1,3$ და, მაშასადამე,

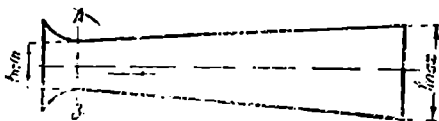
$$\gamma_{36} = \frac{P_{36}}{P_1} = 0,546; c_{36} = 3,331 \sqrt{p_1 s_1}; G_{max} = 2,09 f \sqrt{\frac{p_1}{s_1}}; f_{min} = \frac{G}{2,09 \sqrt{\frac{p_1}{s_1}}}$$

მშრალი ნაჯერი ორთქლისათვის $k = 1,135$ და

$$\gamma_{36} = \frac{P_{36}}{P_1} = 0,577; c_{36} = 3,23 \sqrt{p_1 s_1}; G_{max} = 1,99 f \sqrt{\frac{p_1}{s_1}}; f_{min} = \frac{G}{1,99 \sqrt{\frac{p_1}{s_1}}}$$

ყველა შემთხვევაში შემდეგი განზომილებებია მიღებული: p —კგ/მ²; v —მ³/კგ; c —მ/წმ; G —კგ/წმ და f —მ².

ამგვარად, ვიწროვლებად საქშენში კრიტიკული წნევის შესაბამისი, კრიტიკულ სიჩქარეზე მეტი სიდიდის სიჩქარის მიღწევა გარემოს წნევის შემდგომი შემცირებით შეუძლებელია. ამის მიღწევა ხდება საქშენის კონსტრუქციის შეცვლით. წნევათა მთელი ჩქერის გამოსაყენებლად საქშენს უერთებენ ფართოვლებად ნაწილს; ასეთი საქშენის (ნაკ. 1—62) AB (f_{min}) კვეთში აირს იქნება კრიტიკული სიჩქარე და კრიტიკული წნევა. საქშენის თანდათან გაფართოებულ ნაწილში აირი გარემომცველი არეს ზეგველენის გარეშე გაფართოვდება, წნევა გარემოს წნევამდე დაეცემა, ხოლო ხვედრითი მოცულობა გაიზრდება. ამ დროს აირი შეიძენს



ნაკ. 1—62.

სიჩქარეს, რომელიც წნევის დაცემის დროს მიღებული გაფართოების სრულ მუშაობას შეესაბამება.

1—65. აირმზინა და ორთქლმზინის დროსხაღივობა

შევიწროებულ კვეთში გავლის დროს, აირის ან ორთქლის მდგომარეობის ცვლილების პროცესს, რომელიც წნევის დაცვით მიმდინარეობს, დროსელირება ეწოდება. ასე, მაგალითად, დროსელირების პროცესი გვექნება, როდესაც აირი მილსადენში მოძრაობის დროს გაივლის შევიწროებულ კვეთს, როგორც ეს ნაჩვენებია ნაკ 1—63-ზე.

თუ დავუშვებთ, რომ შევიწროებულ f კვეთში გავლით G კგ რაოდენობის აირი მარცხნიდან მარჯვნივ მოძრაობს, მაშინ დამყარებული ნაკადის შემთხვევისათვის შეგვიძლია გამოვიყენოთ უწყვეტობის განტოლება

$$G = \frac{f_1 c_1}{s_1} = \frac{f c}{s} = \frac{f_2 c_2}{s_2}$$

აღებული მიმართულებით აირის მოძრაობა შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევისათვის, როდესაც f კვეთში წნევა ნაკლებია f_1 კვეთში წნევაზე. უწყვეტობის პირობა რომ იყოს დატული, f კვეთში აირის სიჩქარე f_1 კვეთში სიჩქარეზე მეტი უნდა იყოს, რაც შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, როდესაც შევიწროებული კვეთის f შემდეგ წნევა ნაკლებია შევიწროებული კვეთის წინ წნევაზე. ამგვარად, თუ აღვნიშნავთ წნევას f კვეთის წინ p_1 -ით, ხოლო ამ კვეთის შემდეგ p_2 -ით, მაშინ

$$p_1 > p_2$$

რადგან წინააღმდეგ შემთხვევაში აირის მოძრაობას და, მაშასადამე, I კვეთიდან II კვეთში გადასვლას შევიწროებულ კვეთში გავლით აღვილი არ ექნება. ამასთან, თუ შევიწროებული კვეთის გავლის შემდეგ აირი იმოძრაებს ისეთივე ანდა თითქმის ისეთივე კვეთის მილსადენში, როგორც შევიწროებამდე, მაშინ შევიწროებული კვეთის გამოსასვლელში აირის მიერ შექმნილი კინეტიკური ენერჯია, გრივალური მოძრაობის შედეგად, გადადის ისევ სითბოდ, რომელსაც აირი ითვისებს.

თუ დავეშვებით, რომ მილსადენი, რომელშიაც აირი მოძრაობს, გარედან არც თბება და არც ცივდება, ე. ი. აღვილი არა აქვს არც სითბოს მიწოდებას და არც არინებას, მაშინ აირის დროსელირების პროცესი შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც ადიაბატური; ამასთან, I კვეთიდან II კვეთში გადასვლის დროს აირის მდგომარეობის ცვლილების განხილვისას შეგვიძლია გამოვიყენოთ ძირითადი განტოლება

$$dq = di + Ad \frac{c^2}{2g} \quad (a)$$

საიდანაც $dq = 0$ დროს, გვექნება

$$-di = Ad \frac{c^2}{2g} \quad (b)$$

ინტეგრებით, მივიღებთ

$$i_1 - i_2 = A \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} \quad (c)$$

სადაც სითბოშემცველობა I კვეთში, ხოლო i_2 — სითბოშემცველობა II კვეთში.

ჩვეულებრივად პრაქტიკაში გამოყენებული სჩქარებისათვის $\frac{c_2^2 - c_1^2}{2g}$ სიდიდე შეგვიძლია ნულის ტოლად მივიღოთ, რის შემდეგ დროსელირების პროცესისათვის (c) გამოსახულებიდან მივიღებთ $i_1 - i_2 = 0$ და

$$i_1 = i_2 \quad (1-226)$$

მიღებული ტოლობა საშუალებას გვაძლევს გამოვიტანოთ დასკვნა, რომ დროსელირების პროცესის დროს აირის ან ორთქლის სითბოშემცველობა მუდმივი რჩება, რის გამო დროსელირების პროცესი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც მუდმივი სითბოშემცველობის პროცესი, ე. ი. $i = \text{const}$.

ახლა განვიხილოთ, თუ როგორ იცვლება აირის ტემპერატურა დროსელირების დროს. იდეალური აირისათვის სითბოშემცველობა ფუნქციურა ტემპერატურისა და გამოისახება შემდეგნაირად:

$$di = c_p dt,$$

საიდანაც

$$i_2 - i_1 = c_p (t_2 - t_1).$$

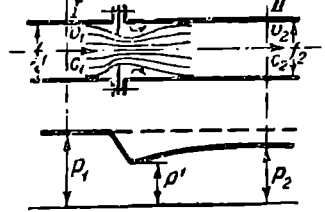
მაგრამ, რადგან $i_2 = i_1$, ამიტომ

$$t_1 = t_2.$$

მაშასადამე, თუ დროსელირებას განვიცდის აირი, რომელიც თავისი თვასებებით უახლოვდება იდეალურ აირს, მაშინ მისი ტემპერატურა უცვლელი რჩება.

სხვა მდგომარეობა გვაქვს რეალური აირისათვის, რომელიც ვან-დერ-ვაალსის გან-

ნაყ. 1-63.



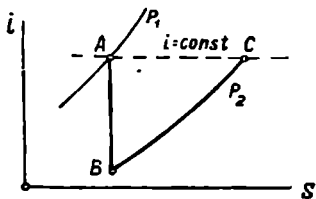
ტოლებას ემორჩილება. ამ შემთხვევაში ტემპერატურის ცვლილებისათვის გამოიყენება ფორმულა*

$$dT = \frac{2a - b}{c_p} dp,$$

სადაც a და b სიდიდეებია, რომლებიც ვან-დერ-ვაალსის განტოლებაში შედიან.

იმისდა მიხედვით, თუ რა მნიშვნელობა ექნება მარჯვენა მხარის მრიცხველს და, მაშასადამე, a და b სიდიდეებს, რეალური აირის ტემპერატურა დროსელირების დროს შეიძლება იყოს მუდმივი $dT = 0$, გაიზარდოს $dT > 0$ და შემცირდეს $dT < 0$. დროსელირების დროს აირების ტემპერატურის შემცირება ფიზიკაში ცნობილია ჯოულ-ტომსონის ეფექტის სახელწოდებით. ამ მოვლენით სარგებლობენ სამაცივრო ტექნიკაში.

დროსელირების პროცესის გამოკვლევა მეტად მოხერხებულია iS დიაგრამაზე, სადაც $i = \text{const}$ პროცესი აბსცისთა ღერძის პარალელური სწორი ხაზით გამოისახება. ეს გარეგობა მუდმივი სითბოშემცველობის ხაზის გატარების შემდეგ, iS დიაგრამაზე საბოლოო მდგომარეობის გამომსახველი წერტილის მოძებნისა და, მაშასადამე, მისი ყველა პარამეტრის განსაზღვრის საშუალებას იძლევა. ამასთან, მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის, რომ მუდმივი სითბოშემცველობის ხაზი (ნაქ. 1—64) AC არ გამოსახავს აირის მდგომარეობის ცვლილებას დროსელირების დროს, რადგან აირის ნამდვილ მდგომარეობებს, როგორც წინასწორულს, მხოლოდ საწყისი A და საბოლოო C წერტილები გამოსახავენ,



ნაქ. 1—64.

შუალედური წერტილები კი ნამდვილ პროცესს არ შეესაბამებიან და, მართლაც, იმის გამო, რომ დროსელირების პროცესს ვიხილავთ, როგორც ადიაბატურს, შევიწროებულ კვეთში სიჩქარის ზრდა მიიღება სითბოშემცველობის შემცირების ხარჯზე და iS დიაგრამაზე იგი AB ადიაბატიც გამოისახება. აღნიშნული პროცესის დროს სითბოშემცველობისა და ტემპერატურის შემცირებასთან ერთად წნევის დაცემაც ხდება. შევიწროებული კვეთის გავლის შემდეგ, როდესაც აირი მილსადენის მთელი კვეთის შეესებას იწყებს, აირის სიჩქარე მცირდება და ხილული მოძრაობის

კინეტიკური ენერჯია გადადის სითბურში, რომელსაც აირი ითვისებს; აირის ტემპერატურა ამ პროცესში $p = \text{const}$ დროს იზრდება და შევიწროებული კვეთიდან რამდენიმედ დაშორებულ კვეთში, სადაც ნაკადი წესიერ ხასიათს ღებულობს, სითბოშემცველობის მნიშვნელობა საწყისს გაუტოლდება (მრული BC). ამგვარად, A და B წერტილებით გამოსახულ მდგომარეობებს შორის პროცესი ცვლადი i და S სიდიდეებით მიმდინარეობს. თუმცა განხილული გრაფიკული გამოსახულება სინამდვილეში მიმდინარე დროსელირების პროცესს არ შეესაბამება, რადგან შევიწროებულ კვეთში წნევის დაცემა ხდება არა p_2 -მდე (იხ. ნაქ. 1—63), არამედ p_2 წნევაზე ნაკლები რომელიღაც p' წნევაამდე ($p' < p_2$) და, ამას გარდა, რადგან შევიწროებული კვეთის შემდეგ წნევა მუდმივი არ არის, მაგრამ მაინც ABC პროცესი უფრო მეტად უახლოვდება სინამდვილეს, ვიდრე მუდმივი სითბოშემცველობის $i = \text{const}$ გამომსახველი AC სწორი ხაზი.

დასასრულ, უნდა აღინიშნოს, რომ გრივალური მოძრაობის შედეგად, რომელიც თანსდევს დროსელირების პროცესს, კინეტიკური ენერჯის ნაზრდი სხეულის მიერ ათვისებულ სითბურ ენერჯიად გარდაიქმნება და, მიუხედავად იმისა, რომ $i_2 = i_1$, სხეული საწყის მდგომარეობას არ უბრუნდება. ამის გამო დროსელირების პროცესი შეუქცევადია.

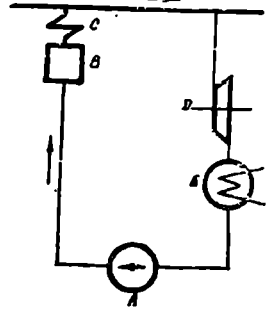
* ამ ფორმულის გამოყენება მოცემულია—**В. Р. Бурсиан и П. Т. Соколов**, лекции по термодинамике, п. 31, 1934 г.
170

ორთქლძალური დანადგარების ციკლები

1-66. ორთქლძალური დანადგარის პრინციპული სქემა

ორთქლძალური დანადგარის ძირითად დანიშნულებას, როგორც სხვა თბობრავებისა, სითბური ენერგიის ხარჯზე მექანიკური ენერგიის მიღება შეადგენს, მხოლოდ განსხვავებით სხვა ძრავებისაგან, ამ შემთხვევაში გამოყენებულია წყლის ორთქლი, რომლის მიღება ხდება არა თვით ძრავაში, არამედ ცალკეულ მოწყობილობაში—ორთქლის ქვაბში.

ორთქლძალური დანადგარის მარტივი სქემა ნაჩვენებია ნაკ. 1-65-ზე, სადაც *B* ასოთი აღნიშნულია ორთქლის ქვაბი. წყლის მიწოდება საკეები ავზიდან ქვაბში წარმოებს საკეები *A* ტუმბოთი. ქვაბში მიწოდებული წყალი, საცეცხლეში სათბობის წყის შედეგად გამოყოფილი სითბოს ხარჯზე ნაჯერ ორთქლად გარდაიქმნება გადახურებული ორთქლის მისაღებად კი ნაჯერი ორთქლი სპეციალური მილსადენებით *C* ორთქლგადამხურებელში მიეწოდება. შემდეგ გადახურებული ორთქლის მიწოდება ხდება *D* ძრავში (ორთქლის მანქანაში ან ორთქლის ტურბინში), სადაც იგი ფართოდება და მუშაობას ასრულებს. ძრავიდან ნამუშეყარი ორთქლი განიღვენება ატმოსფეროში ან *E* კონდენსატორში, რაც, როგორც ამას შემდეგში დავინახავთ, ეკონომიურობის თვალსაზრისით უფრო ხელსაყრელია. კონდენსატორში ორთქლი კონდენსირდება ორთქლადქცევის ფარული სითბოს ართმევის ხარჯზე და კონდენსატი მიეწოდება სპეციალური ტუმბოთი (სქემაზე მოყვანილი არ არის) ჯერ საკეებ ავზში, ხოლო შემდეგ საკეები *A* ტუმბოთი ისევ ქვაბში და ციკლი მეორდება. სიმარტივისათვის საკეები ავზიც სქემაზე მოყვანილი არ არის, რაც გამართლებულია იმ გარემოებით, რომ მასში მუშა სხეულის მდგომარეობის არაფრითარ ცვლილებას არა აქვს ადგილი.



ნაკ. 1-65.

ორთქლძალური დანადგარის ციკლების თერმოდინამიკური გამოკლევის დროს, როგორც ყოველთვის, ჩვენ განვიხილავთ შექცევად პროცესებს, მხოლოდ აღებული სახის დანადგარში ციკლის შესრულების დროს სითბური ენერგიის მექანიკურ ენერგიად გარდაქმნის ხარისხის გამოსარკვევად კი იდეალური ციკლის თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტი. აქედან გამომდინარე, როგორც აირის ძრავების განხილვისას, ამ შემთხვევაშიაც ციკლის შესრულების დროს გავითვალისწინებთ მხოლოდ მონაწილე სითბოს რაოდენობას და მხედველობაში არ მივიღებთ მანქანაში დანაკარგებზე დახარჯულ სითბოს რაოდენობას, მევალითად, გარემოში სითბოს გადაცემაზე, გამოსხივებაზე, ხახუნზე და სხვ. ამგვარად, ჩვენ განვიხილავთ ორთქლძალური დანადგარის იდეალურ ციკლებს.

1-67. კარნოს ციკლი

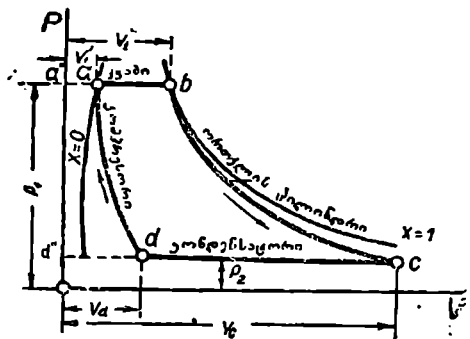
ორთქლძალურ დანადგარებში, მსგავსად აირის ძრავებისა, სინამდვილეში იყენებენ ციკლებს, რომლებიც კარნოს ციკლისაგან მეტად განსხვავებულნი არიან. მაგრამ ის გარემოება, რომ აღებულ ტემპერატურათა ფარგლებში, სითბური ენერგიის მექანიკურ ენერგიად გარდაქმნისათვის, კარნოს ციკლის გამოყენება ყველაზე მეტად ხელსაყრე-

ლია, ამ ციკლით მომუშავე ორთქლძალური დანადგარის განხილვის აუცილებელს ხდის.

კარნოს ციკლით მომუშავე ორთქლძალურ დანადგარში მუშა სხეულად გადახურებული ორთქლის გამოყენება არ შეიძლება, რადგან სითბოს მიწოდების პროცესი, რომლის დროსაც ორთქლადქცევის პროცესი სრულდება, იზოთერმულს მხოლოდ გაჯერების არეში წარმოადგენს. მაშასადამე, კარნოს ციკლით მომუშავე ორთქლძალურ

დანადგარში გამოიყენება მხოლოდ ნაჯერი ორთქლი, რაც გამართლებულია კიდევ იმით, რომ კარნოს ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი მუშა სხეულის ბუნებაზე დამოკიდებული არ არის და თვით ნაჯერი ორთქლის მიღება გადახურებული ორთქლის მიღებასთან შედარებით უფრო ადვილია და იაფიცაა.

1 კვ ნაჯერი ორთქლისათვის კარნოს ციკლით მომუშავე ორთქლძალური დანადგარის წრიული პროცესი *კს* და *T'S* დიაგრამებზე ისე გამოიხატება



ნაკ. 1-66.

ბა, როგორც ეს ნაჩვენებია ნაკ. 1-66 და 1-67-ზე. როგორც ამ ნაკვთებიდან ჩანს, აღებული ციკლი განხორციელებულია არა ერთ რომელიმე დანადგარში, არამედ რამდენიმეში და ამასთან ისე, რომ ციკლის თითოეული პროცესი ცალკეულ დანადგარში შესრულებულს შეესაბამება.

მუდმივი ტემპერატურის დროს სითბოს მიწოდების პროცესს დიაგრამაზე (ნაკ. 1-66) შეესაბამება *ab* ხაზი, რომელიც *კვ*აბში T_{s_1} გაჯერების ტემპერატურის სათანადო p_1 მუდმივი წნევის დროს ორთქლადქცევის პროცესს გამოსახავს. *a* წერტილი ახასიათებს ადუღებულ წყალს, რომლის წნევაა p_1 , ტემპერატურა კი T_{s_1} , ხოლო *b* წერტილი იმავე წნევისა და ტემპერატურის მშრალ ნაჯერ ორთქლს. p_1 წნევის ქვეშ მყოფი მშრალი ნაჯერი ორთქლი მილსადენებით მიეწოდება ორთქლის მანქანის ცილინდრში, რომელშიაც ადიამბატური გაფართოების პროცესის შედეგად მუშაობას მივიღებთ. აღნიშნული პროცესი დიაგრამაზე *bc* მრუდით გამოიხატება. ადიამბატური გაფართოების პროცესის დროს მშრალი ნაჯერი ორთქლი ტენიანი ხდება და მისი ტემპერატურა მცირდება T_{s_2} -მდე, ხოლო წნევა p_2 -მდე. p_2 წნევისა და T_{s_2} ტემპერატურის ტენიანი ნაჯერი ორთქლი ცილინდრიდან ღვეზის საშუალებით განიღვენება კონდენსატორში (გაფართოების დასასრული და განდევნის პროცესის დასაწყისი დიაგრამაზე გამოიხატება *c* წერტილით), სადაც *cd* ხაზით გამოიხატულია იზოთერმული და ამავე დროს იზობარული პროცესი სრულდება. აღნიშნულ პროცესს შეესაბამება კონდენსატორში სითბოს არინების პროცესი, რომლის დროსაც ორთქლის უმეტესი რაოდენობა კონდენსირდება; ამასთან კონდენსატორი ისე უნდა იყოს გაანვარშიებული, რომ სითბოს არინების შედეგად მიღებულ იქნეს d წერტილის შესაბამისი ნარევი. წყლისა და ორთქლის მიღებულ ნარევის კონდენსატორიდან შეიწოვს კომპიუტერი, რომელიც ადიამბატური შეკუმშვის გზით ნარევის მოლიანად p_1 წნევისა და T_{s_1} ტემპერატურის წყლად გარდაქმნის. ეს უქანასკნელი ჩამკეტი პროცესი დიაგრამაზე გამოიხატება *da* მრუდით. ამგვარად, მაღლებულია კარნოს წრიული პროცესი, რომლის მიმდინარეობის დროსაც მუშაობა შესრულებულია წყლის ნაჯერი ორთქლის საშუალებით.

TS სისტემაში აღწერილი დიფერამის განმარტება აქ არ მოგვყავს, რადგან ნაკ. 1—67-დან ციკლის მსილელობა თავისთავად ცხადია. ამ შემთხვევაში მსჯელობის დროს მცირე ასოები დიდი უნდა შევცვალოთ.

აღწერილი ორთქლბალორი დანადგარის თერმული მარტი ქმედების კოეფიციენტი შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს კარნოს ციკლისათვის მიღებული ფორმულით, სახელდობრ,

$$\eta_l = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (a)$$

შესრულებული მუშაობა კი თერმოდინამიკის პირველი კანონის საფუძველზე განისაზღვრება დამოკიდებულებიდან

$$A_l_0 = q_0 = q_1 - q_2.$$

მაგრამ, რადგან

$$\eta_l = \frac{q_1 - q_2}{q_1}$$

და

$$q_0 = q_1 - q_2 = \eta_l \cdot q_1,$$

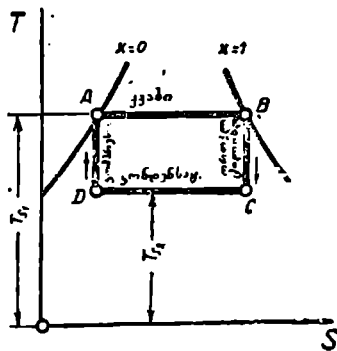
ამიტომ

$$A_l_0 = \eta_l \cdot q_1 \quad (b)$$

სადაც q_1 წარმოადგენს სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც მიწოდებულია ქვაბში ორთქლადქცევის პროცესის დროს, ე. ი. წარმოადგენს r_1 ორთქლადქცევის ფარულ სითბოს. მაშასადამე, (b) გამოსახულებაში ჩანს q_1 -ის მაგიერ r_1 სიდიდისა, ხოლო η_l -ს მაგჯერ მისი მნიშვნელობისა (a) გამოსახულებიდან, მივიღებთ

$$A_l_0 = \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) r_1. \quad (1-227)$$

დასასრულს უნდა აღინიშნოს, რომ, თუმცა კარნოს ციკლით მომუშავე ორთქლბალორ დანადგარში კომპრესორის საჭიროება თერმული მარტი ქმედების კოეფიციენტის თეორიულ მნიშვნელობაზე უარყოფით გავლენას არ ახდენს, მაგრამ მაინც მისი აუცილებლობა დანადგარის ეკონომიურობის თვალსაზრისით შეტად არახელსაყრელია. ეს გარემოება იმით აიხსნება, რომ კომპრესორი შე-



ნაკ. 1—67.

იწოვს არა წყალს, არამედ წყლისა და ნაჯერი ორთქლის ნარევეს. ეს უკანასკნელი კი კომპრესორის ცილინდრის დიდ მოცულობას შოიბოხეს, რაც დანადგარის ზომასა და ღირებულებაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს. ამის გარდა, ცილინდრის დიდ ზომასთან დაკავშირებით, მთელი რიგი დანაკარგები და მანევ წინაღობები, კერძოდ ხახუნის, მნიშვნელოვნად გადიდებული იქნება, რის გამო კომპრესორის მუშაობაზე დაიხარჯება ენერჯიის საკმარისად დიდი რაოდენობა, რაც კარნოს ციკლის თერმული მაღალი მარტი ქმედების კოეფიციენტით დაპირობებული სითბოს ეკონომიას აღემატება. მაშასადამე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ კომპრესორის საჭიროება კარნოს ციკლით მომუშავე ორთქლბალორ დანადგარში სითბოს გამოყენების ხარისხს ამცირებს. აქედან კი გამო-

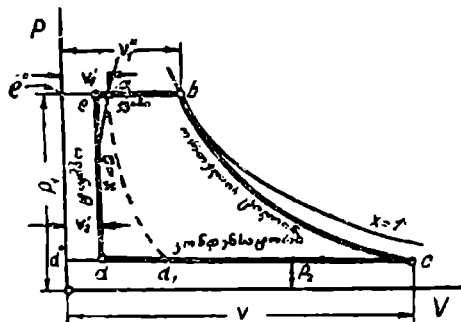
დინარეობს, რომ ორთქლძალური დანადგარი, რომელშიაც აცილებულია კომპრესორის საპირობა, ყველა სხვა დანარჩენი პირობის შენარჩუნების დროს უფრო ეკონომიური იქნება.

უკომპრესიორო ორთქლძალურ დანადგარს წარმოადგენს რენკინის ციკლით მომუშავე დანადგარი, რომელიც კარნოს ციკლით მომუშავე დანადგართან შედარებით უფრო მეტად უახლოვდება ორთქლის ძრავების მუშაობის ნამდვილ პირობებს.

1-68. რენკინის ციკლი

ორთქლძალური დანადგარის სქემა, რომელიც რენკინის ციკლის გამოყენებით არის განხორციელებული, შეგვიძლია გამოვსახოთ ნაკ. 1-65-ზე მოცემულის მსგავსად, მაოლოდ, განსხვავებით წინა შემთხვევისაგან, უნდა ვიგულისხმოთ, რომ კონდენსატორში ხდება ნამუშეარი ორთქლის სრული კონდენსაცია და შემდეგ სპეციალური ტუმბოთი კონდენსატის p_1 წნევამდე შეკუმშვა და ორთქლის ქვაბში მიწოდება.

1 კგ მშრალი ნაჯერი ორთქლისათვის, რენკინის ციკლით მომუშავე ორთქლძალური დანადგარის წრიული პროცესი $p-v$ და $T-S$ სისტემებში ისე გამოისახება, როგორც ნაკ. 1-68 და 1-69-ზეა ნაჩვენები. აღებული დანადგარი, კარნოს ციკლით მომუშავე დანადგარისაგან, როგორც ეს დიაგრამებიდანაც ჩანს, იმით განსხვავდება,



ნაკ. 1-68.

ე. ი. გამოშვების წნევისა. აღნიშნული მოცულობის წყალი ტუმბოთი p_1 წნევამდე იკუმშება, რაც ნაკ. 1-68-ზე გამოსახულ de იზოქორას შეესაბამისება და ორთქლის ქვაბში მიეწოდება. წნევის გადიდების დროს ტუმბოში წყლის ტემპერატურისა და მოცულობის ცვლილებას მხედველობაში არ ვიღებთ, რადგან სითხის უკუმშვადობის გამო (დასაშვებ ფარგლებში) ეს ცვლილებები შედარებით მცირეა.

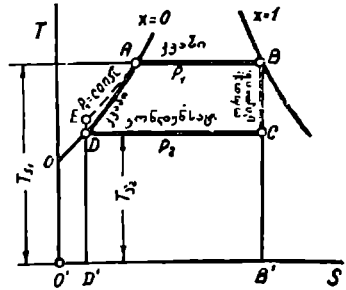
მიღებული s_2 მოცულობის წყლის გათბობა ქვაბში, p_1 წნევის შესაბამისი დუღილის ტემპერატურამდე, ნაკეთზე გამოსახულია ed ხაზით. a წერტილიდან კი რენკინის ციკლი ისე მიმდინარეობს, როგორც კარნოს ციკლი (შედარებისათვის ნაკ. 1-68 და 1-69-ზე წყვეტილი ხაზებით აღნიშნულია კარნოს ციკლში მიმდინარე კონდენსირებული წყლისა და ორთქლის ნარევის ადიაბატური შეკუმშვის პროცესი), სახელდობრ, ab იზობარული (ამავე დროს იზოთერმული) პროცესი—ორთქლადქცევის პროცესი, bc —მშრალი ნაჯერი ორთქლის ადიაბატური გაფართოების პროცესი, რომლის დასასრულს ტენიანი ნაჯერი ორთქლია მიღებული, და ბოლოს cd —იზობარული (ამავე დროს

იზოთერმული) პროცესი—ნამუშევარი ორთქლის სრული კონდენსაცია წყლის მდგომარეობამდე.

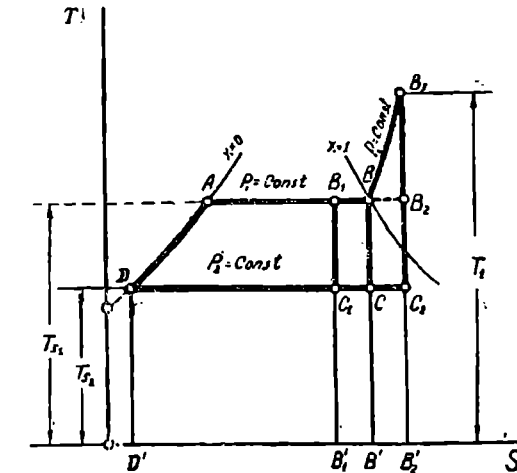
აღსანიშნავია, რომ ქვაბში წყლის გაბობნის პროცესის შესაბამისი *ea* მონაკვეთი, რომელიც იმავე პორიზონტალურ ხაზზე მდებარეობს, რაზედაც *ab* მონაკვეთი, წარმოადგენს მხოლოდ იზობარას (რადგან ამ პროცესის დროს ტემპერატურის ცვლილება ხდება), მაშინ, როდესაც ორთქლადქცევის პროცესის გამომსახველი *ab* ხაზი წარმოადგენს იზობარასაც და ამავე დროს იზოთერმასაც.

ახლა, თუ განვიხილავთ რენკინის ციკლისათვის ნაკ. 1—69-ზე მოცემულ *TS* დიაგრამას და შევხედოვართ მის მივიღებთ, რომ წყლისათვის p_1 იზობარა პრაქტიკულად შეუთავსდება ქვედა ზღვრულ მრუდს, ხოლო E წერტილი კი D წერტილს, მაშინ გვექნება *ABCD* წრიული პროცესი, სადაც ქვედა ზღვრული მრუდის *DA* მონაკვეთი ქვაბში დუღილის ტემპერატურამდე წყლის გაბობნის პროცესს (T_{s1} -დან T_{s2} -მდე ფარგლებში) გამოსახავს.

რენკინის ციკლში, განსხვავებით კარნოს ციკლისაგან მუშა სხეულად, გარდა ნაჯერი ორთქლისა, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს აგრეთვე წყლის გადახურებული ორთქლი, რაც ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის სიდიდეს, როგორც ამას შემდეგში დავინახავთ, ზრდის.



ნაკ. 1—69.



ნაკ. 1—70.

გადახურება განხორციელებულია T_{s1} მუდმივი ტემპერატურის დროს;

4) ABB_2C_2DA წრიული პროცესი, რომლის მიმდინარეობის დროს BB_2 მრუდით გა-

გადახურებული ორთქლისათვის *TS* დიაგრამა მოცემულია ნაკ. 1—70-ზე, რომელზედაც შედარებისათვის გამოსახულია აგრეთვე ნაჯერი ორთქლით მომუშავე ორთქლძალური დანადგარის ციკლებიც. აღნიშნულ ნაკ. 1—70-ზე მოყვანილია შემდეგი შემთხვევები:

1) AB_1C_1DA წრიული პროცესი, რომელშიაც მუშა სხეულად გამოყენებულია ტენიანი ნაჯერი ორთქლი;

2) $ABCD$ წრიული პროცესი, რომელშიაც მუშა სხეულად გამოყენებულია მშრალი ნაჯერი ორთქლი;

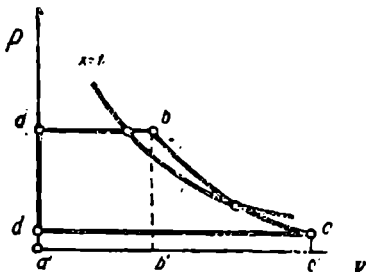
3) AB_2C_2DA წრიული პროცესი, რომლის მიმდინარეობის დროს BB_2 ხაზით გამოსახული

მოსახული ორთქლის გადახურების პროცესი განხორციელებულია p_1 მუდმივი წნევის დროს.

ნაკეთიდან ცხადად ჩანს, რომ ნაჯერი ორთქლით მუშაობის შემთხვევასთან შედარებით წრიული პროცესი მესამე შემთხვევაში მიმდინარეობს იმავე T_1 , და T_2 , ტემპერატურათა ფარგლებში, ხოლო მეოთხე შემთხვევაში კი იმავე p_1 და p_2 წნევათა ფარგლებში. ამ უკანასკნელ შემთხვევაში გადახურებული ორთქლის ტემპერატურა p_1 წნევის შესაბამისი ვაჯერების ტემპერატურაზე მეტია, ე. ი. თუ გადახურებული ორთქლის ტემპერატურას აღვნიშნავთ T_1 -ით, გვექნება, რომ $T_1 > T_{s1}$.

ორთქლის გადახურების პროცესები, რომლებიც დიაგრამაზე გამოსახულია BB_1 და BB_2 ხაზებით, სრულდება ორთქლის ქვაბთან დაყენებულ გადამხურებელში, ხოლო ამ შემთხვევების შესაბამისი B_2C_2 ან B_3C_2 პროცესები კი ორთქლის ძრავაში (ორთქლის მანქანაში ან ორთქლის ტურბინაში).

ახლა, თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ სითბის v' , მოცულობა ორთქლის მოცულობასთან შედარებით წყვეტს და მას ნხედველობაში არ მივიღებთ, მაშინ გადახურებული ორთქლისათვის რენკინის ციკლით მომუშავე ორთქლძალურ დანადგარის დიაგრამა $p-v$ სისტემაში ისე გამოისახება, როგორც ეს ნაკ. 1-71-ზეა მოცემული. ამასთან, ეს შემთხვევა შეესაბამება ნაკ. 1-70-ზე TAS სისტემაში გამოსახულ მეოთხე შემთხვევას, ე. ი. როდესაც ორთქლის გადახურების პროცესი მიმდინარეობს $p_1 = \text{const}$ მუდმივი წნევის დროს და გადახურებული ორთქლის ტემპერატურა $T_1 > T_{s1}$.



ნაკ. 1-71.

გამოყარკვით ერთ ციკლში მიღებული სასარგებლო მუშაობა. ამისათვის გამოვიყენოთ ნაკ. 1-71-ზე მოცემული დიაგრამა და დავუშვათ, რომ აღწერილ წრიულ პროცესში მოწინააღმდეგეობს 1 კგ ორთქლი.

ანალოგიურად სხვა შექცევადი ციკლების* ამ შემთხვევაშიაც სასარგებლო მუშაობა გრაფიკულად გამოისახება $abcda$ ფართობით, რომელიც განისაზღვრება ტოლობიდან

$$l_0 = \text{ფართ. } abcda = \text{ფართ. } abb'a'a + \text{ფართ. } bcc'b'b - \text{ფართ. } cc'a'dc. \quad (a)$$

აღნიშნული მუშაობის ანალიზური გამოსახულების დასადგენად გამოვსახოთ იგი პარამეტრების საშუალებით, რისთვისაც აღვნიშნოთ ორთქლის წნევა ქვაბში p_1 -ით, ხოლო ჰენდრიდან გზის დროს და ორთქლის ცილინდრში შემავალი ორთქლის ხვედრითი მოცულობა v_1 -ით; ცხადია, რომ ამ პარამეტრებიანი მდგომარეობის ორთქლს დიაგრამაზე b წერტილი შეესაბამება.

ამ აღნიშვნების შემოღების შემდეგ ფართობი $abb'a'a$ შეგვიძლია გამოვსახოთ შემდეგნაირად:

$$\text{ფართ. } abb'a'a = p_1 v_1.$$

ახლა, თუ შივა ენერჯიას bc ადიაბატური გაფართოების დასაწყისში u_1 ით აღვნიშნავთ, ხოლო დასასრულში u_2 -ით, მაშინ ფართობი $bcc'b'b$, როგორც ადიაბატური

* მიღებული ციკლის შექცევაობისათვის საჭიროა ვივალისხმოთ, რომ სითბოს მიწოდება ხდება არა ქვაბში და გადამხურებელში წვის ნაწარმის სითბოს ხარჯზე, არამედ სითბოს ცხელი წყაროს საშუალებით.

გაფართოების შედეგად მიღებული მუშაობის გრაფიკულად გამომსახველი, შეიძლება შემდეგნაირად განისაზღვროს:

$$\text{ფართ. } bcc'b'b = \frac{(u_1 - u_2)}{A}$$

შემდეგ, თუ კონდენსატორში შემაველი ორთქლის პარამეტრებს აღვნიშნავთ p_2 და v_2 -ით (დიაგრამაზე შეესაბამება c წერტილი), მაშინ

$$\text{ფართ. } cc'a'dc = p_2 v_2$$

მიღებული ნიშნენლობების (a) გამოსახულებაში ჩასმით, გვექნება

$$l_0 = p_1 v_1 + \frac{u_1 - u_2}{A} - p_2 v_2$$

საიდანაც

$$Al_0 = Ap_1 v_1 + u_1 - u_2 - Ap_2 v_2$$

ან

$$Al_0 = (u_1 + Ap_1 v_1) - (u_2 + Ap_2 v_2)$$

რადგან მიღებული ტოლობის მარჯვენა ნაწილის ფრჩხილებში მოთავსებული სიდიდეები სითბოშემცველობებს გამოსახავენ, ამიტომ, თუ აღიბატური პროცესის საწყისი და საბოლოო მდგომარეობის სითბოშემცველობებს შესაბამისად აღვნიშნავთ i_1 და i_2 -ით, მაშინ ერთი კილოგრამი ორთქლის მიერ შესრულებული მუშაობისათვის საბოლოოდ გვექნება

$$Al_0 = i_1 - i_2 \quad (1-228)$$

ე. ი. რენკინის ციკლში 1 კგ ორთქლის მიერ შესრულებული სასარგებლო მუშაობა h_0 აღიბატურ პროცესში ორთქლის საწყისი და საბოლოო მდგომარეობების სითბოშემცველობათა სხვაობის ტოლია.

ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი განისაზღვრება ზოგადი დამოკიდებულებიდან, სახელდობრ,

$$\eta_i = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{q_0}{q_1}$$

მაგრამ, რადგან

$$q_0 = Al_0$$

ამიტომ

$$\eta_i = \frac{Al_0}{q_1}$$

სადაც q_1 წარმოადგენს სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც საჭიროა კონდენსატორიდან ქებაში მიწოდებული 1 კგ წყლის დუღილის ტემპერატურამდე გათბობისა და ორთქლად-ქცევისათვის. ამგვარად, თანხმად ზემოთხსენებული აღნიშვნებისა, თუ i_1 წარმოადგენს ორთქლის ქებაიდან გამოშვალ და, მაშასადამე, ორთქლის მანქანის ცილინდრში შემაველი ორთქლის სითბოშემცველობას, ხოლო i_2 ქებაში მიწოდებული 1 კგ წყლის სითბოშემცველობას, მაშინ

$$q_1 = i_1 - i_2$$

და (1-228) განტოლების საფუძველზე რენკინის ციკლით მოქმედავ ორთქლადური დანადგარის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი შეიძლება შემდეგნაირად გამოისახოს:

$$\eta_1 = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i'_2} \quad (1-229)$$

რადგან კონდენსატორში წნევა მეტად მცირეა, (1-229) განტოლების გამოყენების დროს დასაშვებია მიღებულ იქნეს

$$i'_2 \approx i_2,$$

სადაც i_2 კონდენსატის ტემპერატურაა.

მაშასადამე (1-229), განტოლება მიიღებს სახეს

$$\eta_1 = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_2} \quad (1-230)$$

როგორც ვხედავთ, რენკინის ციკლით მომუშავე ორთქლძალურ დანადგარში წესრულებული მუშაობა და, აგრეთვე, მისი თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტი მეტად მარტივად განისაზღვრება. i_2 დიაგრამით, რისთვისაც საკმარისია მოვძებნოთ დიაგრამაზე საწყისი და საბოლოო წერტილების მდებარეობანი და მათი საშუალებით საკმარის პარამეტრები უკვე ცნობილი გზით განესაზღვროთ.

თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტის გარდა ციკლის მეტად მნიშვნელოვან დამახასიათებელ სიდიდეს წარმოადგენს, აგრეთვე, ორთქლის ხვედრითი ხარჯი, რომელსაც გაიანგარიშებენ როგორც ერთ ცხ. ძალა-საათზე, ისე 1 კვტს-ზე.

რენკინის ციკლში 1 კვ ორთქლით შესრულებული მუშაობა, როგორც ვიცით, განისაზღვრება ფორმულით

$$A l_0 = i_1 - i_2.$$

ზეგრამ, რადგან 1 ცხ. ძალა-საათი ეკვივალენტურია 632 კკალ-ისა, ამიტომ ორთქლის ხარჯი ერთ ცხ. ძალა-საათზე იქნება

$$d_0 = \frac{632}{A l_0} = \frac{632}{i_1 - i_2} \text{ კგ/ცხ. ძ. ს.} \quad (1-231)$$

1 კვტს-ზე ორთქლის ხარჯი ანალოგიურად მიიღება, მხოლოდ ამ შემთხვევაში უნდა გავითვალისწინოთ, რომ 1 კვტს ეკვივალენტურია 860 კკალ-ისა. მაშასადამე, 1 კვტს-ზე ორთქლის ხარჯი იქნება

$$d = \frac{860}{i_1 - i_2} \text{ კგ/კვტს.} \quad (1-232)$$

ამგვარად, ორთქლის ხვედრითი ხარჯის განსაზღვრა i_2 დიაგრამითაც არის შესაძლებელი.

ორთქლის საწყისი და საბოლოო პარამეტრების გავლენა შ. კ. კ-ის სიდიდეზე

ციკლის თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტის გამოკვლევისათვის საკმარისა წინასწარ გამოვარკვეოთ, თუ რა სიდიდეები ახდენენ გავლენას. მის მნიშვნელობაზე. ამისათვის განვიხილოთ განტოლება (1-229), საიდანაც ჩანს, რომ ციკლის თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობა i_1 , i_2 და i'_2 სიდიდეებზეა დამოკიდებული. თავის მხრით i_1 სიდიდე, რომელიც უზმარი ორთქლის სითბოშემცველობას წარმოადგენს, p_1 წნევისა და t_1 ტემპერატურის საშუალებით განისაზღვრება. საკვები წყლის i'_2 სითბოშემცველობა კი განისაზღვრება ნამუშევარი ორთქლის p_2 წნევის საშუალებით. p_1 , t_1 და p_2 სიდიდეები ადიაბატური გაფართოების ბოლოში ორთქლის i_2 სითბოშემცველობის განსაზღვრის საშუალებას იძლევიან. ამგვარად, ციკლის თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობა საეცემბით განისაზღვრება p_1 , t_1 და p_2 სიდიდეებით. ამისათვის ცალ-ცალკე განვიხილოთ ამ სიდიდეების გავლენა.

ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის დამოკიდებულება ორთქლის საწყის t_1 ტემპერატურაზე. მ. ქ. კ-ზე ზემომოყვანილი ერთ-ერთი პარამეტრის გავლენის გამოკვეთა ხდება მთელი რიგი გაანგარიშებების საშუალებით, ამასთან გაანგარიშებები უნდა შესრულდეს იმ პარამეტრის ცვლილებით, რომლის გავლენის გამოკვეთვა საჭირო, დანარჩენი ორი პარამეტრის უცვლელად დატოვების დროს. მაშასადამე, საწყისი ტემპერატურის გავლენის გამოსარკვევად უნდა ვცვალოთ იგი გაანგარიშების დროს.

როგორც გაანგარიშებები გვიჩვენებენ, ციკლი მით უფრო ხელსაყრელია, რაც მეტია გადახურებული ორთქლის ტემპერატურა. ამაში ჩვენ ადვილად დავრწმუნდებით, თუ განვიზიარებთ ქვემოთმოყვანილ 1—6 ცხრილს, რომელიც შედგენილია გაანგარიშების საფუძველზე. ცხრილში მოყვანილი თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის ყველა მნიშვნელობა მიღებულია ერთი და იგივე $p_2 = 0,04$ ატა საბოლოო წნევისათვის.

ც ხ რ ი ლ ი 1—6

გადახურებული ორთქლის ტემპერატურის გავლენა რენკინის ციკლს თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტზე

გადახურებული ორთქლის ტემპერატურა $t_1^{\circ}C$	250°	350°	450°
საწყისი წნევა p_1 ატა			
10	0,305	0,314	0,331
20	0,334	0,344	0,359
40	0,365	0,372	0,388
60	—	0,391	0,402
80	—	0,401	0,412
100	—	0,405	0,420

როგორც ცხრილიდან ჩანს, ნულშივე საწყისი p_1 წნევისა და საბოლოო p_2 წნევის დროს გადახურებული ორთქლის ტემპერატურის ამაღლებით თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის სიდიდე იზრდება, თუმცა უმნიშვნელოდ, რადგან $i_1 - i_2$ სითბოშემცველობათა სხვაობის გადიდებამანაც ერთად საწყისი სითბოშემცველობაც i_1 იზრდება. სინამდვილეში კი მალაღი ტემპერატურას გადახურებული ორთქლის გამოყენების დროს ეკონომია, თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის ფორმულის საშუალებით თეორიულად განსაზღვრულ ეკონომიაზე, გაცილებით უფრო მეტია, რადგან ნაკლები სითბოს დანაკარგებია ორთქლსადენ მილებში და სხვ.

ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის დამოკიდებულება საწყის წნევაზე. საწყის წნევაზე ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის დამოკიდებულების გამოკვეთისათვის საჭიროა განვიზიარებთ, თუ რა გავლენას ახდენს საწყისი p_1 წნევის ცვლილება თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობაზე, როდესაც t_1 და p_2 სიდიდეები არ იცვლებიან. თუ მივიღებთ, რომ $t_1 = 400^{\circ}C$ და $p_2 = 0,04$ ატა, მაშინ სივადასხვა საწყისი p_1 წნევისათვის 1—229 განტოლების საფუძველზე მივიღებთ თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტების მნიშვნელობებს, რომლებიც 1—7 ცხრილშია მოყვანილი.

ც ხ რ ი ლ ი 1—7

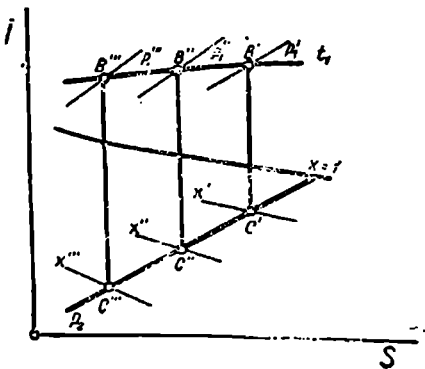
საწყისი წნევის გავლენა რენკინის ციკლს თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტზე

p_1 ატა	10	20	40	60	80	100	120	140
η_i	0,324	0,351	0,380	0,396	0,407	0,414	0,419	0,423

როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს, საწყისი წნევის გადიდება თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის ზრდას იწვევს; აღსანიშნავია, რომ საწყისი წნევის გადიდების დროს ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის გადიდების გარდა, ის უპირატესობა გვაქვს, რომ გარკვეული წნევიდან დაწყებული აორთქლებამდე დაბარჯული სითბოს მცირდება. მაგრამ, ამავე დროს წნევის გადიდებას მოჰყვება ის, რომ გაფართოების დასასრულს ორთქლის ტენიანობა მატულობს, რაც ნათლად ჩანს ნაკ. 1—72-ზე მოყვანილი i_s დიაგრამიდან, რომელზედაც მოცემულია სამი სხვადასხვა შემთხვევა საწყისი $p_1''' > p_1'' > p_1'$ წნევებისათვის. აღებულ შემთხვევებში ყველაზე მეტი ტენიანობა გვაქვს, როდესაც საწყისი წნევაა p_1'' , ე. ი. გვაქვს, რომ

$$x''' < x'' < x'$$

ანუ, რაც მეტია საწყისი წნევა ერთი და იგივე საბოლოო წნევის დროს, მით უფრო ნაკლებია სიმშრალის ხარისხი. ტენიანობის გადიდება გაფართოების ბოლოში მეტად არასასურველი მოვლენაა, რადგან დანაკარგების ზრდის გამო ტურბინში სითბოს გამოყენებას აფარცებს და შესაძლებელია, რომ ტურბინის ფრთების დაზიანება გამოიწვიოს. ტურბინში გამოყენებული $t_1 = 480 - 500^\circ C$ ტემპერატურიანი ორთქლისათვის საწყისი წნევა მიღებულია $p_1 = 90$ ატა, რომლის გადიდება აღებული ტემპერატურისათვის ტენიანობის დაუშვებელ სიდიდეს იძლევა.



ნაკ. 1—72.

კოეფიციენტის მნიშვნელობანი გამოისახება 1—8 ცხრილში მოცემული სიდიდეებით.

ცხრილი 1—8

საბოლოო წნევის გავლენა რენჟინის ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტზე

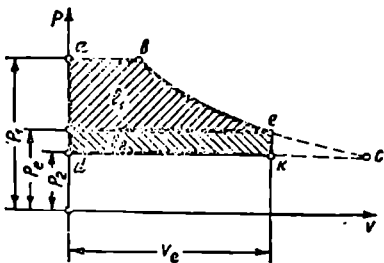
p_2	0,04	0,1	0,8	1,2	2	3	5	8
η_i	0,388	0,363	0,295	0,277	0,254	0,222	0,207	0,178

მოყვანილი ცხრილიდან ჩანს, რომ საბოლოო წნევის გადიდებასთან ერთად ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი მცირდება და, პირიქით. მაშასადამე, რაც უფრო მცირე იქნება ორთქლის ძრავიდან გამოსული ორთქლის წნევა, მით უფრო ეკონომიური ციკლი გვექნება. ატმოსფერულზე ნაკლები გამოყვების წნევის მისაღებად კი გამოყენებულია კონდენსატორი, რომელშიაც გაუზომება შენარჩუნებული. ორთქლის მანქანებისათვის კონდენსატორში მიღებულია წნევა $0,1 \div 0,15$ ატა, ხოლო ორთქლის ტურბინებისათვის კი $0,03 \div 0,05$ ატა. ამგვარად, რადგან კონდენსატორი გაფართოების

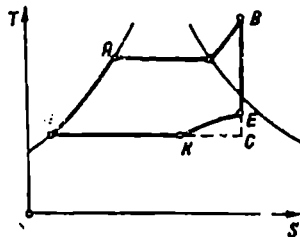
დასასრულს წნევის შემცირების საშუალებას იძლევა, ამიტომ მისი გამოყენება ორტქლ-
ძალურ დანადგარებში ეკონომიურობის თვალსაზრისით მეტად ხელსაყრელია.

1-გვ. შიშის ციკლი

რენკინის ციკლს აქვს ის ნაკლოვანება, რომ ორტქლის ცილინდრი მნიშვნელოვ-
ნად დიდია მიღებული. მანქანები ორტქლის სრული გაფართოებით არახელსაყრელია
იმის გამო, რომ ცილინდრის დიდი ზომები იწვევს მანქანის ღირებულების გადიდებას
და ამასთან ერთად ცილინდრის მოკულობასთან დაკავშირებული მთელი რიგი დანა-
ქარგების გაზრდას. შეიერმა ამის საფუძველზე წარმოადგინა, რენკინის ციკლისაგან
განსხვავებით, ციკლი ორტქლის არასრული გაფართოებით, რომლის გამოსახულება *p-v*
და *T-s* დიაგრამებზე მოცემულია ნაკ. 1-73 და 1-74-ზე. ორტქლის გაფართოება



ნაკ. 1-73.



ნაკ. 1-74.

წყდება არა *e* წერტილში, როგორც ეს რენკინის ციკლში გვექნა, არამედ *e* წერ-
ტილში. ამით მუშაობის რამდენიმედ შემცირების ხარჯზე ვალწევთ ცილინდრის მუშა
მოკულობის მნიშვნელოვან შემცირებას და სათანადოდ მანქანის გაიაფებას.

აღნიშნულ ციკლში ერთი კილოგრამი მუშა სხეულის მიერ შესრულებული მუშაობა
როგორც ნაკ. 1-73-დან ჩანს, განისაზღვრება დამოკიდებულებიდან

$$l_0 = l_1 + l_2.$$

l_1 მუშაობა, ისე როგორც რენკინის ციკლში, განისაზღვრება ფორმულით

$$l_1 = \frac{i_1 - i_e}{A}, \text{ ხოლო მუშაობა } l_2 = (p_e - p_2) v_e. \text{ მაშასადამე,}$$

$$i_0 = \frac{(i_1 - i_e)}{A} + (p_e - p_2) v_e. \quad (1-233)$$

ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი კი განისაზღვრება დამოკიდებუ-
ლებიდან

$$\eta_t = \frac{Al_0}{q_1}.$$

(1-233) ფორმულიდან

$$Al_0 = (i_1 - i_e) + A(p_e - p_2) v_e, \quad (1-234)$$

ხოლო

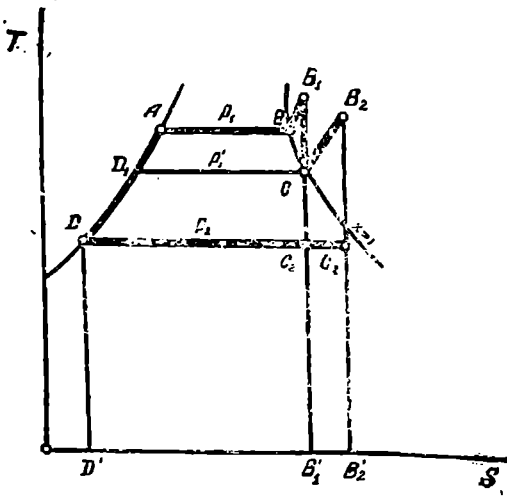
$$q_1 = i_1 - i'_1.$$

მაშასადამე,

$$\eta_t = \frac{(i_1 - i_e) + A(p_e - p_2) v_e}{i_1 - i'_1}. \quad (1-235)$$

რენკინის ციკლის განხილვისას დავინახეთ, რომ, რაც უფრო მეტი გვექონდა ორთქლის საწყისი წნევა, მით უფრო მეტი იყო ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი. მაგრამ ამავე დროს საწყისი წნევის გადიდება შეზღუდული იყო გაფართოების ბოლოს ორთქლის გადიდებული ტენიანობით, რომელიც ტურბინის ფრთების გამძლეობის თვალსაზრისით არ უნდა აღემატებოდეს 0,10—0,12. მაშასადამე, ეკონომიურობის თვალსაზრისით საჭირო ხდება ძრავებში ისეთი ციკლის განხორციელება, რომელიც ორთქლის ადებული ტემპერატურის დროს, ერთის მხრით, მაღალი წნევის გამოყენებისა და, მეორეს მხრით, გაფართოების ბოლოში ამ ძრავასათვის ორთქლის ტენიანობის დასაშვები სიდიდის შენარჩუნების საშუალებას მოგვცემს. ასეთ საშუალებას წარმოადგენს ორთქლის შუალედური გადახურება, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს.

ორთქლის ტურბინში გადამხურებლიდან მიწოდებული გადახურებული ორთქლი მაღალი წნევის საფეხურებში გაფართოების შემდეგ აირიდება განსაკუთრებულ გადამხურებელში, სადაც იგი ხელახლა გადახურდება. ამის შემდეგ კი გადახურებული ორთქლი მიეწოდება შემდგომ საფეხურებში, სადაც იგი კონდენსატორის წნევამდე ფართოვდება. გასაგებია, რომ მაღალი წნევის საფეხურებში ორთქლის გაფართოება წარმოებს რომელიცა p'_1 შუალედურ წნევამდე, რომლის დროსაც ორთქლის ხელმეორედ გადახურების პროცესი სრულდება.



ნაკ. 1-75.

დროს — CB_2 ხაზით და შემდგომ საფეხურებში p_2 —წნევამდე გაფართოების პროცესი — B_2C_1 ხაზით. როგორც ნაკეთიდან ჩანს, ციკლი რომ ორთქლის შუალედური გადახურების გარეშე შესრულებულიყო, მაშინ p_2 წნევამდე გაფართოების დროს უფრო ნაკლები სიდიდის სიმშრალის ხარისხს მივიღებდით, რადგან c_2 წერტილი $x=1$ მრუდიდან უფრო მეტად არის დაშორებული, ვიდრე c_1 წერტილი, რომელიც გამოსახავს გაფართოების დასასრულს ციკლში ორთქლის შუალედური გადახურებით. იგივე ნათლად ჩანს ნაკ. 1-76-ზე მოცემულ is დიაგრამიდანაც, რომელიც იმავე შემთხვევისათვის არის აღებული, რაც ნაკ. 1-75-ზე აღებული შემთხვევა. is დიაგრამაზე გამოსახულია პირველ მაღალი წნევის საფეხურში გაფართოება 1-2 ხაზით, ორთქლის მეორედი გადახურება 2-3 ხაზით და მეორე დაბალი წნევის საფეხურში გაფართოება 3-4 ხაზით. ამ დიაგრამაზე მე-5 წერტილი გამოსახავს ორთქლის იმ მდგომარეობას, რომელიც მიღებული იქნებოდა მაშინ, 182

რომ ორთქლის შუალედური გადახურება არ გამოვეყენებინა და კონდენსატორის p_2 წნევაზე ორთქლი გაფართოებულიყო. ამ დიაგრამაზეც მე-5 წერტილი $x=1$ მრუდიდან მე-4 წერტილზე უფრო შორს არის მოთავსებული, რაც ნამუშევარი ორთქლის ნაკლები სიმშრალის ხარისხის მაჩვენებელია.

ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის დაეუბრუნდეთ ნაკ. 1—75-ზე გამოსახულ დიაგრამას. ამ შემთხვევაშიაც ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტს სასარგებლოდ გამოყენებული სითბოს რაოდენობისა და დახარჯული სითბოს რაოდენობის ფარდობით განვსაზღვრავთ.

მაღალი წნევის საფეხურში სასარგებლოდ გამოყენებული სითბოს რაოდენობა გამოისახება ABB_1CD_1A ფართობით, ხოლო დაბალი წნევის საფეხურში $D_1CB_1C_1DD_1$ ფართობით. ქვაბნი დახარჯული სითბოს რაოდენობა გამოისახება $ABB_1B'_1D'DA$ ფართობით, ხოლო მეორადი გადახურებაზე დახარჯული სითბოს რაოდენობა კი $CB_1B'_1C'$ ფართობით.

ამგვარად,

$$\eta_r = \frac{\text{ფართ. } ABB_1CD_1A + \text{ფართ. } D_1CB_1C_1DD_1}{\text{ფართ. } ABB_1B'_1D'DA + \text{ფართ. } CB_1B'_1C'}$$

ანუ თუ სითბოშემცველობების საშუალებით გამოვსახებთ, მაშინ

$$\eta_r = \frac{i_1 - i_2 + i_3 - i_4}{i_1 - i'_1 + i_3 - i_2} \quad (1-236)$$

გაანგარიშებები გვიჩვენებენ, რომ თუ შუალედური გადახურების პარამეტრები სწო-

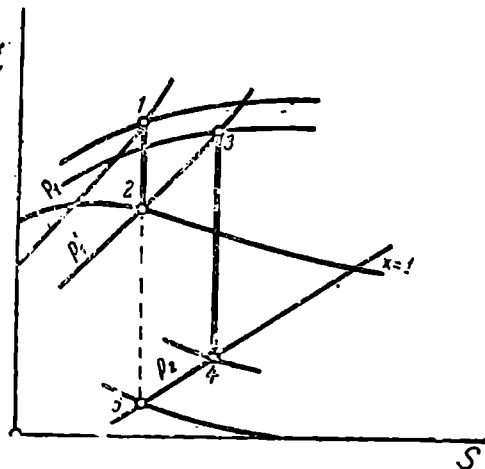
რადაა შერჩეული, მაშინ ორთქლის შუალედური გადახურებით მომუშავე ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი რენკინის ციკლის თერმულ მარგი ქმედების კოეფიციენტზე მეტია. ეს გადიდება დაახლოებით 2—3% შეადგენს.

1—71. თაოზიკასიის თერმული-ნამომხარო საფუძვლი

ორთქლალურ დანადგარებში, რომლებშიაც ხდება მხოლოდ მექანიკური ან ელექტრული ენერჯიის გამომუშავება, ადვილი აქვს სითბური ენერჯიის მნიშვნელოვან დანაკარგებს.

რენკინის ციკლის განხილვისას დადგენილ იქნა, რომ საბოლოო წნევის შემცირებით მისი თერმული მარგი ქმედების

კოეფიციენტი და, მაშასადამე, 1 კგ ორთქლის ხარჯზე მიღებული მუშაობა იზრდება. აქედან გამომდინარე იყენებენ კონდენსატორებს, სადაც აღწევენ ორთქლის კონდენსაციის ხარჯზე გაუხშოვას. თანამედროვე კონდენსაციურ ტურბინებში ნამუშევარი ორთქლის წნევა მიღებულია 0,03—0,04 ატა. მაგრამ ორთქლის კონდენსაციის დროს გამოვივებელ წყალს თან გამოაქვს სითბოს ღიდი რაოდენობა და ამ სახით 50%-ზე მეტი



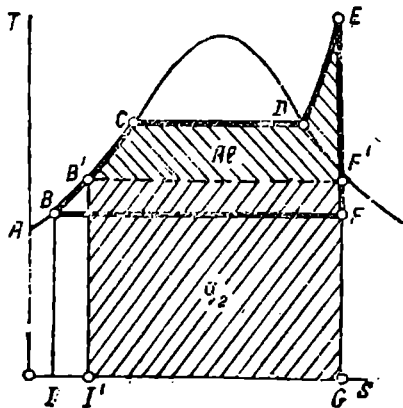
ნაკ. 1—76.

სითბოს დანაკარგი გვაქვს. ამგვარად, ცირკულირებულ წყალს გამოაქვს სითბოს დიდი რაოდენობა, რომლის გამოყენება მუშა სხეულის დაბალი ტემპერატურის გამო შეუძლებელია. მისი ტემპერატურა დაახლოებით 25—30°C-ის ტოლია. ამის გარდა, თუ გავითვალისწინებთ საქვებებს დანაკარგებს, ტურბინებისა და გენერატორების მექანიკურ და ელექტრულ დანაკარგებს და სხვ., მაშინ მივიღებთ, რომ კონდენსაციურ ორთქლის ტურბინებში სითბოს გამოყენება შეადგენს მხოლოდ 25—36%..

ბუნებრივია, რომ იზადება საკითხი ცირკულაციური წყლის სითბოს გამოყენების შესახებ. მრეწველობის მრავალი დარგი: ქიმიური, საფეიქრო, ქაღალდის, კვების და სხვ. საჭიროებს საწარმოო მიზნებისათვის 5—16 ატ წნევის ორთქლს. ამის გარდა, მრეწველობის ამ დარგების საწარმოები, ისე როგორც კომუნალური საწარმოები და საცხოვრებელი სახლები საჭიროებენ საყოფაცხოვრებო მიზნებისათვის (აბანო, საშეფუთრი, სამრეცხაო) 60—80° ტემპერატურიან ცხელ წყალს და ვაზობისათვის 0,7—2,5 ატ წნევის ორთქლს ან 70—110° ტემპერატურიან ცხელ წყალს. მაშასადამე, ამ მიზნებისათვის ცირკულაციური წყლის სითბოს გამოყენება შეუძლებელია. ცალკეულ შემთხვევებში ცირკულაციური წყლის გამოყენება შესაძლებელია სოფლის მეურნეობაში, თბოსადგურების, მახლობლად ბოსტნეული და სხვა კულტურების მოსარწყავად.

გამაცივებელი წყლის სითბოს გამოყენებისათვის საჭიროა მისი ტემპერატურისა და, მაშასადამე, ორთქლის ტურბინიდან კონდენსატორში შემავალი ორთქლის წნევის გადიდება, ე. ი. ვაკუუმის გაუარესება. ამ შემთხვევებში იყენებენ გაუარესებულ ვაკუუმთან დანადგარებს, რომლებშიაც საკმარისად მაღალ ტემპერატურიან გამაცივებელ წყალს იყენებენ სითბოთი მომხმარებლის მომარაგებისათვის. სხვა ტიპის დანადგარებში მომხმარებლების სითბოთი მომარაგებისათვის იყენებენ ტურბინში ნაწილობრივ ნამუშევარ ორთქლს. ამგვარად, ამ დანადგარებში, რომლებსაც თბო ენ ე რ ი ა ნ თ ბ ო ე ლ ე ქ ტ რ ო ც ე ნ ტ რ ა ლ ე ბ ი ეწოდებათ, კონდენსაციური დანადგარებისაგან განსხვავებით, გამოიყენებენ არა მარტო ელექტრული ენერჯია, არამედ აგრეთვე სითბური ენერჯიაც მომხმარებლის მოთხოვნილებათა დასაკმაყოფილებლად.

თბოეიკაციური დანადგარის სქემა TS დიაგრამაზე მოცემულია ნაკ. 1—77-ზე.



ნაკ. 1—77.

თბოეიკაციური დანადგარისათვის TS დიაგრამაზე $BCDEFB$ წინათ მიღებული ციკლის მაგიერ მივიღებთ $B'CDEF'B'$ ციკლს, რომელშიაც B' -ით გამოსახული ძრავიდან გამომავალი ორთქლის მდგომარეობის წნევა და ტემპერატურა გაცილებით მეტია, ვიდრე B წერტილით გამოსახული ორთქლის მდგომარეობისა. ამ შემთხვევაში მუშაობაზე გამოყენებული სითბოს რაოდენობა უფრო ნაკლებია, ვიდრე 1-ლ შემთხვევისათვის, რაც ჩანს $BCDEFB$ და $B'CDEF'B'$ ფართობების შედარებიდან. ეს შემცირება გამოსახება $B'F'FB'$ ფართობით. სამაგიეროდ კი აქ მივიღებთ უფრო მეტ ტემპერატურიან და წნევიან ორთქლს და შესაძლებელი იქნება ნამუშევარი ორთქლის სითბოს გამოყენება. მაშასადამე, თუ წინათ $BFGIB$ ფართობით გამოსახული სითბოს რაოდენობა გამოიყენებოდა რჩებოდა, ახლა $B'FGI'B'$

ფართობით გამოსახული სითბოს რაოდენობა გამოიყენება სითბოს მომხმარებლების მოთხოვნილებათა დასაკმაყოფილებლად.

ფართობი $B'CDEGI'B'$ გამოსახავს 1 კვ ორთქლის ზილებზე დახარჯულ q_1 სითბოს რაოდენობას, ფართობი $B'CDFE'F'B'$ ერთი ციკლის განმავლობაში სასარგებლოდ დახარჯულ სითბოს რაოდენობას, ხოლო ფართობი $B'F'GI'B'$ ნომინარებულზე გადაცემულ q_2 სითბოს რაოდენობას. ახლა თუ Al -ით აღვნიშნავთ მუშაობად გარდაქმნილ სითბოს რაოდენობას, მაშინ თბოფიკციური დანადგარისათვის სრუბოს გამოყენების კოეფიციენტი

$$K = \frac{Al + q_2}{q_1}$$

რადგან q_2 სითბო, რომელიც კონდენსაციურ დანადგარში იკარგებოდა, აქ გამოიყენება. თუ უგულვებელყოფთ ტურბინში მექანიკურ დანაჯარებს, სითბოს დანაჯარეს ქვაბში, ორთქლსადენებში და სხვ., მაშინ სითბოს გამოყენების კოეფიციენტი ერთის ტოლი იქნება. სინამდვილეში კი ეს კოეფიციენტი 65—70% შეადგენს.

განსილულ თბოფიკციურ დანადგარებში, სადაც ტურბინიდან გამომავალი ორთქლის წნევა ვადიდებულია, გამოყენებულ ტურბინებს ეწოდებათ უუტწნევიანი. მაგრამ უმთავრესად გამოყენებულია ტურბინები ორთქლის შუალედური ართმევით. ეს ტურბინები აგებულია, როგორც კონდენსაციური, ხოლო მათში გავაჟლისწინებულია სწავდასხვა საფეხურიდან საჭიროებისამებრ ორთქლის ართმევა. იმ შემთხვევაში კი, როდესაც სითბოს არ საჭიროებს მომხმარებელი, იგი მუშაობს როგორც კონდენსაციური ტურბინი.

1—72. რეგენერაციული ციკლი

წინა პარაგრაფში განხილული სითბოს შერეული გამოყენება შეიძლება განხორციელდეს იქნეს თვით ორთქლძალურ დანადგარში, თუ მომუშავე ორთქლის სითბოს გამოიყენებთ კონდენსატის გასათბობად. კონდენსატის შეთბობა პრინციპულად არ განსხვავდება წყლის შეთბობისაგან, როდესაც იგი გვინდა გამოიყენოთ შენობების გათბობისა და ტექნოლოგიური მიზნებისათვის, მხოლოდ აქ იგი უნდა განვიხილოთ, როგორც თვით თბოფიკტრული სადგურის სითბოს შიგა მოხმარება. ამ შემთხვევაში ხდება ორთქლის ტურბინიდან ორთქლის ართმევა, ხოლო ამ ორთქლის სითბოს ხარჯზე — შეთბობა კონდენსატისა, რომელსაც ორთქლის ქვაბში აწვდიან.

ტურბინიდან ორთქლის ართმევა მუშა პროცესის მიმდინარეობის დროს ხდება. ართმეულ ორთქლს აწვდიან სპეციალურ შემთბობებს (რეგენერატორებს), რომლებშიც, აგრეთვე, ვადის კონდენსატორიდან გამომავალი კონდენსატი. კონდენსატის გასათბობად საჭირო ორთქლის ართმევა შესაძლებელია განხორციელებულ იქნეს ტურბინის ნებისმიერი ადგილიდან იმისდა მიხედვით, თუ რა ტემპერატურამდე უნდა გავათბოთ მიღებული კონდენსატი. მიზანშეწონილია ორთქლის ართმევა რამდენიმე ადგილას მოვაწყუოთ და კონდენსატიც რამდენიმე შემთბობში გავათბოთ. ამგვარად, ტურბინი იმუშავებს ორთქლის ერთი ან რამდენიმე შუალედური ართმევით. აღნიშნული წესით საკვები წყლის შეთბობას ეწოდება რეგენერაციული, ხოლო შესაბამის ციკლს — რეგენერაციული ციკლი.

წყლის რეგენერაციული შეთბობით მომუშავე ორთქლძალური დანადგარის სქემა ნაკ. 1—78-ზეა მოცემული. სიმარტივისათვის დაშვებულია, რომ მუშა სხეულად გამოყენებულია 1 კვ ორთქლი. ორთქლის შუალედური ართმევა მოწყობილია მხოლოდ ერთ ადგილას, ხოლო კონდენსატის გათბობა შემთბობშია განხორციელებული. დაუშვათ, რომ ტურბინში შემავალი ყოველი კილოგრამი ორთქლიდან ართმეულია a_1 კვ ორთქლი, რომლის წნევა p_1 -ით აღვნიშნოთ. ამ შემთხვევაში a_1 კვ ორთქლი p_1 წნევიდან p_2 წნევაამდე ფართოდდება, ხოლო დანარჩენი $1 - a_1$ კვ ორთქლი, რომელიც კონდენსატორში მიემართება, ფართოდდება გამოშვების, ე. ი. კონდენსატორის p_2 წნევაამდე. a_1 კვ რაოდ.

დენობის ართმეული ორთქლი მიეწოდება უშუალოდ D შემთბობში, სადაც იგი $1-a_1$ კვ რაოდენობის კონდენსატს შეერევა და გაათბობს მას. შერევის შემდეგ კი, ცხაღია, მივიღებთ მუშა სხეულის ისევ სრულ რაოდენობას, ე. ი. 1 კვ-ს.

ორთქლის შუალედური ართმეით რეგენერაციული ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის მივმართოთ ისევ TS დიაგრამას (ნაქ. 1-79), რომელზედაც გამოასახულია 1 კვ გადახურებული ორთქლისათვის რეგენერაციული ციკლი ორთქლის შუალედური ერთი ართმევით.

აღებულ შემთხვევაში a_1 კვ რაოდენობის ართმეული ორთქლი ასრულებს $ABBC'D'A$ ციკლს, ხოლო დანარჩენი $1-a_1$ კვ რაოდენობის ორთქლი $ABBCDA$ ციკლს. აღებული ციკლის თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ კონდენსატის შეთბობა აქ ორჯერ ხდება; ერთი შემთბობში T_{s_2} ტემპერატურიდან T'_{s_1} ტემპერატურამდე (DD' პროცესი) და შემდეგ ჩვეულებრივი გზით ქებაში ($D'A$ პროცესი) T'_{s_1} ტემპერატურიდან T_{s_1} ტემპერატურამდე.

T_{s_2} ტემპერატურიდან T'_{s_1} ტემპერატურამდე კონდენსატის გასათბობად საჭირო ორთქლის რაოდენობას განვსაზღვრავთ იმ პირობიდან, რომ ართმეული ორთქლის მიერ კონდენსატზე გადაცემული სითბო და კონდენსატის მიერ მიღებული სითბო ერთიმეორის ტოლია. თუ აღვნიშნავთ ართმეული ორთქლის სითბოშემცველობას i'_1 -ით, ხოლო სითბის სითბოშემცველობას i''_1 -ით, რომელიც შეესაბამება ართმეული ორთქლის წნევის სათანადო ვაჯერების ტემპერატურას, მაშინ a_1 კვ რაოდენობის ართმეული ორთქლის მიერ გადაცემული სითბოს რაოდენობა იქნება $(i'_1 - i''_1)a_1$, ხოლო $(1-a_1)$ კვ რაოდენობის კონდენსატის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა კი ტოლი იქნება $(i''_1 - i'_2)(1-a_1)$, სადაც i'_2 არის სითბის სითბოშემცველობა კონდენსატორში არსებული წნევის შესაბამისი ვაჯერების ტემპერატურის დროს.

ამგვარად, გვექნება

$$(i'_1 - i''_1) a_1 = (i''_1 - i'_2) (1 - a_1),$$

საიდანაც

$$a_1 = \frac{i''_1 - i'_2}{i'_1 - i''_1}. \tag{1-237}$$

დანადგარის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტს კი მივიღებთ ზოგადი წესით, როგორც ორთქლის ტურბინში მიწოდებული 1 კვ ორთქლის მიერ შესრულებული A_1 მუშაობისა და ამ ორთქლის მისაღებად დახარჯულ q_1 სითბოს რაოდენობის ფარდობას.

$(1 - a_1)$ კვ რაოდენობის ორთქლი ფართოვდება p_1 საწყისი წნევიდან p_2 კონდენ-

სატის წნევამდე, და, მაშასადამე, მის მიერ შესრულებული მუშაობა იქნება $(1-a_1)(i_1-i_2)$, სადაც i_1 არის ძრავაში მიწოდებული ორთქლის სითბოშემცველობა, ხოლო i_2 კონდენსატორში შემაჯალი ორთქლის სითბოშემცველობა.

დანარჩენი a_1 კგ რაოდენობის ორთქლი ფართოდება p_1 წნევიდან p'_1 წნევამდე ასე რომ, მის მიერ შესრულებული მუშაობა შემდეგნაირად გამოისახება:

$$a_1(i_1 - i'_1).$$

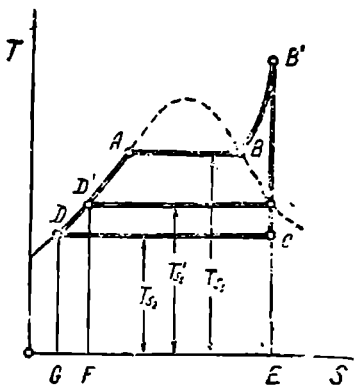
ამგვარად, ორთქლის მთელი რაოდენობით შესრულებული მუშაობისათვის გვექნება

$$Al_0 = (1-a_1)(i_1-i_2) + a_1(i_1-i'_1).$$

ორთქლის ტურბინში მისაწოდებელი ორთქლის მისაღებად მხოლოდ სითბოს ის რაოდენობა იხარჯება, რომელაც D' წერტილით გამოსახული მდგომარეობის კონდენსატრიდან A წერტილით გამოსახული მდგომარეობის მუშა სხეულის მიღებისათვის ქებაშია დახარჯული. მაშასადამე, ციკლის თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტი გამოისახება შემდეგი განტოლებით

$$\eta_1 = \frac{Al_0}{q_1} = \frac{(1-a_1)(i_1-i_2) + a_1(i_1-i'_1)}{i_1-i'_1} \quad (1-238)$$

რეგენერაციულ ციკლში, ერთის მხრივ, ვამცირებთ 1 კგ ორთქლის მიღებისათვის საჭირო სითბოს ხარჯს (რადგან ტურბინში ნამუშევარი ორთქლის სითბურ ენერჯიას კონდენსატის გასათბობად ვეყენებთ) და, მეორეს მხრივ, კი ტურბინში მიწოდებული ყოველი კილოგრამი ორთქლის მუშაობას, რაც ორთქლის ბუდრითი ხარჯს ზრდის, მაგრამ, მიუხედავად ამისა, ორთქლის ართმევის გამოყენება და ართმეული ორთქლით საყვები წყლის რეგენერაციული შეთბობა სითბოს ხედრით ხარჯს მაინც ამცირებს, ე. ი. დანადგარის თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტს ზრდის. აღებულ შემთხვევაში ეკონომია დამოკიდებულია შეთბობის ტემპერატურაზე და, მაშასადამე, ართმევის წნევაზე.



ნახ. 1-79.

1-73. ცნება ბინარულ ციკლზე

რენკინის ციკლის თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტის განხილვისას ჩვენ გამოვიკვლიეთ წყლის ორთქლის პარამეტრების გავლენა თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტზე და დავადგინეთ მის პირობები, რომელთა დროს სითბოს გამოყენების ხარისხი უმაღლესდება. ამის გარდა, შემდეგში დავინახეთ, რომ საყვები წყლის რეგენერაციული შეთბობისა და ორთქლის შუალედური გადაბურების გამოყენებით ციკლის თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტა იზრდება. ამგვარად, სწავლასხვა ლონისძიების გამოყენების საშუალებით ჩვენ შეგვიძლია ორთქლის ტურბინის დანადგარის მარჯი ქმედების კოეფიციენტის გადიდება. წყლის ორთქლით მოქმევე დანადგარების თერმული მარჯი ქმედების კოეფიციენტის შემდგომი გადიდება შეზღუდულია წყლის ორთქლის თერმოდინამიკური მახასიათებლებით, როგორც არის კრიტიკული მდგომარეობის შედარებით დაბალი ტემპერატურა, ორთქლადქცევის ფარული სითბოსა და სითბის სითბოტრეადობის ფარდობის მცირე სიდიდე და სხვ.

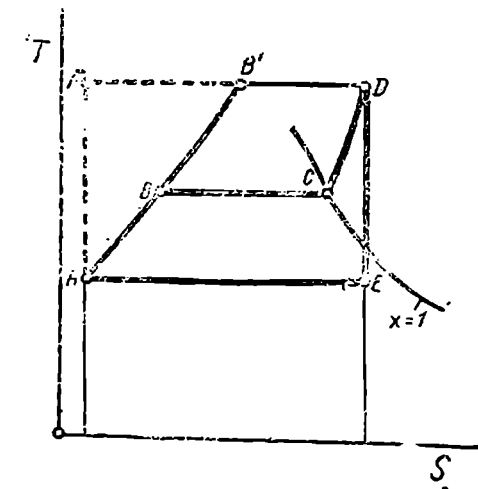
წყლის ორთქლისათვის t_{s1} ტემპერატურას ვადრეკვა შეზღუდულია შედარებით

ნიკარე სიდიდის კრიტიკული ტემპერატურით $t_{კრ} = 374^{\circ}\text{C}$, რომელიც დაკავშირებულია დიდ წნევასთან $p_{კრ} = 225$ ატა. ციკლის საწყისი ტემპერატურის გადიდება შესაძლებელია ნაოლოდ ორთქლის გადახურებით, რაც კარნოს ციკლიდან რენკინის ციკლის მერ გადასრას იწვევს. წყლის ორთქლით განხორციელებული ციკლიდან ტემპერატურის ზღვარი კი შეზღუდულია კონდენსატორში მიმდინარე გაციეების პირობებით, რომლებიც არა უმეტეს $9^{\circ}\text{--}97^{\circ}$ ვაკუუმით მუშაობის საშუალებას იძლევიან. $p_2 = 0,04$ ატ წნევას კონდენსაციის $28,6^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურა შეესაბამება. ამგვარად, წყლის ნაჯერი ორთქლის გამოყენების შემთხვევაში გვაქვს საცხებით გარკვეული და შეზღუდული ტემპერატურათა სხვაობა, რომელიც ყველაზე სრულქმნილი ციკლის, სახელდობრ, კარნოს ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის

$$\eta_{13} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (a)$$

გადიდებას ზღვარს უდებს. ცხადია, რომ დანარჩენი ციკლებისათვის, მაგალითად, რენკინის ციკლისათვის, იმავე ტემპერატურულ ფარგლებში თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი (a) ფორმულით განსაზღვრულზე ნაკლები იქნება.

როგორც უკვე აღნიშნული გვქონდა, ტემპერატურული ფარგლების გადიდება რენკინის ციკლში შესაძლებელია ორთქლის გადახურებით, რაც ნაკ. 1—80-ზე CD ხაზით არის გამოსახული. თუმცა ამ შემთხვევაში რენკინის ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი გადიდებულია, მაგრამ მაინც იგი იმავე ტემპერატურულ ფარგლებში აღებული, კარნოს ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტზე ნაკლები იქნება, რაც ნათლად ჩანს ნაკ. 1—80-დან, სადაც, აგრეთვე, კარნოს ციკლი (AFDEA) გამოსახულია.



ნაკ. 1—80.

ნის ციკლში, კარნოს ციკლთან შედარებით, სასარგებლოდ გამოყენებული არ არის სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც ABCDEA ფართობით გამოისახება. ფარდობას

$$\frac{\text{ფართ. } ABCDEA}{\text{ფართ. } AFDEA}$$

ციკლის შევსების კოეფიციენტი ეწოდება. ცხადია, რომ აღნიშნული კოეფიციენტი შეგვიძლია გამოვიყენოთ, როგორც ციკლის ეკონომიურობის მაჩვენებელი აღე-

ბულ ტემპერატურულ ფარგლებში. რაც უფრო მეტი იქნება ეს სიდიდე, მით მეტი იქნება ციკლში სითბოს გამოყენების ხარისხი, რადგან აღებულ შემთავევანი ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი კარნოს ციკლისა მიუხსლოვდება.

ციკლის შევსების კოეფიციენტის გადიდება და, მაშასადამე, ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტის გადიდებაც შესაძლებელია საწყისი წნევის ზრდით, მაგრამ თუნდაც კრიტიკული წნევა რომ ავიღოთ, იგი მაინც მცირე იქნება. თუ მივიღებთ, რომ $t_1 = 500^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 28,6^{\circ}\text{C}$ და $p = 225$ ატა, მაშინ ციკლის შევსების კოეფიციენტი 0,522 იქნება. ასე, რომ, ციკლის შევსების კოეფიციენტის სიდიდე შეზღუდულია წყლის ორთქლის ფიზიკური თვისებებით. ნაქ. 1—80-დან ჩანს, რომ შევსების კოეფიციენტი და, მაშასადამე, თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტიც მით უფრო იღი იქნება, რაც უფრო ზემოთ მოთავსდება BC ხაზი და რაც უფრო ქვემოთ—AE ხაზი. ეს უკანასკნელი კი ციკლის ტემპერატურული ფარგლების გადიდების მაჩვენებელი იქნება.

ციკლის ტემპერატურული ფარგლების გაფართოების მიღწევა შესაძლებელი გახდება, თუ წყალს შევცვლით ისეთი მუშა სხეულით, რომლის დუდილის ტემპერატურა მუშა წნეების დროს და კრიტიკული ტემპერატურა უფრო მაღალი იქნება. ამგვარად, თუ ჩვენ მოქმედებით ისეთ მუშა სხეულს, რომლის ორთქლადქცევის პროცესი უფრო მაღალი ტემპერატურის დროს იწარმოებს და, მაგალითად, B'D ხაზით გამოხსებული პროცესით (ნაქ. 1—80) შევსებულდება, მაშინ ჩვენ მივიღებთ უფრო მეტი შევსების კოეფიციენტის მქონე ABCDEA ციკლს. ცხადია, რომ ასეთი ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი ABCDEA ციკლისაზე მეტი იქნება. მაშასადამე, რაც უფრო მეტია საწყისი მუშა წნევის დროს მუშა სხეულის დუდილის ტემპერატურა, მით უფრო ხელსაყრელია ეს თერმულად. აგრეთვე მნიშვნელობა აქვს კონდენსატორში შემავალი ორთქლის წნევის შესაბამის გაჯერების ტემპერატურასაც.

ნაქ. 1—80-დან ჩანს, რომ შევსების კოეფიციენტის ნიშნელობაზე გავლენა აქვს აგრეთვე AB' ხაზის მიმართობას; რაც უფრო მარჯვნივ იქნება B' წერტილი, მით შევსების კოეფიციენტი ნაკლები იქნება. AB' ხაზის მდებარეობა კი შეგვიძლია განვსაზღვროთ B'D პროცესისა და AB' პროცესის დროს მიწოდებულ სითბოთა ფარდობით, ე. ი. ორთქლადქცევის ფარული სითბოსა და სითბის სითბოს ფარდობით

$$\frac{r}{q} = \frac{r}{c_{pm} t}$$

ამგვარად, ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი, გარდა გაჯერების ტემპერატურისა, აღებული წნევის დროს დამოკიდებულია ორთქლადქცევის სითბოზე და სითბის სითბოტევადობაზე. ამასთან, უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ ეს გავლენა შესაძლებელია აცილებულ იქნეს სითბის რეგენერაციული შესაბამისი შეთბობის გამოყენებით.

ამგვარად, ციკლის ეკონომიურობაზე სხეულის ფიზიკური თვისებების გავლენის განხილვის დროს უმარტიველესად უნდა აღინიშნოს ორთქლის საწყისი და საბოლოო წნევის შესაბამისი გაჯერების ტემპერატურათა გავლენა.

ერთ-ერთ მუშა სხეულთაგანს, რომელსაც დუდილის მაღალი ტემპერატურა აქვს, ვერცხლისწყალი წარმოადგენს. მისი კრიტიკული ტემპერატურა $t_{kr} = 1000^{\circ}\text{C}$ -ზე მეტია, ხოლო ატმოსფერული წნევის დროს მისი დუდილის ტემპერატურა უდრის 357°C . თანამედროვე პირობებში პრაქტიკულად დასაშვები ტემპერატურის დროს $t = 500^{\circ}\text{C}$ ვერცხლისწყლის ორთქლის წნევა შეადგენს მხოლოდ 8,5 ატა. $500-25^{\circ}$ ტემპერატურათა ზღვრებში ვერცხლისწყლის ორთქლით განხორციელებული ციკლის ფარდობითი თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი 96%-ის ტოლია, მაშინ, როდესაც იმავე ტემპერატურ-

რულ ზღვრებში წყლის ორთქლით განხორციელებული ციკლის ფარდობითი თერმული ნაზივი შედეგის კოეფიციენტი არა უმეტეს 80—81% -ს შეადგენს. ეს გარემოება იმით აიხსნება, რომ ვერცხლისწყლის ორთქლი მუშაობს არა გადახურებულ მდგომარეობაში, არამედ ნაჯერში და, რომ სითხის სითბოტევადობის სიდიდის სიმცირის გამო ქვედა ზღვრული მრუდი ზემოთკენ მეტად ციცაბოდ არის მიმართული.

მაგრამ პრაქტიკულად ასეთ ტემპერატურულ ფარგლებში ვერცხლისწყლის ორთქლით ციკლის განხორციელება შეუძლებელია, რადგან ვერცხლისწყლის ორთქლის მეტად დაბალი ტემპერატურების დროს საჭირო ვაკუუმს ვერ უზრუნველყოფთ. $t_{\text{კ}} = 28,6^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურას შესაბამება ვერცხლისწყლის გაყენითილი ორთქლის წნევა $p_{\text{კ}} = 0,00000347$ ატა, ე. ი. თითქმის სრული ვაკუუმი, რაც ორთქლის მეტად დიდი ხვედრითი მოცულობასთანაა დაკავშირებული; ეს უკანასკნელი გარემოება კი ასეთი დანადგარის განხორციელებას შეუძლებელს ხდის.

ექსპლოატაციასში მიღებული ვაკუუმის (96%) დროს ვერცხლისწყლის ორთქლის კონდენსაციის ტემპერატურა 217°C იქნება. ცხადია, რომ არ შეიძლება ასეთი მაღალი ტემპერატურაინი ორთქლის შეშვება კონდენსატორში, რადგან სითბოს დიდ რაოდენობას დაეკარგავდით.

ამჟამად ცნობილი ყველა ნივთიერებისაგან ჯერჯერობით ვერ არის შერჩეული ისეთი მუშა სხეული, რომლის გამოყენება ორთქლძალური დანადგარის ციკლისათვის, საჭირო ტემპერატურულ ფარგლებში, შესაძლებელი იყოს, რადგან ყველა ამ ნივთიერებას აქვს ან მეტად დაბალი საწყისი ტემპერატურა ნაჯერი ორთქლისა (როგორც წყალს), ანდა საბოლოო ტემპერატურის მეტად მაღალი ზღვარი (როგორც ვერცხლისწყალს). ამის გამო განხორციელებულია ეგრეთ წოდებული ბინარული ციკლები, ე. ი. ისეთები, რომლებშიც გამოყენებულია ორი მუშა სხეული. ამ მუშა სხეულებიდან თითოეული გამოყენებულია დანადგარის იმ ნაწილში, სადაც მისი თვისებები კიდურ ტემპერატურათა პრაქტიკულად მრწველ ზღვრებს შორის აღებული დანადგარის დიარაინდ უდრდეს წესებსს უზრუნველყოფს, რაც, თავის მხრივ, მ. ქ. კის მაქსიმალური მნიშვნელობის მიღების საშუალებას მოგვცემს.

ერთ-ერთ მუშა სხეულად გამოყენებულია წყალი, რომლის ტემპერატურის ქვედა ზღვარი მისაღებია. მეორე მუშა სხეულად კი ისეთი უნდა იყოს გამოყენებული, რომელსაც მცირე წნევების დროს გაჯერების უფრო მაღალი ტემპერატურა ჰქონდეს. ამ თვალსაზრისით უფრო გამოსადეგია ვერცხლისწყალი.

ვერცხლისწყლის ორთქლი ამჟამად წყლის ორთქლთან ერთად ბინარულ ციკლებშია გამოყენებული. ვერცხლისწყლის ორთქლი მუშაობს მაღალი ტემპერატურის არეში, ხოლო წყლის ორთქლი კი დაბალი ტემპერატურის არეში. ასეთ ბინარულ ციკლებში ვერცხლისწყლის ნამუშევარი ორთქლის სითბო, რომელიც საქმარისად მნიშვნელოვანი რაოდენობისაა, კი არ ეკარგება, არამედ მეორე საფეხურისა, ე. ი. დაბალი ტემპერატურის არისათვის საჭირო წყლის ორთქლის მისაღებად გამოიყენება.

ვერცხლისწყლისა და წყლის ორთქლით განხორციელებული ბინარული დანადგარის სქემა ნაკ. 1—81-ზეა მოცემული. ვერცხლისწყლის ორთქლის ქვაბი, სადაც ვერცხლისწყლის ორთქლადტევს პროცესი ხდება, სქემაზე აღნიშნულია ციფრით 1. ქვაბიდან 1 ვერცხლისწყლის ორთქლი მიეგართება ვერცხლისწყლის ორთქლის ტურბინაში 2, სადაც იგი ადიამატურად ფართოვდება. ტურბინიდან ვერცხლისწყლის ორთქლი ვერცხლისწყლის კონდენსატორში 3 შედის, სადაც იგი კონდენსირდება ისეთი ტემპერატურის დროს, რომელიც გამაცივებელი წყლიდან განსაზღვრული წნევის წყლის ორთქლის მისაღებად საკმარისია. ვერცხლისწყლის კონდენსატი ტუმბოთი ან თვითდინებით უბრუნდება ვერცხლისწყლის ორთქლის ქვაბს და ციკლი მეორდება.

კონდენსატორში 3 (რომელიც ამავე დროს წყლის ორთქლის ქვაბს წარმოადგენს)

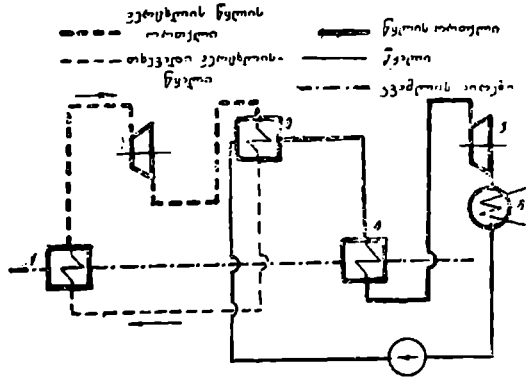
ზღვებული წყლის ორთქლი გადადის ორთქლგადამხურებელში 4, სადაც იგი ვერცხლის-წყლის ორთქლის ქვაბიდან გამომავალი აირების სითბოს ხარჯზე გადახურდება. ორთქლ-გადამხურებელიდან წყლის ორთქლი მიეწოდება ორთქლის ტურბინში 5, საიდანაც გაფართოების შემდეგ წყლის კონდენსატორში 6 გადადის. აქედან კი წყლის კონდენსატორ ვერცხლისწყლის ორთქლის კონდენსატორში 3 მიიმართება და ციკლი მეორდება.

აღწერილი დანადგარის ბინარული ციკლი TS დიაგრამაზე ნაკ. 1-82-ზეა გამოსახული. ამ დიაგრამაზე ქვედა ფართობი $EFGIKE$ გამოსახავს სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც ეკვივალენტურია 1 კგ წყლის ორთქლით შესრულებული სასარგებლო მუშაობისა, ხოლო ზედა ფართობი კი $ABCD$ —სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც ეკვივალენტურია ვერცხლისწყლის ორთქლით შესრულებული მუშაობისა. ამასთან, უნდა აღინიშნოს, რომ ვერცხლის-წყლის ორთქლი აღებულია არა ერთი კილოგრამის რაოდენობით, არამედ 1 კგ წყლის ასაორთქლებლად საჭირო m კილოგრამის რაოდენობით.

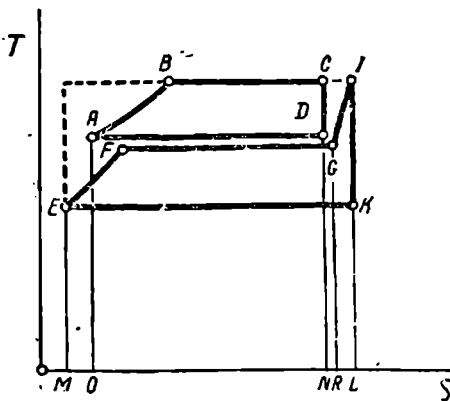
დაეუშვათ, რომ დიაგრამაზე A წერტილი გამოსახავს ვერცხლისწყლის საწყის მდგომარეობას, ე. ი. მის მდგომარეობას ვერცხლისწყლის ორთქლის ქვაბში წესელის დროს.

დუღილის ტემპერატურამდე გათბობის პროცესი დიაგრამაზე AB მრუდითაა გამოსახული; ამასთან, ქვაბში წნევა ისეა შერჩეული, რომ B წერტილით გამოსახული ვერცხლისწყლის მდგომარეობის ტემპერატურა ყველაზე მეტად გამოყენებულ ტემპერატურას ($500-550^{\circ}C$, რაც $p_1=8-15$ ატა წნევის ეთანადება) შეესაბამებოდეს. B წერტილით გამოსახული მდგომარეობიდან C წერტილით გამოსახულ მდგომარეობამდე ვერცხლისწყლის აორთქლების პროცესი ხდება. CD ხაზით კი გამოსახულია ტურბინში მიმდინარე აღებული მუშა სხეულის ადიაბატური გაფართოების პროცესი. D წერტილის მდგომარეობა შერჩეულია მეორე საფეხურის მუშა სხეულის—წყლის წნევის მიხედვით. CD ადიაბატური გაფართოების პროცესის შემდეგ ვერცხლისწყლის ორთქლი კონდენსირდება, რაც დიაგრამაზე DA ხაზითაა გამოსახული.

ვერცხლისწყლის ორთქლის კონდენსირება მაღალი ტემპერატურის დროს წარმო-



ნაკ. 1-81.



ნაკ. 1-82.

ხედვით. CD ადიაბატური გაფართოების პროცესის შემდეგ ვერცხლისწყლის ორთქლი კონდენსირდება, რაც დიაგრამაზე DA ხაზითაა გამოსახული.

ვერცხლისწყლის ორთქლის კონდენსირება მაღალი ტემპერატურის დროს წარმო-

ებს. ორთქლადქცევის ფარული სითბო, რომელიც $ADNOA$ ფართობით გამოსახება, აღებულ შენთხვევაში ნაწილობრივად გამოყენებულია წყლის ორთქლის მისაღებად. ნა-მუწევარი ვერცხლისწყლის ორთქლის გამაცივებელი წყალი, რომელიც მეორე საფეხუ-რის წყლის კონდენსატორიდან არის მიწოდებული, დუღილის ტემპერატურამდე (F წერ-ტილით გამოსახულ მდგომარეობამდე) თბება და შემდეგ ორთქლად იქცევა. ეს უკანას-კნელი პროცესი, ე. ი. წყლის ორთქლადქცევის პროცესი, დიაგრამაზე გამოსახულია FG ხაზით. რადგან წყლის ადუღება და აორთქლება ვერცხლისწყლის ორთქლის სითბოს ხარჯზე წარმოებს, ამიტომ ვერცხლისწყლის კონდენსატორში წნევასა და წყლის ორ-თქლის წნევას შორის გარკვეული კავშირი არსებობს. ასე, მაგალითად, თუ ვერცხლის-წყლის კონდენსირება $233^{\circ}C$ ტემპერატურის დროს ხდება (ამ დროს ვაკუუმში 96%-ია), მაშინ გამაცივებელი წყალი შეიძლება გადაიქცეს 30 ატა წნევის ორთქლად.

ვერცხლისწყლის ორთქლის კონდენსატორში მიღებული წყლის ორთქლი შედის გადამხურბებელში, საიდანაც მიეწოდება ორთქლის ტურბინში. შემდეგ წყლის ორთქლის ციკლი ისე სრულდება, როგორც რენკინის ციკლში.

TS დიაგრამის განხილვის დროს ჩვენ ვხედავთ, რომ ბინარული ციკლის შეესების კოეფიციენტი გაცილებით მეტია, ვიდრე წყლის ორთქლისა. ასე რომ, ასეთი ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი აღებული დანადგარის ტემპერატურულ ფარ-გლებში შესრულებული, კარნოს ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტს უფრო მეტად უახლოვდება.

ბინარული ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტს ზოგადი წესით გან-ვისაზღვრავთ, სახელდობრ, მთელი დანადგარის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი 1 კგ წყლისა და m კგ ვერცხლისწყლის მიერ შესრულებულ მუშაობათა ჯამისა და დახარჯული სითბოს ფარდობით განისაზღვრება.

თუ 1 კგ წყლის ორთქლის მუშაობას აღენიშნავთ $l_{\text{წყ}}$, ხოლო 1 კგ ვერცხლისწყლისა კი $l_{\text{ვ.}}$; მაშინ მთელი მუშაობა ტოლი იქნება

$$l = l_{\text{წყ}} + m l_{\text{ვ.}}$$

სადაც მარჯვენა მხარის მეორე წევრი m -ზე გამრავლებულია იმისათვის, რომ ციკლს ასრულებს არა 1 კგ ვერცხლისწყლის ორთქლი, არამედ m კგ.

ახლა, თუ დაეფუძვებთ, რომ სითბო დანადგარში გარედან იხარჯება მხოლოდ ვერ-ცხლისწყლის აორთქლებაზე და მეორე საფეხურის მუშა სხეული, ე. ი. წყლის ორთქლი, გარდა ვერცხლისწყლის ორთქლის სითბოსა სხვა წყაროდან არაერთარ სითბოს არ ღებულობს, მაშინ დანადგარზე დახარჯული სითბო გამოსახება შემდეგნაირად

$$Q_2 = m q_{1 \text{ ვ.}}$$

ამგვარად, ბინარული ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი იქნება

$$\eta_{II} = \frac{Al}{Q_2} = \frac{Al_{\text{წყ}} + Am l_{\text{ვ.}}}{m q_{1 \text{ ვ.}}} \quad (a)$$

ვერცხლისწყლის ორთქლის ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი ტოლია

$$\eta_{I \text{ ვ.}} = \frac{Al_{\text{ვ.}}}{q_{1 \text{ ვ.}}} = 1 - \frac{q_{2 \text{ ვ.}}}{q_{1 \text{ ვ.}}} \quad (b)$$

საიდანაც

$$Al_{\text{ვ.}} = \eta_{I \text{ ვ.}} \cdot q_{1 \text{ ვ.}}$$

წყლის ორთქლისათვის კი გვექნება

$$\eta_{II} = \frac{Al_{\text{წყ}}}{q_{1 \text{ ვ.}}} \quad (c)$$

ცხადია, რომ

$$q_1 \text{ წმ} = m q_2 \text{ ა.წმ.}$$

და, მაშასადამე, (c) გამოსახულებიდან გვექნება

$$A I \text{ წმ} = \eta_1 \text{ წმ} \cdot q_1 \text{ წმ} = \eta_1 \text{ წმ} \cdot m q_2 \text{ ა.წმ.}$$

(d) გამოსახულებაში მიღებული მნიშვნელობების ჩასმით, მივიღებთ

$$\eta_1 = \frac{\eta_1 \text{ წმ} \cdot m q_2 \text{ ა.წმ} + \eta_1 \text{ ა.წმ} \cdot m q_1 \text{ ა.წმ}}{m q_1 \text{ ა.წმ}} = \eta_1 \text{ ა.წმ} \cdot \frac{q_2 \text{ ა.წმ}}{q_1 \text{ ა.წმ}} + \eta_1 \text{ ა.წმ.}$$

ხოლო (b) გამოსახულებიდან მხედველობაში მიღებით იმისა, რომ

$$\frac{q_2 \text{ ა.წმ}}{q_1 \text{ ა.წმ}} = 1 - \eta_1 \text{ ა.წმ.}$$

გვექნება

$$\eta_1 = \eta_1 \text{ წმ} (1 - \eta_1 \text{ ა.წმ}) + \eta_1 \text{ ა.წმ.}$$

საიდანაც გარდაქმნების საშუალებით ბინარული ციკლოსათვის გვექნება

$$\eta_1 = 1 - (1 - \eta_1 \text{ ა.წმ})(1 - \eta_1 \text{ წმ}). \quad (1-239)$$

თ ა ვ ი 1-11

ცნება სამაცივრო დანადგარის ციკლუმზე

1-74. ჰაერის კომპრესორიანი სამაცივრო დანადგარის ციკლი

მრავალი ტექნოლოგიური პროცესის ჩასატარებლად და, აგრეთვე, ყოფაცხოვრების ზოგიერთი მოთხოვნილების დასაკმაყოფილებლად საჭიროა ბუნებრივ გამაცივებელ საშუალებათა—ჰაერის ან წყლის—გამოყენების დროს მიღწეულ ტემპერატურაზე გაცივებით უფრო დაბალი ტემპერატურები მივიღოთ. ამ შემთხვევებში მივიწარმოებთ ხელოვნურ გაცივებას, რომლის ამოცანას შეადგენს ბუნებრივ გამაცივებელ ნივთიერებათა ტემპერატურაზე უფრო ნაკლები ტემპერატურიანი სხეულიდან სითბოს არინება. ამ უკანასკნელი პროცესის განხორციელება კი შესაძლებელია უფრო დაბალ ტემპერატურიან სხეულიდან უფრო მაღალ ტემპერატურიან სხეულზე სითბოს გადაცემით, რაც თანამდებრივად თერმოდინამიკის მეორე კანონისა შეიძლება წარმოებდეს მხოლოდ გარედან დამატებითი ენერჯიის დახარჯვით.

დაბალი ტემპერატურიანი სხეულების მიღება განხორციელებულია ეგრეთ წოდებულ სამაცივრო და ნადგარებში, რომელთა მუშაობის პრინციპი დამყარებულია კარნოს შექცეულ ციკლზე. მხოლოდ უნდა აღინიშნოს, რომ საესებით აეთი ციკლის განხორციელება იდეალური აირის საშუალებით შეუძლებელია, რადგან იზოთერმული გაფართოების დროს სითბოს მიწოდება და შეკუმშვის დროს სითბოს არინება კონსტრუქციულად დიდ სიძნელეებთან აირის დაკავშირებული; ამიტომ პირველიც და მეორეც მუდმივი წნევის დროს სრულდება.

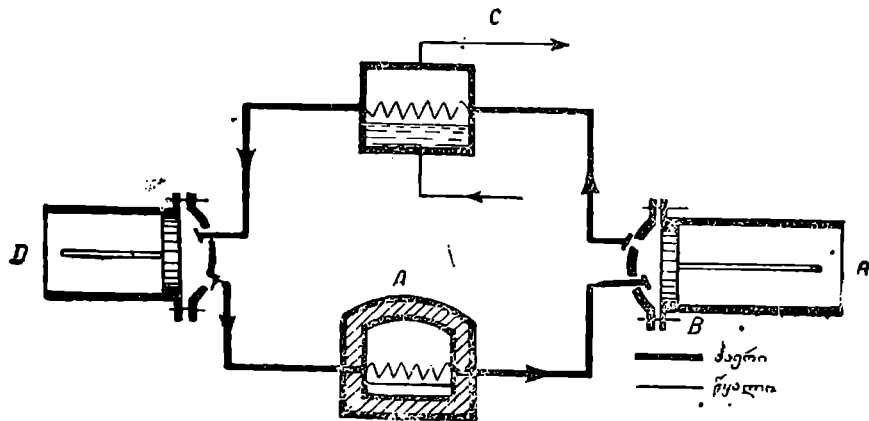
სამაცივრო დანადგარებში გარემომცველი არც ტემპერატურაზე ნაკლები ტემპერატურის მიღება ანუ, როგორც ამბობენ, სიცივის წარმოება შეიძლება განხორციელებული იქნეს რომელიმე აირის, მაგალითად, ჰაერის ადიაბატური გაფართოების საშუალებით. ამისათვის საჭიროა გარედან ენერჯიის დახარჯვით მისი წინასწარი შეკუმშვა და შემდეგ, ვინაიდან ამ პროცესის დროს ჰაერის ტემპერატურა იზრდება, მისი გაცივება მუდმივი წნევის დროს. ამგვარად, მიიღება ჰაერი, რომლის ტემპერატურა დაბალია

გარემომცველი არეს ტემპერატურის ტოლი იქნება, ხოლო წნევა ამ უკანასკნელის წნე-
ვასთან შედარებით, გაცილებით მეტი (შეკუმშვა ხდება 4—5 ატა წნევამდე).

ახლა, თუ მიღებული მდგომარეობის ჰაერს ადიამატური გაფართოების საშუალება
მიეცემა, მაშინ იგი შიგა ენერჯის ხარჯზე შეასრულებს მუშაობას, რის გამო დაიწვეს
მისი ტემპერატურა, რომელიც გარემომცველი არეს ტემპერატურაზე ნაკლები იქნება.
თუ ასეთი ტემპერატურის მქონე ჰაერს გასაცივებელ სხეულთან შეხებაში მოვიყვანთ, მაშინ
იგი ამ სხეულს აარინებს სითბოს, თვითონ გათბება და საწყის მდგომარეობას დაუბრუნდ-
ბა. ამის შემდეგ ჰაერი ხელმეორედ შეიწოვება კომპრესორში და ციკლი მეორდება.

აღწერილი სახის ჰაერის კომპრესორიანი სამაცივრო დანადგარის სქემა მოცემულია
ნაქ. 1—83-ზე.

გასაცივებელი სათავსოდან *A* შეიწოვება ჰაერი კომპრესორში *B*, სადაც იგი განი-
ცდის შეკუმშვას, რომლის დროსაც მისი ტემპერატურა და წნევა იზრდება. შეკუმშული
ჰაერი კომპრესორიდან შედის გამაცივებელში *C*; სადაც იგი მუდმივი წნევის დროს
წყლით ცივდება, ტემპერატურამდე, რომელიც თეორიულად მიღებულია, რომ წყლის
ტემპერატურის ტოლია, სინამდვილეში კი ცოტათი მასზე მეტია. გამაცივებულიდან *C*
ჰაერი, გარემომცველ წნევაზე უფრო მაღალი წნევით, მაგრამ თითქმის ამ უკანასკნელის
ტემპერატურის ტოლი ტემპერატურით შედის ცილინდრში *D*, სადაც ფართოვდება ატ-
მოსფერულ წნევამდე და ცივდება ტემპერატურამდე, რომელიც გასაცივებელი სათავსოს
ტემპერატურაზე გაცილებით ნაკლებია. გაფართოების შემდეგ ჰაერი შედის გასაცივ-



ნაქ. 1—83.

ბელ სათავსოში *A*, სადაც იგი სითბოს არინებით საწყის მდგომარეობას უბრუნდება და
ხელმეორედ შეიწოვება კომპრესორში. ამგვარად, მიიღება წრიული პროცესი.

D ცილინდრში გაფართოების შედეგად ჰაერი ასრულებს მუშაობას, რომელიც ნა-
წილობრივად კომპრესორში დახარჯულ მუშაობას ანაზღაურებს. თუ გაფართოებისა და
შეკუმშვის პროცესებს ადიამატურ პროცესებად მივიღებთ, მაშინ აღწერილი ციკლის
თეორიული დიაგრამა ისე გამოისახება, როგორც ეს ნაჩვენებია ნაქ. 1—84-ზე, სადაც
AB—ადიამატური შეკუმშვის პროცესია; *BC*— $p = \text{const}$ დროს გაცივების პროცესი;

CD—ადიაბატური გაფართოების პროცესი; DA— $p = \text{const}$ დროს ჰაერის გათბობის პროცესი.

ფართობი ABEFA გამოსახავს კომპრესორში შეკუმშვაზე დახარჯულ მუშაობას, ფართობი CEFDC ცილინდრში გაფართოების დროს ჰაერის მიერ შესრულებულ მუშაობას, ხოლო ფართობი ABCDA საშუალო მუშაობას, რომელიც კომპრესორში შეკუმშვაზე დახარჯული მუშაობის აუნაზღაურებელ ნაწილს წარმოადგენს.

იგივე ციკლი TS დიაგრამაზე ნაჩვენებია ნაკ. 1—85-ზე, სადაც პროცესები p დიაგრამის ასოებით აღნიშნვების შესაბამისად არიან აღნიშნული; ასე, რომ სპეციალურ განმარტებას არ მოითხოვს.

მოცემული TS დიაგრამიდან ჩანს, რომ ფართობი EADFEA გამოსახავს სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც გასაცივებელი სხეულისაგან იქნა არჩინებული ჰაერის მიერ, ფართობი EBCFE სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც ჰაერმა გადასცა გამაცივებელს, ხოლო ამ ფართობების სხვაობა ფართ. ABCDA სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც ჰაერმა აითვისა სითბოს სახით.

თუ აღნიშნავთ ჰაერის მიერ გამაცივებელზე გადაცემულ სითბოს რაოდენობას q_1 -ით, ხოლო გასაცივებელ სათავსოში ათვისებულ სითბოს რაოდენობას q_2 -ით, მაშინ გარედან დახარჯული მუშაობა შეგვიძლია გამოვსახოთ შემდეგნაირად:

$$A_l = q_1 - q_2.$$

მუშა სხეულის მიერ ათვისებულ სითბოს რაოდენობისა q_2 და დახარჯული მუშაობის A_l ფარდობას მაკივრის კოეფიციენტი ეწოდება. აღნიშნით იგი ε -ით, მაშინ გვექმება

$$\varepsilon = \frac{q_2}{A_l} = \frac{q_2}{q_1 - q_2},$$

სადაც

$$q_1 = c_p (T_2 - T_3) \text{ და } q_2 = c_p (T_1 - T_4)$$

მნიშვნელობების ჩასმით, მივიღებთ

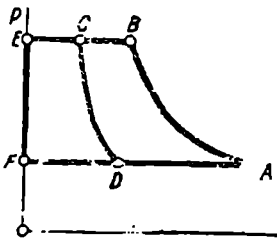
$$\varepsilon = \frac{c_p (T_1 - T_4)}{c_p (T_2 - T_3) - c_p (T_1 - T_4)};$$

აქედან

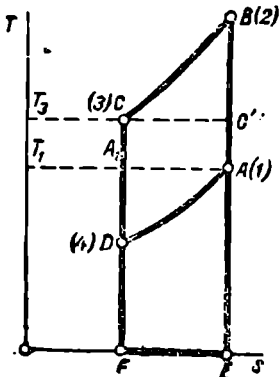
$$\varepsilon = \frac{T_1 - T_4}{(T_2 - T_3) - (T_1 - T_4)} = \frac{1}{\frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_4} - 1}.$$

AB და CD ადიაბატური პროცესებიდან გამომდინარეობს, რომ

$$\frac{T_3}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \text{ და } \frac{T_2}{T_4} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad (a)$$



ნაკ. 1—84.



ნაკ. 1—85.

მაგრამ, რადგან $\beta_2 = \beta_3$ და $\beta_1 = \beta_4$, ამიტომ

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4},$$

საიდანაც

$$\frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_4} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4}.$$

და, მაშასადამე,

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{T_2}{T_1} - 1} = \frac{1}{\frac{T_3}{T_4} - 1} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} = \frac{T_4}{T_3 - T_4} \quad (b)$$

(a) გამოსახულების მხედველობაში მიღებით საბოლოოდ გვექნება

$$\varepsilon = \frac{1}{\left(\frac{\beta_2}{\beta_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1} = \frac{1}{\left(\frac{\beta_3}{\beta_4}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1} \quad (1-240)$$

ჰაერის სამაცივრო მანქანები წინათ ფართოდ გამოიყენებოდა იმის გამო, რომ ჰაერი უფლებელია და მის მისაღებად საჭირო არ იყო ხარჯის გაწევა. მაგრამ ჰაერს, როგორც მუშა ნივთიერებას, მთელი რიგი ნაკლოვანებანი აქვს. კარნოს შექცეულ ციკლთან შედარებისას, ჰაერის მანქანა უფრო ნაკლებად ეკონომიურია, რადგან სითბოს მიწოდება და არინება ხდება იზობარული და არა იზოთერმული პროცესების დროს. ამის გარდა, ჰაერს შედარებით მცირე სითბოტევადობა აქვს, რის გამო ჩვეულებრივად ჰაერის დიდი ხარჯია საჭირო, რითაც ჰაერის კომპრესორიანი მანქანების გაპარტიული დიდი ზომები აიხსნება. აღნიშნული მიზეზების გამო უკანასკნელ ხანებში აღწერილი სახის დანადგარები ხშირებიდან გამოდის. მათ მაგიერ ფართოდ გავრცელდა სამაცივრო დანადგარები, რომლებშიც გამოყენებულია დაბალი დუღილის ტემპერატურის მქონე სითხეები.

1-75. ორთქლის კომპრესორიანი სამაცივრო დანადგარის ციკლი

ორთქლის კომპრესორიანი სამაცივრო დანადგარში, დაბალ ტემპერატურაზე სხეულიდან უფრო მაღალ ტემპერატურაზე სხეულზე სითბოს გადაცემისათვის პრაქტიკულად გამოყენებულია სხეულების ერთი აგრეატული მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლა, უმთავრესად სითხეების აორთქლება. რადგან ხელოვნური გაციეება მოითხოვს შესაბამისად დაბალ ტემპერატურაზე გამაცივებლებს, ამიტომ აღნიშნულ დანადგარებში შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ისეთი სითხეები, რომელთა გადასვლა ერთი მდგომარეობიდან მეორეში წარმოებს სითბოს დიდი რაოდენობის შთანთქმით დაბალი ტემპერატურების დროს.

მომუშავე სხეულად ორთქლის კომპრესორიანი სამაცივრო დანადგარებში გამოყენებულია ნახშირორთქნი (CO₂), ამიაკი (NH₃), ქლოროვანი მეთილი (CH₂Cl), გოჯირლოვანი ანილრიდი (SO₂) და უკანასკნელ ხანებში ფრეონები, რომელთაგან ყველაზე ხშირად გამოიყენება დიქლორდიფტორმეთანი (CCl₂F₂). წყალი პრაქტიკულად გამოუსადეგარია, რადგან დაბალი ტემპერატურების მიაღწევად აორთქლების პროცესი უნდა წარმოებდეს მეტად დაბალი წნევების დროს, რომლებიც აბსოლუტურ ვაკუუმს უნდა უახლოვდებოდნენ, და ამასთან ერთად ორთქლის დიდი ხვედრითი მოცულობების დროს.

აღნიშნული სითხეების ორთქლებს, რომლებიც სამაცივრო დანადგარებში თხევად მდგომარეობასთან ახლო მდგომარეობაშია გამოყენებული, ვიხილავთ როგორც რეალურ

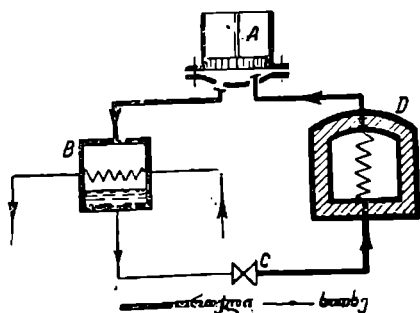
აირებს, რის გამო მათთვის ვერ გამოიყენებთ იდეალური აირების კანონებს. ამ შემთხვევაში მათ პარამეტრებს შორის ანალიზური დამოკიდებულებანი მეტად რთულია და გაანგარიშებების დროს მოუხერხებელი, რის გამო გაანგარიშებებში, როგორც წყლის ორთქლის შემთხვევებში, გამოყენებულია ცხრილები და გრაფიკები.

ორთქლის კომპრესორიანი სამაცივრო დანადგარის ძირითად განმასხვავებელ ნიშანს ჰაერის კომპრესორიანი სამაცივრო დანადგარისაგან წარმოადგენს ის, რომ დანადგარის პროცესი ძირითადად გაჯერების არეში სრულდება. აღნიშნული გარემოება კი მის უპირატესობას წარმოადგენს, რადგან სითბოს მიწოდება და არინება ხდება დუღილისა და კონდენსაციის დროს, რომლებიც $p = \text{const}$ დროს იზოთერმულად მიმდინარეობენ და ამ შემთხვევაში დანადგარის ციკლი კარნოს ციკლს უახლოვდება, რაც უფრო ხელსაყრელია, რადგან იგივე ეფექტის მისაღებად გარედან უფრო ნაკლები მექანიკური ენერჯის დახარჯვა იქნება საჭირო.

აღნიშნულის გარდა ორთქლის კომპრესორიანი სამაცივრო დანადგარების განმასხვავებელ ნიშანს წარმოადგენს ის, რომ ამ შემთხვევაში დაბალი ტემპერატურის მიღწევა შესაძლებელი ხდება არა სხეულის ადიებატური გაფართოების საშუალებით, არამედ ნაჯერი ორთქლის დროსელირებით, რასაც წნევის შემცირების გამო, თან სდევს ტემპერატურის მნიშვნელოვანი დაცემა.

ორთქლის კომპრესორიანი სამაცივრო დანადგარის სქემა გამოსახულია ნაქ. 1-86-ზე. კომპრესორი A მეშუა სხეულად გამოყენებულ სითხის ორთქლს შეიწოვს და განასხვავებულ წნევაზე მას შეეკუმშავს, რის გამო ხდება ორთქლის ტემპერატურის გადიდება. კომპრესორიდან A შეეკუმშული ორთქლი შედის კონდენსატორში B , სადაც მუდმივი წნევის დროს წყლით გაცივების გამო კონდენსირდება, რომლის დროსაც იგი წყალს თავის ფარულ ორთქლადქცევის სითბოს გადასცემს და გადადის თხვევად მდგომარეობაში. მიღებული სითხე კონდენსატორიდან B მიედინება საარეღუქციო ვენტილში C , სადაც ხდება მისი დროსელირება და წნევისა და ტემპერატურის დაცემა, ხოლო შენარჩუნებულია საწყისი და საბოლოო მდგომარეობათა სითბომეცველობის სიდიდე, ე. ი. სრულდება $i = \text{const}$ პროცესი. სარეღუქციო ვენტილის სათანადო გაღების საშუალებით შესაძლებელია კომპრესორის მწარმოებლობის შესაბამისად, მეტი ან ნაკლები რაოდენობის სითხის გატარება.

სარეღუქციო ვენტილიდან გამოსვლისას მუშა სხეული წარმოადგენს უკვე მცირე სიდიდის ორთქლშემცველობიანი ორთქლისა და სითხის ნარევეს. ამ მდგომარეობის მუშა სხეულს იყენებენ, როგორც გამაცივებელს და აწვდიან გასაცივებელ სათავსოში D , სადაც იგი გარემომცველ არედან სითბოს არინებით ორთქლდება, რის



ნაქ. 1-86.

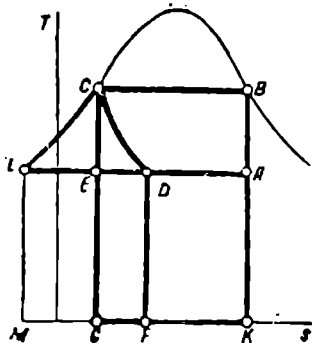
შემდეგ ისევ კომპრესორში A შეიწოვება. აღწერილი დანადგარის ციკლი TS დიაგრამაზე მოცემულია ნაქ. 1-87-ზე. კომპრესორში ორთქლის შეეკუმშვის დროს მისი მდგომარეობის ცვლილება წარმოებს AB ადიებატური პროცესით, რომლის დროსაც ძბრდება მისი შივა ენერჯია და ტემპერატურა. ამასთან მიღებულია, რომ იდეალურ ციკლში შეეკუმშვის ბოლოში ორთქლი მშრალი ნაჯერი ხდება.

კონდენსატორში შეეკუმშული ორთქლის გაცივება $p = \text{const}$ და ამასთან ერთად

ამას დროს წარმოებს და, მაშასადამე, აღნიშნული პროცესი $T'S$ დიაგრამაზე BC სათერმით გამოისახება.

დან. სარედუქციო ვენტილში სითხის გავლა, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ხდება საწყისი და საბოლოო მდგომარეობების სითბოშემცველობათა ტოლობით, რის გამო $T'S$ დიაგრამაზე აღნიშნული პროცესი CD მუდმივი სითბოშემცველობის ხაზით გამოისახება.* ამასთან C წერტილი გამოსახავს სითხის მდგომარეობას, ხოლო D წერტილი სითხისა და ორთქლის ნარევის.

დიაგრამაზე DA ხაზი გამოსახავს გასაცივებულ სათავსოში გარემომცველ არედან სითბოს არიების და, მაშასადამე, მუშა სხეულის გათბობის პროცესს მუდმივი წნევისა და ამასთან ერთად მუდმივი ტემპერატურის დროს.



ნაკ. 1-87.

ახლა სარედუქციო სარქველიანი სამაცივრო დანადგარის შედარებით ცილინდრიან დანადგართან დაეინახავთ, რომ სიცივის მწარმოებლობა ამ უკანასკნელის უფრო მეტია. ცილინდრიანი დანადგარის შემთხვევაში პროცესი გამოისახებოდა არა CD ხაზით, არამედ CE აღიბაბით. სიცივის მწარმოებლობა სარედუქციო ვენტლიანი სამაცივრო დანადგარისათვის მოცემულ დიაგრამაზე გამოსახულია $ADFKA$ ფართობით, ხოლო ცილინდრიანი სამაცივრო დანადგარისათვის $AEGKA$ ფართობით. ამგვარად, სარედუქციო ვენტლიანი სამაცივრო დანადგარის შემთხვევაში სიცივის მწარმოებლობა შემცირებულია სიდიდით.

რომელიც $FDEGF$ ფართობით გამოისახება, ხოლო მუშა სხეულის სითბოშემცველობა გადღებულა $i_D - i_E$ სიდიდით. ეს კი გამოწვეულია იმით, რომ სარედუქციო ვენტლიში გაუფაროების პროცესი შეუქცევია და $EDFGE$ ფართობის შესაბამისი ორთქლის ენერჯიის ნაწილი გამოუყენებელი რჩება და გადადის სითბოდ, რომელსაც მუშა სხეული ითვისებს.

შევიძლია დავამტკიცოთ, რომ აღნიშნული დაკარგული მუშაობა ტოლია იმ მუშაობისა, რომელიც შეგვეძლო მიგველო ცილინდრიანი დანადგარის შემთხვევაში, ე. ი. $LCEL$ ფართობით გამოსახული სითბოს რაოდენობის შესაბამისი მუშაობისა.

თუ L წერტილს ნივიზინეთ სითბოშემცველობათა ათვლის საწყისად, მაშინ, რადგან $i_C = i_D$, გვქვამება

$$\text{ფართ. } LCGML = \text{ფართ. } LDFML.$$

ფართობი $LEGML$ ორივე აღნიშნული ფართობისათვის საერთოა, რის გამო

$$\text{ფართ. } LCLEL = \text{ფართ. } EDFGE.$$

სარედუქციო ვენტლის ზეკავლენა სხვადასხვა მუშა სხეულის გამოყენების დროს სხვადასხვა იქნება და პირობადაცხადდება აორთქლების სათბობით და თბევადი მუშა სხეული.

* თავიდან უნდა აღვნიშნოთ პროცესი შეუქცევია, ამიტომ მოსაზრებაც დიაგრამაზე პარაბოლია.

ლის სითბოტევადობით, სიცივისმწარმოებლობის დანაკარგი სარედუქციო ვენტილში მით უფრო მეტი იქნება, რაც უფრო ნაკლები აქვს მუშა სხეულს აორთქლების ფარული სითბო და რაც უფრო მეტი აქვს სითბოტევადობა თხევად მდგომარეობაში.

სარედუქციო ვენტილიანი აღწერილი სამაცივრო დანადგარის ციკლი p -ს დიაგრამაზე მოცემულია ნაკ. 1-88-ზე, სადაც გამოსახულია AB —კუმშვა კომპრესორში; BC —კონდენსატორში გაცივება; CD —დროსელირების პროცესი სარედუქციო ვენტილში; DA —აორთქლება მუშა სხეულისა გასაცივებელ სათავსოში.

შედარებისათვის აქვე მოცემულია CE ადიბატა, რომელიც გამოსახავს გაფართოების პროცესს იმ შემთხვევისათვის, როდესაც სარედუქციო ვენტლის მაგიერ ცილინდრი გვაქვს.

აღწერილი დანადგარის სამაცივრო კოეფიციენტის გამოსაყვანად ამ შემთხვევაშიაც სიცივისმწარმოებლობა უნდა გავყოთ დახარჯულ მუშაობაზე. სიცივისმწარმოებლობა შეგვიძლია გამოვსახოთ სითბოშემცველობათა სხვაობით, რადგან სამაცივრო სათავსოში მუშა სხეულის მიერ სითბოს ათვისება $q_2 = c_{01} \Delta t$ დროს ხდება. ამგვარად.

$$q_2 = i_A - i_D.$$

მაგრამ, რადგან $i_C = i_D$, ამიტომ

$$q_2 = i_A - i_C$$

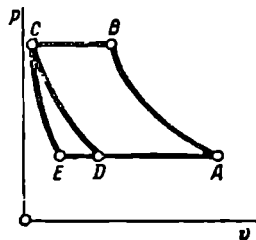
დახარჯული მუშაობა კი წარმოადგენს იმ მუშაობას, რომელიც დახარჯეთ კომპრესორში ადიბატური შეკუმშვის დროს. ამგვარად, თუ დახარჯული მუშაობა L -ით აღვნიშნეთ, გვექნება

$$AL = i_B - i_A.$$

სამაცივრო კოეფიციენტი კი გამოისახება შემდეგნაირად

$$\epsilon = \frac{q_2}{AL} = \frac{i_A - i_C}{i_B - i_A}. \quad (1-241)$$

პრაქტიკულად აღწერილ დანადგარში იყენებენ შუალედურ სიცივისშემცველს. ამ შემთხვევაში მუშა სხეული—სითხისა და ორთქლის ნარევი (მაგალითად, ამიაკის ტენიანი ნაჯერი ორთქლი) შედის ამორთქლებელში, სადაც მოთავსებულია შუალედური სიცივისშემცველი: ამ სიცივისშემცველად ჩვეულებრივად იყენებენ მარილწყალს, რომელიც დაბალ ტემპერატურაზე არ იყინება. ამორთქლებელში $p = c_{01} \Delta t$ და, მაშასადამე, $t = c_{01} \Delta t$ დროს მარილწყლისაგან სითბოს არინების ხარჯზე ხდება მუშა სხეულის აორთქლება, რომლის დროსაც მარილწყალი თითქმის მუშა სხეულის ტემპერატურამდე ცივდება. გაცივებული მარილწყალი შიშიმართება გასაცივებელ სათავსოში, სადაც გარემოშემცველ არედან სითბოს არინების ხარჯზე თბება, რის შემდეგ უბრუნდება ამორთქლებელს. ამორთქლებელში მიღებული ორთქლი კი კომპრესორში შედის და ციკლი მეორდება.



ნაკ. 1-88.

ტენიანი ჰაერი

1-76. ძირითადი ბანსაზღვრანი

სხედასხვა სახის ნაქეთობის, მასალისა და საკვები პროდუქტის დამზადებისა და დამუშავების დროს, მრეწველობის თითქმის ყველა დარგში ფართოდაა გამოყენებული შრობა, რაც სითბური ენერჯიის საშუალებით ტენიან მასალისაგან, აორთქლების გზით, ტენის მოცილების პროცესს წარმოადგენს.

მასალების შრობა შეიძლება წარმოებდეს ბუნებრივი და ხელოვნური გზით. ბუნებრივი შრობა ჩვეულებრივად წარმოებს ჰაერზე ან სპეციალურ ფარდულებში, ხოლო ხელოვნური სპეციალურ მოწყობილობებში — საშრობებში. ხელოვნური შრობა უმეტეს შემთხვევაში წარმოებს გამთბარი ჰაერის საშუალებით, რომელსაც წინასწარ ათბობენ კალორიფერებში და შემდეგ აწვდიან საშრობში, სადაც იგი ტენს აცლის გასაშრობ მასალას, რის შემდეგ ამ საშრობიდან. ვენტილატორის საშუალებით განიდევენება. ამის გამო ჰაერის თვისებების ცოდნას საშრობების გაანგარიშებისათვის მეტად დიდი მნიშვნელობა აქვს.

ატმოსფერული ჰაერი წარმოადგენს რამდენიმე აირისა და წყლის ორთქლის ნარევეს. ჰაერის ასეთ ნარევეს წყლის ორთქლთან ეწოდება ტენიანი ჰაერი, განსხვავებით მშრალი ჰაერისაგან, რომლის ქვეშ გულისხმობენ წყლის ორთქლისაგან თავისუფალ ჰაერს.

ხშირად პრაქტიკული გაანგარიშებების დროს ჰაერის ყველა მდგენელს არ ითვალისწინებენ და მიიღებენ ხოლმე, რომ ჰაერი შედგება: წონის მიხედვით 23% ტანგბადისა და 77% აზოტისაგან, ხოლო მოცულობის მიხედვით 21% ტანგბადისა და 79% აზოტისაგან. მაგრამ ასეთი შედგენილობის ჰაერს იშვიათად ვხვდებით, რადგან მასში ყოველთვის შედის ამა თუ იმ რაოდენობის წყლის ორთქლი. ასე რომ თითქმის ყოველთვის ჩვენ საქმე გვაქვს ტენიან ჰაერთან, რომელშიაც წყლის ორთქლი უმეტესად შედის გადახურებულ მდგომარეობაში მცირე წნევების დროს. ეს უკანასკნელი გარემოება კი საშუალებას გვაძლევს ტენიანი ჰაერი განვიხილოთ, როგორც იდეალური აირი და მისთვის იდეალური აირის კანონები გამოვიყენოთ.

ამგვარად, ტენიანი ჰაერისათვის შეგვიძლია გამოვიყენოთ დალტონის კანონი. თუ აღვნიშნავთ ორთქლის პარციალურ წნევას p_0 -თი, ჰაერისას p_1 -თი, ხოლო ტენიანი ჰაერის წნევას p -თი, რომელიც ჩვეულებრივად ბარომეტრულ წნევას წარმოადგენს, მაშინ გვექნება

$$p = p_0 + p_1 \quad (1-242)$$

მოცემული ტემპერატურის დროს წყლის ორთქლის პარციალური წნევის p_0 უმაღლეს ზღვარს, ტენიანი ჰაერის ტემპერატურის შესაბამისი, გაჯერებული ორთქლის p , წნევა წარმოადგენს. როდესაც $p_0 = p$, ტენიანი ჰაერის მოცემული ტემპერატურის დროს (თუ ტენიანი ჰაერის ტემპერატურა არ აღემატება 100°C ტემპერატურას), მაშინ ტენიან ჰაერში წყლის ორთქლის მაქსიმალურად შესაძლებელი რაოდენობა იქნება. ამ შემთხვევაში ტენიან ჰაერში შემაჯავლი წყლის ორთქლი: გაჯერებულ მდგომარეობაშია და ტენიან ჰაერს გაჯერებული ჰაერი ეწოდება. იმ შემთხვევაში კი, როდესაც ტენიან ჰაერში შემაჯავლი წყლის ორთქლი გადახურებულ მდგომარეობაშია, მაშინ მას გაუჯერებელი ჰაერი ეწოდება. ცხადია, რომ გაუჯერებელი

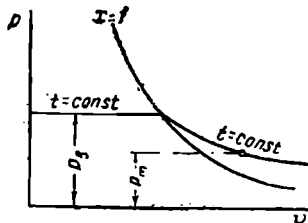
ჰაერში ორთქლის პარციალური წნევა, ჰაერის ტემპერატურის შესაბამის გაჯერების წნევაზე ნაკლებია, ე. ი.

$$p_0 < p_s.$$

აღნიშნული გარემოება, რომ ორთქლი გადახურებულია, როდესაც აღებული ტემპერატურის დროს მისი წნევა ნაკლებია გაჯერების წნევაზე, ნათლად ჩანს ნაკ. 1—89-ზე მოცემულ p დიაგრამიდან.

ამავე დიაგრამიდან ჩანს, რომ იმ წერტილში, რომელიც ნაჯერი ორთქლის მდგომარეობას გამოსახავს, ამ უკანასკნელს აქვს უდიდესი წნევა და უდიდესი სივრცითი წონა შეღარებით იმავე ტემპერატურის გადახურებულ ორთქლთან, რომლის მდგომარეობა იმავე იზოთერმაზე მდებარე წერტილით გამოისახება. ამის გამო გაჯერებულ ჰაერში შემავალ ორთქლს მოცემული ტემპერატურის დროს აქვს მაქსიმალურად შესაძლებელი სიდიდის წნევა და ამ პირობებში ტენიანი ჰაერის მოცულობის ერთეულში მაქსიმალურად შესაძლებელი წყლის ორთქლის წონითი რაოდენობა შედის.

მუდმივი წნევის დროს გაუჯერებელი ჰაერის გაციეებით შეგვიძლია მასში შემავალი ორთქლი გავხადოთ გაჯერებული, რომლის დროსაც ჰაერიც გაჯერებული გახდება. ამ დროს ტენიანი ჰაერის ტემპერატურა, წყლის ორთქლის აღებული პარციალური წნევის შესაბამის გაჯერების ტემპერატურის ტოლი გახდება. აღნიშნულ ტემპერატურას ნამის წერტილი ეწოდება. ამგვარად, მოყვანილი განმარტებებიდან გამომდინარეობს, რომ ნამის წერტილი არის ის ტემპერატურა, რომლის დროსაც ჰაერში შემავალი წყლის ორთქლის რაოდენობა ამ ჰაერს გააჯერებს.



ნაკ. 1—89.

ტენიანი ჰაერის შემდგომი გაციელებით, ე. ი. ნამის წერტილზე დაბალ ტემპერატურამდე, იწყება წყლის ორთქლის კონდენსაცია და ორთქლი ტენიანი ხდება. ასეთი მდგომარეობას ორთქლის შემცველ ჰაერს ტექნიკაში იშვიათად ვხვდებით, რის გამო მას აქ არ განვიხილავთ.

ტენიან ჰაერში მყოფი ორთქლის მდგომარეობის განსაზღვრისათვის საჭიროა ცოდნა მისი პარამეტრებისა, სახელდობრ, ტემპერატურისა და წნევისა. ცხადია, რომ ორთქლის ტემპერატურა იგივეა, რაც ტენიანი ჰაერისა, რადგან იგი ამ უკანასკნელის მდგენელი ნაწილია. ამიტომ, თუ თერმომეტრით გავზომავთ ტენიანი ჰაერის ტემპერატურას, ამით გავიგებთ ორთქლის ტემპერატურასაც. ორთქლის პარციალურ წნევას კი განვსაზღვრავთ ფორმულით

$$p_0 = r_0 \cdot B,$$

თუ ვიცით ორთქლის მოცულობითი ნაწილი r_0 , წინააღმდეგ შემთხვევაში ორთქლის პარციალური წნევა შეიძლება განისაზღვროს სპეციალური ხელსაწყოს—ჰიგრომეტრის დახმარებით, რომელიც ნამის წერტილის განსაზღვრის საშუალებას იძლევა. ჰიგრომეტრის საშუალებით ნამის წერტილის განსაზღვრის შემდეგ, ცხრილების საშუალებით უნდა მოიძებნოს მიღებული ტემპერატურის შესაბამისი გაჯერების წნევა, რომელიც ტენიან ჰაერში მყოფი წყლის ორთქლის პარციალურ წნევას წარმოადგენს.

ჰაერის ტენიანობა ხასიათდება მასში შემავალი წყლის ორთქლის რაოდენობით. ჰაერის ტენიანობის განსაზღვრისათვის სარგებლობენ ორი ცნებით—აბსოლუტური და ფარდობითი ტენიანობით.

ტენიანი ჰაერის მოცულობის ერთეულში (1 მ³-ში) შემავალი წყლის ორთქლის წონას აბსოლუტური ტენიანობა ეწოდება. აქედან კი გამომდინარეობს, რომ აბსოლუტური ტენიანობა წარმოადგენს წყლის ორთქლის ხედივით წონას აღებულს მისი პარციალური წნევისა და ჰაერის ტემპერატურის დროს. აღვნიშნოთ ეს სიდიდე γ_0 თი.

ტენიან ჰაერში ფაქტიურად შემავალი წყლის ორთქლის წონითი რაოდენობისა და იმავე ტემპერატურისა და წნევის დროს მაქსიმალურად შესაძლებელი წყლის ორთქლის წონითი რაოდენობის შეფარდებას ფარდობითი ტენიანობა ან ჰაერის გაჯერების ხარისხი ეწოდება. აღვნიშნოთ ეს სიდიდე γ ასოთი.

1 მ³ ჰაერში ტენის მაქსიმალურად შესაძლებელი რაოდენობა იქნება 1 მ³ წყლის ნაჯერი ორთქლის წონა, ე. ი. γ'' , მაშასადამე, განსაზღვრის თანახმად

$$\varphi = \frac{\gamma_0}{\gamma''} \quad (1-243)$$

იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლების საფუძველზე შეგვიძლია დავწეროთ

$$\gamma_0 = \frac{p_0}{R_0 T} \quad \text{და} \quad \gamma'' = \frac{p_s}{R_0 T}$$

მიღებული მნიშვნელობების ჩასმით (1-243) გამოსახულებაში, გვექნება

$$\varphi = \frac{p_0}{p_s} \quad (1-244)$$

ამ უკანასკნელი განტოლებიდან ჩანს, რომ ფარდობითი ტენიანობა განისაზღვრება როგორც ჰაერში შემავალი წყლის ორთქლის პარციალური წნევისა და მოცემული ტემპერატურის შესაბამის გაჯერებული ორთქლის წნევის შეფარდება; აღნიშნული შეფარდება φ სიდიდის საკმარისი სიზუსტით განსაზღვრის საშუალებას იძლევა. განტოლებაში შემავალი p_0 განისაზღვრება წყლის ნაჯერი ორთქლის ცხრილების მიხედვით ჰიგრომეტრის საშუალებით მოძებნილი ნაშის წერტილისათვის, ხოლო p_s ჰაერის ტემპერატურისათვის.

ფარდობითი ტენიანობის განსაზღვრა უფრო ზუსტად ხდება ფსიქრომეტრის საშუალებით.

1-78. ტენიანობის განსაზღვრა

შრობის პროცესში გამთბარი ჰაერის ტენიანობა იზრდება, ხოლო მშრალი ჰაერის რაოდენობა უცვლელი რჩება. ამიტომ შრობის პროცესისათვის მეტად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება იმას, თუ როგორ შეიცვალა 1 კგ მშრალ ჰაერზე მოსული ტენის რაოდენობა.

1 კგ მშრალ ჰაერზე მოსული, ტენიან ჰაერში შემავალი, წყლის ორთქლის წონით რაოდენობას ტენ შემცველობა ეწოდება. სსრკ-ში მიღებულია ტენის რაოდენობის გაზომვა გრამობით ერთ კგ მშრალ ჰაერზე და ტენშემცველობის აღნიშვნა d ასოთი. ამგვარად, d -ს განზომილება იქნება გ/კგ.

მაშასადამე, თუ ტენიანი ჰაერი შედგება წყლის ორთქლისაგან, რომლის წონაა G_0 და მშრალი ჰაერისაგან, რომლის წონაა G_1 , მაშინ

$$d = \frac{G_0}{G_1} \quad (1-245)$$

ნარევებისათვის მიღებული განსაზღვრის თანახმად ტენიანი ჰაერის მოცულობა V ნარევის წნევისა და ტემპერატურის დროს იგივეა, რაც ამ ნარევეში შემაჯალი მწრალი ჰაერის მოცულობა V_1 მისი პარციალური წნევისა და ნარევის ტემპერატურის დროს და, რაც ამ ნარევეში შემაჯალი წყლის ორთქლის მოცულობა V_2 მისი პარციალური წნევისა და ნარევის ტემპერატურის დროს. ამგვარად

$$V = V_2 = V_1.$$

ახლა, თუ აღნიშნავთ წყლის ორთქლის ხვედრითი წონას γ_2 -ით, ხოლო მწრალი ჰაერისას γ_1 -ით, მაშინ

$$G_2 = V_2 \cdot \gamma_2 \quad \text{და} \quad G_1 = V_1 \cdot \gamma_1.$$

მიღებული გამოსახულებების ერთმეორეზე გაყოფით და მხედველობაში მიღებით, რომ $V_2 = V_1$ და მაშასადამე, $\frac{V_2}{V_1} = 1$, გვექნება

$$d = \frac{G_2}{G_1} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1}. \quad (1-246)$$

მიღებული განტოლებით ტენშემცველობის განსაზღვრისათვის γ_2 უნდა მოვძებნოთ გადახურებული ორთქლის ცხრილებიდან, ხოლო γ_1 მდგომარეობის განტოლებიდან უნდა განისაზღვროს

$$\gamma_1 = \frac{p_1}{RT},$$

სადაც p_1 არის ჰაერის პარციალური წნევა, რომელიც განისაზღვრება

$$p_1 = p - p_2.$$

ტენშემცველობის რიცხობრივი მნიშვნელობა შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს აგრეთვე მდგომარეობის განტოლების გამოყენებით ჰაერისა და წყლის ორთქლისათვის:

$$p_2 V_2 = G_2 R_2 T; \quad p_1 V_1 = G_1 R_1 T$$

პირველი განტოლების მეორეზე გაყოფით მივიღებთ

$$\frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} = \frac{G_2 R_2 T}{G_1 R_1 T}.$$

მაგრამ, რადგან $V_2 = V_1$, $\frac{G_2}{G_1} = d$ და $p_2 = p - p_1$, ამიტომ

$$\frac{p - p_1}{p - p_1} = d \frac{R_2}{R_1} \quad \text{და} \quad d = \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{p_2}{p - p_1}.$$

ვიციტ, რომ $R_1 = 29,27$ კგმ/კგ. გრად. და $R_2 = 47,1$ კგმ/კგ. გრად. ამ მნიშვნელობების ჩასმით d -ს განსაზღვრულ გამოსახულებაში, მივიღებთ

$$d = 0,622 \frac{p_2}{p - p_1} \cdot \frac{\text{კგ/კგ}}{\text{კგ/კგ}} = 622 \frac{p_2}{p - p_1} \text{ გ/კგ}. \quad (1-247)$$

1-79. ტენიანი ჰაერის ხვედრითი წონა და აირის მულტივა

ტენიანი ჰაერის ხვედრითი წონა 1 მ³ ტენიანი ჰაერის წონას წარმოადგენს. თუ ჩვენ ვანვიხილავთ 1 მ³ ტენიან ჰაერს, მაშინ γ_2 გამოსახავს მასში შემაჯალი ორ-

თქლის წონას, ხოლო γ_1 ჰაერის წონას; აქედან კი შეგვიძლია გამოვიტანოთ დასკვნა, რომ ჯამი

$$\gamma_0 + \gamma_1 = \gamma \quad (a)$$

გვაძლევს 1 მ³ ტენიანი ჰაერის წონას, ე. ი- მის ხვედრით წონას.

(1-243) განტოლებიდან

$$\gamma_0 = \varphi \gamma'' \quad (b)$$

იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლების საფუძველზე შეგვიძლია მშრალი ჰაერის ხვედრითი წონა გამოვსახოთ შემდეგნაირად:

$$\gamma_1 = \frac{p_1}{R_1 T},$$

მაგრამ

$$p_1 = p - p_0 = p - \varphi p_s,$$

ატმოსფეროებში გადაყვანით კი

$$p_1 = \frac{p - \varphi p_s}{735,6}.$$

ჰაერის მუდმივა $R_1 = 29,27$ კგ/კგ⁰C. მიღებული მნიშვნელობების ჩასმით, გვექნება

$$\gamma_1 = \frac{(p - \varphi p_s) 10^4}{735,6 \cdot 29,27 T} = 0,465 \frac{p - \varphi p_s}{T}.$$

ახლა, თუ (a) განტოლებაში γ_0 და γ_1 მნიშვნელობებს ჩავსვამთ, ტენიანი ჰაერის ხვედრითი წონისათვის მივიღებთ

$$\gamma = 0,465 \frac{p - \varphi p_s}{T} + \varphi \gamma'' \quad (1-248)$$

აქ p და p_s წნევები აღებული უნდა იქნეს მშ ვერცხლისწყლის სვეტებით. ტენიანი ჰაერის მუდმივა შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს ფორმულით

$$R = \frac{848}{\sum \mu_i r_i} = \frac{848}{\mu_1 r_1 + \mu_0 r_0},$$

სადაც

$$r_1 = \frac{p_1}{p} = \frac{p - p_0}{p} \quad \text{და} \quad r_0 = \frac{p_0}{p},$$

$\mu_1 = 28,95$, ხოლო $\mu_0 = 18,02$. ამგვარად

$$R = \frac{848}{28,95 \frac{p - p_0}{p} + 18,02 \frac{p_0}{p}} = \frac{848}{28,95 - 28,95 \frac{p_0}{p} + 18,02 \frac{p_0}{p}} = \frac{848}{28,95 - 10,93 \frac{p_0}{p}}.$$

მაგრამ, რადგან $p_0 = \varphi p_s$, ამიტომ საბოლოოდ გვექნება:

$$R = \frac{848}{28,95 - 10,93 \frac{\varphi p_s}{p}} \quad (1-249)$$

ტენიანი ჰაერის სითბოშემცველობა, მასში შემაჯავლი მშრალი ჰაერისა და წყლის ორ-
თქლის სითბოშემცველობათა ჯამს წარმოადგენს. ამასთან, რადგან ტენშემცველობა განისა-
ზღვრება 1 კგ მშრალი ჰაერისათვის, ამიტომ ტენიანი ჰაერის სითბოშემცველობასაც 1 კგ
მშრალი ჰაერის მიმართ საზღვრავენ.

ამგვარად, თუ $(1+d)$ კგ ტენიანი ჰაერის სითბოშემცველობას აღვნიშნავთ I ასოთი,
მაშინ, გვექნება

$$I = i_1 + 0,001 d \cdot i_0, \quad (1-250)$$

სადაც i_1 არის 1 კგ მშრალი ჰაერის სითბოშემცველობა კკალ/კგ;

d — ჰაერის ტენშემცველობა გრამობით;

i_0 — წყლის ორთქლის სითბოშემცველობა.

მშრალი ჰაერის სითბოშემცველობა განისაზღვრება ფორმულით

$$i_1 = c_p t.$$

ტემპერატურათა მცირე ფარგლებში (100°C-მდე) მშრალი ჰაერის სითბოტევადობა შეიძ-
ლება მივიღოთ

$$c_p = 0,242 \text{ კკალ/კგ. გრად. და } i_0 = 0,242 t.$$

წყლის ორთქლის სითბოშემცველობა განისაზღვრება მიახლოებითი ფორმულით

$$i_0 = 595 + 0,46 \cdot t,$$

სადაც 595 კკალ/კგ წარმოადგენს 0°C დროს წყლის ორთქლის სითბოშემცველობას, ან,
რაც იგივეა, ორთქლადქცევის ფარულ სითბოს, ხოლო 0,46 კკალ/კგ-გრად. წყლის ორ-
თქლის სითბოტევადობას მუდმივი წნევის დროს (საშუალო მნიშვნელობა).

ამგვარად, მნიშვნელობების ჩასმით, ტენიანი ჰაერის სითბოშემცველობისათვის მივი-
ღებთ

$$I = 0,242 t + 0,001 d (595 + 0,46t) \text{ კკალ/კგ.} \quad (1-251)$$

1-80. $I-d$ დიაგრამა

საშრობების გაანგარიშება ანალიზური მეთოდით, და მასში მუშა სხეულად გამო-
ყენებული ტენიანი ჰაერის პარამეტრების განსაზღვრა, თუნდაც წინასწარ შემუშავებული
ცხრილების საშუალებით მეტად რთულია.

აღნიშნული გაანგარიშებების წარმოება მნიშვნელოვნად გამარტივებულია გრაფი-
კული მეთოდის გამოყენებით. ამ მიზნისათვის 1918 წ. პროფ. რამზინის მიერ მოცემულ
იქნა $I-d$ დიაგრამა ტენიანი ჰაერისათვის, რომელზედაც გრაფიკული სახით მოცემულია
ტენიანი ჰაერის მდგომარეობის დამახასიათებელი სხვადასხვა სიდიდეს შორის დამოკი-
დებულება.

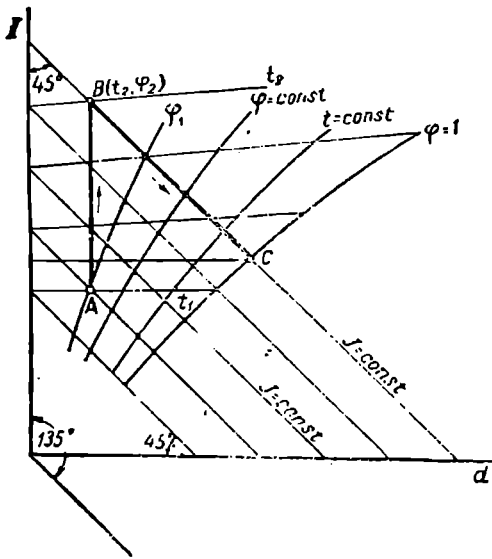
$I-d$ დიაგრამაზე აბსცისთა ღერძზე გადაზომილია ტენიანი ჰაერის ტენშემცველობა
(ნაქ. 1-90) d , ხოლო ორდინატთა ღერძზე სითბოშემცველობა I (ერთ კგ მშრალი ჰაერის
მიმართ). მუდმივი ფარდობითი ტენიანობის ($\varphi = \text{const}$) მრუდების უფრო მოხერხებული გან-
ლაგების მიზნით კოორდინატთა ღერძებს შორის კუთხე აღებულია 135°-ის ტოლი; ამასთან
რადგან ჰორიზონტალის ქვეშ მოთავსებული დიაგრამის ნაწილს პრაქტიკული მნიშვნე-
ლობა არა აქვს, ამიტომ დიაგრამის აღნიშნულ ნაწილს არ გამოსახავენ ხოლმე და ტენ-
შემცველობის მნიშვნელობები გადააქეთ ჰორიზონტალზე, სადაც წარმოებს მისი ათვლა.

დიაგრამაზე გატარებულია მთელი რიგი ხაზებისა $t = \text{const}$, $\varphi = \text{const}$.

დიაგრამაზე გატარებულია $I = \text{const}$ ხაზები, რომლებიც 45°-ით გატარებულ სწორ
ხაზებს წარმოადგენენ.

ლიავრამა აგებულია განსაზღვრული ბარომეტრული წნევისათვის. ნაკ. 1—90-ზე მოცემული ლიავრამის ნაწილი აგებულია 745 მმ ვერცხ. წყ. სვ. წნევისათვის, მაგრამ აღებული მნიშვნელობის წნევისაგან მცირე გადახრების შემთხვევისათვის ზოგი საკმარის ზუსტ წედევებს იძლევა. ამორჩეული 745 მმ ვერცხ. წყ. სვ. წნევა სსრკ-ის ცენტრალური ზონის დაახლოებით საშუალო წლიურ ბარომეტრულ წნევას შეესაბამება.

რამივე სხეულის შრობა, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, მდგომარეობს მასში შემავალი ტენის აორთქლებაში თბილი ჰაერის საშუალებით, რომლის გათბობა კალორიფერებში მიმდინარეობს. ეს პროცესი $d = \text{const}$ დროს სრულდება. ამიტომ თუ, მაგალითად, ჰაერის საწყისი მდგომარეობა, რომელიც ხასიათდება φ_1 და t_1 სიდიდეებით, ლიავრამაზე გამოსახულია A წერტილით, მაშინ კალორიფერში მისი გათბობა t_2 ტემპერატურამდე ლიავრამაზე გამოსახება ორდინატთა ლერ-



ნაკ. 1—90.

დის პარალელური AB სწორი ხაზით, რომელზედაც B წერტილი ჰაერის საბოლოო მდგომარეობას გამოსახავს. AB ხაზის ვალაქეთა $\varphi = \text{const}$ ხაზთან B წერტილში მოგვეცემს საბოლოო მდგომარეობის φ_2 ფარდობით ტენიანობას, რომელიც, ცხადია, ნაკლები იქნება φ_1 -ზე, ე. ი. $\varphi_2 < \varphi_1$.

კალორიფერში t_2 ტემპერატურამდე გამთბარი ჰაერი შედის საშრობში, სადაც ჰაერის სითბოს ხარჯზე ხდება გასაშრობი მასალიდან ტენის აორთქლება და ჰაერის დატენიანება. შრობის აღნიშნული პროცესი მიმდინარეობს $I = \text{const}$ დროს, რაც იმით აიხსნება, რომ (1—251 განტოლებით განსაზღვრული სითბოშემცველობის მნიშვნელობაში) 0,242 t აირველი წერის შემცირების დროს მისი მეორე წევრი 0,001 d (595 + 0,46 t) იზრდება, ანუ სხვანაირად რომ ვთქვათ, თუმცა ტენის აორთქლებაზე ჰაერის სითბოშემცველობის ნაწილი იხარჯება, მაგრამ მისი სიდიდე მაინც მუდმივი რჩება, რადგან ეს ნაწილი ჰაერის მიღებული

აორთქლის სითბოშემცველობის სახით უბრუნდება; ამგვარად, შრობის პროცესის განსაზღვრისათვის ლიავრამაზე B წერტილიდან უნდა გავატაროთ $I = \text{const}$ ხაზი, რომლის ვალაქეთა t_2 იზოთერმასთან საზოგადოებრივი გამოსული ჰაერის მდგომარეობის გამოსახველ წერტილს (L) მოგვეცემს. C წერტილი ნამის წერტილია; შრობის პროცესის გაგრძელება ამ წერტილით გამოსახული მდგომარეობის შემდეგ მიზანშეწონილი არ არის, რადგან ორთქლის კონდენსაცია მოხდება და ტენი მასალას დაუბრუნდება.

Id ლიავრამაზე A , B და C წერტილების მდებარეობების მიხედვით საზღვრავენ აღნიშნული წერტილებით გამოსახული ჰაერის მდგომარეობის ყველა პარამეტრს.

ბანყოფილება მეორე

თბოგადაცემა

თბოგადაცემის თეორიის ძირითადი დებულებანი

სხეულთა შორის თბოგადაცემის აღძვრის პირობას წარმოადგენს მათ შორის ტემპერატურათა სხვაობის არსებობა. თბოგადაცემა კომპლექსში იგულისხმება ყველა მოვლენის ერთობლიობა, რომელთა დროს წარმოებს სივრცის ერთი ნაწილიდან მეორეში სითბოს გადატანა.

სხეულთა შორის თბოგადაცემას დიდი მნიშვნელობა აქვს თბოტექნიკისა და მისი მონათესავე დარგებისათვის. ორთქლის ქვაბი, ორთქლის მანქანისა და ორთქლის ტურბინის კონდენსატორი, შიგაწევის ძრავას რადიატორი, თბოელექტროსადგურების დამზადება მოწყობილობათა და სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგის ტექნოლოგიურ დანადგართა ნაწილი წარმოადგენს თბოგადაცემაში აპარატების სახესხვაობებს.

სითბოს გავრცელება წარმოადგენს რთულ პროცესს და ამიტომ შესწავლისას მას პირობით ყოფენ მარტივ მოვლენებად და იხილავენ თბოგადაცემის სამ ძირითად სახეს: სითბოგამტარობას, კონვექციურ თბოგადაცემას და სითბურ გამოსხივებას.

სითბოგამტარობა (კონდუქცია). სითბოგამტარობით სითბოს გავრცელებისას სითბური ენერჯის გადაცემა ხდება სხეულის ნაწილაკებს შორის უშუალო შეხებით. ამასთან სხეულის უფრო გამთბარი ნაწილის მოლეკულების კინეტიკური ენერჯია გადაეცემა სხეულის შედარებით უფრო ნაკლებად გამთბარი ნაწილის მოლეკულებს.

კონვექცია — ამ შემთხვევაში სითბური ენერჯის გადატანა დაპირობებულია სითბების და აირების ნაწილაკების გადაადგილებით და ერთმანეთში შერევით. ამასთან დიდი მნიშვნელობა აქვს სითბისა და აირის მოძრაობის ხასიათსა და მდგომარეობას.

სითბური გამოსხივება (რადიაცია). თანამედროვე შეხედულებით სითბური გამოსხივების საშუალებით სითბური ენერჯის გავრცელება ხორციელდება ელექტრომაგნიტური ტალღებით, რომლებიც იგზავნება სივრცეში ვახურებული ფიზიკური სხეულების მიერ. ეს პროცესი თავისი ბუნებით განსხვავდება სითბოგამტარობისა და კონვექციისაგან და დაკავშირებულია ენერჯის გარდაქმნასთან. სითბოს გამომსხივებელ სხეულში ხდება სითბური ენერჯის გარდაქმნა სხივად ენერჯიად, ხოლო სითბოს მიმღებ სხეულში კი ხორციელდება სხივადი ენერჯის გარდაქმნა სითბურ ენერჯიად.

რეალურ პირობებში სითბოს გავრცელების მარტივი მოვლენები არ გვხვდება ცალკე და უმეტეს შემთხვევებში თბოგადაცემის ერთ სახეს თან ერთვის სხვა სახეებიც. მაგალითად, ორთქლის ქვაბის საცეცხლეში სითბობის წვის შედეგად მიღებული კვამლის აირების სითბო ქვაბის ხურების გარე ზედაპირს გადაეცემა როგორც კონვექციით, ისე გამოსხივებით, ხოლო ხურების გარე ზედაპირიდან შიგა ზედაპირზე კედლის სისქეში — სითბოგამტარობით, დაბოლოს, ხურების შიგა ზედაპირიდან ქვაბში არსებულ წყალს სითბო გადაეცემა მხოლოდ კონვექციის გზით. ამრიგად, სითბოს გავრცელების რთულ

პროცესში თბოგადაცემის ყველა სახე ერთმანეთთან სხვადასხვაგვარადაა შერწყმული და ერთიმეორისაგან მათი დაცილება ზოგჯერ შეუძლებელი ხდება.

თბოგადაცემაში აპარატების ხურების ზედაპირების გაანგარიშების დროს სითბოს გავრცელების რთულ პროცესს იხილავენ როგორც ერთ მთლიან მოვლენას და მას თბოგადაცემას უწოდებენ. აგრეთვე ერთმანეთისაგან კედლით განმხოლოებულ ცხელ არედან ცივ არეზე სითბოს გადაცემის პროცესს შემოკლებულად თბოგადაცემას უწოდებენ. თბოგადაცემის შესახებ სწავლებას მჭიდრო კავშირი აქვს თბოძრავების, თბოგადაცემაში აპარატების, გათბობის სისტემისა და ტენიანი მასალების შრობის პროცესების გაანგარიშებასთან.

თ ბ ვ ი 2-1

სითბოგადაცემის

2-1 სითბოგადაცემის ძირითადი ცნებანი

სითბოგადაცემით სითბოს გავრცელების პროცესის შესწავლისათვის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს ტემპერატურული ველის, ტემპერატურული გრადიენტისა და სითბური ნაკადის ცნებათა განსაზღვრა.

სივრცის ყველა წერტილში ტემპერატურათა მნიშვნელობის ერთობლიობას დროის აღებულ ნოშენტში ტემპერატურული ველი ეწოდება. თუ ყოველ წერტილში ტემპერატურა დროის მიხედვით არ იცვლება, მაშინ საქმე გვაქვს სტაციონარულ, დამყარებულ ველთან, ხოლო, თუ ტემპერატურა იცვლება, მაშინ ველი იქნება არასტაციონარული. როდესაც სივრცის ყოველი წერტილის t ტემპერატურა x , y , z კოორდინატებისა და τ დროის ფუნქციაა, მაშინ არასტაციონარული ტემპერატურული ველის განტოლება შემდეგნაირად გამოისახება:

$$t = \varphi(x, y, z, \tau). \quad (2-1)$$

ტემპერატურული ველი შეიძლება იყოს სამ-, ორ-ან ერთგანზომილებიანი. ყველაზე უფრო მარტივ ერთგანზომილებიან ტემპერატურულ სტაციონარულ ველს აქვს შემდეგი სახის განტოლება $t = \varphi(x)$.

ზედაპირს, რომელზედაც მოთავსებული არიან ერთნაირი ტემპერატურის მქონე წერტილები, იზოთერმული ზედაპირი ეწოდება. სტაციონარული სითბური რეჟიმის დროს იზოთერმული ზედაპირები უძრავია, ხოლო არასტაციონარული რეჟიმის დროს ისინი სივრცეში—სხვულში გადაადგილდებიან. სხვადასხვა ტემპერატურის იზოთერმული ზედაპირები ერთმანეთს არ გადაკვეთენ.

განვიხილოთ სივრცეში t და $t + \Delta t$ ტემპერატურებიანი ორი უახლოესი იზოთერმული ზედაპირი (ნაჯ. 2-1).

სხეულში ტემპერატურების ცვლილება ხდება მხოლოდ იზოთერმული ზედაპირების გადაძვებით მიმართულებით (s მიმართულება, ნაჯ. 2-1). ტემპერატურა ყველაზე უფრო მკვეთრად იცვლება იზოთერმული ზედაპირების n ნორმალის მიმართულებით. იზოთერმულ ზედაპირთა შორის Δl ტემპერატურის ცვლილებისა და ზედაპირთა შორის ნორმალის მიმართულებით აღებულ Δn მანძილის შეფარდების ზღვარს ტემპერატურული გრადიენტი ეწოდება და მის მათემატიკურ გამოსახულებას აქვს შემდეგი სახე:

$$\text{grad } t = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta t}{\Delta n} \right) = \frac{dt}{dn} \quad (2-2).$$

ტემპერატურული გრადიენტი წარმოადგენს ვექტორს, რომელიც იზოთერმული ზედაპირის O წერტილში გატარებულ ნორმალს ემთხვევა. ტემპერატურული გრადიენტის ვექტორის ($\text{grad } t$) ვეგმილი რომელიმე s მიმართულებაზე განისაზღვრება შემდეგი თანაფარდობით:

$$(\text{grad } t)_s = \frac{dt}{dn} \cos(\pi s) = \frac{dt}{ds} \quad (2-3)$$

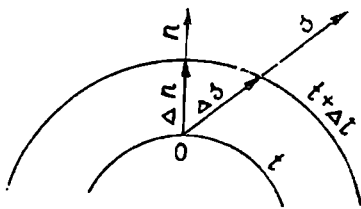
ტემპერატურული გრადიენტის დადებით მიმართულებად ტემპერატურის ზრდის მიმართულება ითვლება.

სითბოს გავრცელება სხეულში ხდება მისი გამთბარი ელემენტებიდან შედარებით უფრო ნაკლებად გამთბარი ელემენტებისაკენ. სითბო სხეულში მიედინება იზოთერმული ზედაპირისადმი ნორმალის მიმართულებით. დროის ერთეულში იზოთერმული ზედაპირის ფართობის ერთეულში გავლილ სითბოს რაოდენობას სითბური ნაკადი ეწოდება და მას q ასოთი აღნიშნავენ, მისი განზომილებაა კკალ/მ² საათი. ეს სიდიდე წარმოადგენს ვექტორს, რომლის მიმართულება სითბოს გავრცელების მიმართულებას ემთხვევა. სითბური ნაკადი ტემპერატურული გრადიენტის საწინააღმდეგოა მიმართული (ხაჯ. 2-2).

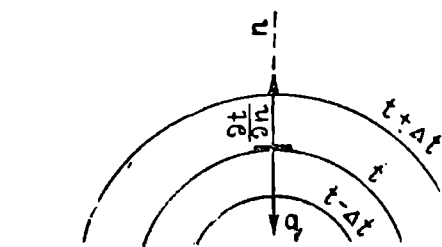
სითბური ნაკადის სიდიდე დამოკიდებულია სხეულის ფიზიკურ თვისებებსა და ტემპერატურულ პირობებზე.

ფურიეს კანონის თანახმად:

$$q = -\lambda \text{grad } t = -\lambda \frac{dt}{dn} \quad \text{კკალ/მ}^2 \text{ საათი,} \quad (2-4)$$



ხაჯ. 2-1. იზოთერმული ზედაპირები.



ხაჯ 2-2. სითბური ნაკადის ვექტორი და ტემპერატურული გრადიენტი.

სხვადასხვა ნივთიერებისათვის სითბოგამტარობის კოეფიციენტს სხვადასხვა მნიშვნელობა აქვს და თითოეულისათვის ის დამოკიდებულია სტრუქტურაზე, ხედრით წონაზე, ტენიანობაზე, წნევაზე და ტემპერატურაზე.

სითბოს საერთო რაოდენობა, რომელსაც გაატარებს სითბოს ნაკადის მიმართულე-
ბის მართობი F მ² ფართობის მქონე ზედაპირი τ საათის განმავლობაში, განისაზღვრება
ტოლობით:

$$Q = q \cdot F \cdot \tau \text{ კკალ.} \quad (2-5)$$

მარტივი შემთხვევისათვის, როდესაც სითბური ნაკადი მიმართულია კედლის ზე-
დაპირის მართობად, კედლის სისქე არის δ მ და კედლის ზედაპირების ტემპერატურე-
ბია t_1^I და t_2^{II} , შეიძლება დაიწეროს:

$$- \text{grad } t = - \frac{dt}{dn} = \frac{t_1^I - t_2^{II}}{\delta} \text{ გრად/მ.} \quad (2-6)$$

მაშინ სითბური ნაკადი

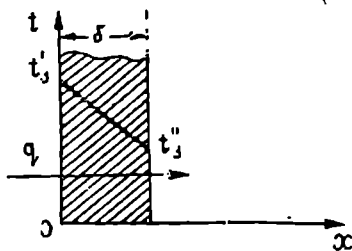
$$q = -\lambda \cdot \text{grad } t = \frac{\lambda}{\delta} (t_1^I - t_2^{II}) \text{ კკალ/მ}^2 \text{ საათი} \quad (2-7)$$

ხოლო სითბოს საერთო რაოდენობა გაიანგარიშება ფორმულით:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1^I - t_2^{II}) \cdot F \cdot \tau \text{ კკალ.} \quad (2-8)$$

2-2. სითბოგამტარობა ერთშრიან ბრტყელ კედელში

განვიხილოთ ერთგვაროვან ერთშრიან ბრტყელ კედელში სითბოგამტარობით სითბოს
გავრცელების შემთხვევა სტაციონარული სითბური რეჟიმის დროს. ბრტყელი კედლის სისქე



აღენიშნოთ δ მ (ნაკ. 2-3), კედ-
ლის ზედაპირების ტემპერატურე-
ბი t_1^I და t_2^{II} , ხოლო კედლის მა-
სალის სითბოგამტარობის კოეფი-
ციენტი λ -თი.

სითბოს საერთო რაოდენო-
ბა, რომელიც τ საათის განმავ-
ლობაში გავრცელდება სითბოგამ-
ტარობით F მ² ზედაპირიანი
ბრტყელი კედლის საშუალებით,
განისაზღვრება (2-8) ფორმულით

ნაკ. 2-3. სითბოგამტარობა ერთშრიან ბრტყელ კედელში.

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1^I - t_2^{II}) \cdot F \cdot \tau \text{ კკალ.}$$

თუ დავეუფებთ, რომ უკანასკნელ განტოლებაში

$$t_1^I - t_2^{II} = 1^\circ\text{C}, \quad F = 1 \text{ მ}^2, \quad \tau = 1 \text{ საათს და } \delta = 1 \text{ მ,}$$

მივიღებთ

$$Q = \lambda \text{ კკალ/მ საათი } ^\circ\text{C.}$$

თუ სითბოს საერთო რაოდენობიდან გადავალთ ზვედრით სითბურ ნაკადზე, მაშინ სით-
ბოს საერთო რაოდენობის გასაიანგარიშებელი (2-8) ფორმულის ორივე მხარე უნდა გა-
იყოს $F \cdot \tau$ სიდიდეზე, მივიღებთ

$$q = \frac{C}{F \cdot \tau} = \frac{\lambda}{\delta} (t_1^I - t_2^II),$$

საბოლოოდ

$$q = \frac{t_1^I - t_2^II}{\frac{\delta}{\lambda}} \text{ კვად/მ}^2 \text{ საათი.} \quad (2-9)$$

უკანასკნელ ფორმულაში $\frac{\delta}{\lambda}$ (მ² საათი⁰C/კვად) ფარდობას კედლის სითბური ანუ თერმული წინააღობა ეწოდება.

(2-9) ფორმულიდან შეიძლება განისაზღვროს კედლის ზედაპირის (t_1^I) ტემპერატურა, თუ ცნობილია კედლის მეორე ზედაპირის ტემპერატურა (t_2^II):

$$t_1^I - t_2^II = q \cdot \frac{\delta}{\lambda},$$

საიდანაც

$$t_1^I = t_2^II + q \cdot \frac{\delta}{\lambda}. \quad (2-10)$$

2-3. სითბოგამტარობა სამშრიან ბრტყელ კედელში

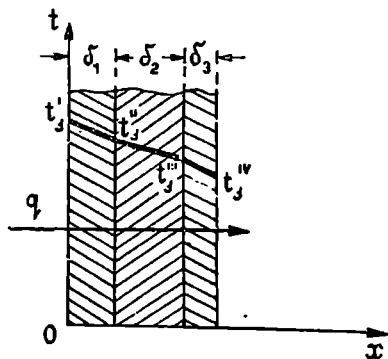
განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც ბრტყელი კედელი შედგება სამი არაერთგვაროვანი ერთიმეორეზე მჭიდროდ მიკრული შრისაგან (ნაკ. 2-4).

პირველი შრის სისქე აღვნიშნოთ δ_1 , მეორესი— δ_2 და მესამესი— δ_3 -თი. შესაბამისად შრეების სითბოგამტარობის კოეფიციენტები აღვნიშნოთ λ_1 , λ_2 და λ_3 -თი. ვინაიდან სითბოგამტარობას სტაციონარული სითბური რეჟიმისათვის ვიწვავთ, სითბოს ნაკადი მუდმივია და ყველა შრისათვის ერთნაირი.

(2-9) ფორმულის საფუძველზე თითოეული შრისათვის შეიძლება დაიწეროს:

$$q = \frac{t_1^I - t_2^II}{\frac{\delta_1}{\lambda_1}}, \quad q = \frac{t_2^II - t_3^III}{\frac{\delta_2}{\lambda_2}},$$

$$q = \frac{t_3^III - t_4^IV}{\frac{\delta_3}{\lambda_3}}. \quad (a)$$



ამ ტოლობებიდან განვსაზღვროთ ტემპერატურათა სხვაობები ყოველი შრისათვის ცალკე:

$$t_1^I - t_2^II = q \cdot \frac{\delta_1}{\lambda_1}, \quad t_2^II - t_3^III = q \cdot \frac{\delta_2}{\lambda_2}, \quad t_3^III - t_4^IV = q \cdot \frac{\delta_3}{\lambda_3}. \quad (b)$$

ნაკ. 2-4. სითბოგამტარობა სამშრიან ბრტყელ კედელში.

(ბ) განტოლებათა სისტემის მარცხენა და მარჯვენა მხარეების ცალ-ცალკე შეჯამებით მივიღებთ:

$$I_3 - I_3^{IV} = q \cdot \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right). \quad (c)$$

უკანასკნელი განტოლებიდან განვსაზღვროთ q სითბოს ნაკადის სიდიდე:

$$q = \frac{I_3 - I_3^{IV}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} \quad \text{კვად/მ}^2 \text{ საათი.} \quad (2-11)$$

თუ ბრტყელი კედელი შედგება არაერთგვაროვანი n შრისაგან, ანალოგიურად (2-11) ფორმულისა, სითბოს ნაკადის სიდიდის გასაანგარიშებლად შეიძლება დაიწეროს ფორმულა:

$$q = \frac{I_3 - I_3^{n+1}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad \text{კვად/მ}^2 \text{ საათი.}$$

(2-11) განტოლების მნიშვნელის თითოეული საკრები შესაბამისი შრის თერმულ წინაღობის წარმოადგენს. მაშასადამე, სამშრიან ბრტყელ კედელში სითბოგამტარობისას საერთო თერმული წინაღობა განისაზღვრება სიდიდით

$$\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right),$$

ხოლო n შრიანი ბრტყელი კედლის შემთხვევაში საერთო თერმული წინაღობა განისაზღვრება სიდიდით

$$\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}.$$

როდესაც ცნობილია კედლის ზედაპირის I_3^I ტემპერატურა, მაშინ კედლის შრეების ზედაპირების ტემპერატურა გამოითვლება ტოლობებით:

$$I_3^I = I_3^I - q \cdot \frac{\delta_1}{\lambda_1}, \quad I_3^{II} = I_3^I - q \cdot \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right), \quad I_3^{IV} = I_3^I - q \cdot \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right).$$

ამ შემთხვევაში, როდესაც მოცემულია არა I_3^I არამედ I_3^{IV} , მაშინ კედლის შრეების ტემპერატურები შემდგომი ტოლობებით განისაზღვრება:

$$I_3^I = I_3^{IV} + q \cdot \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right), \quad I_3^{II} = I_3^{IV} + q \cdot \left(\frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right), \quad I_3^I = I_3^{IV} + q \cdot \frac{\delta_3}{\lambda_3}.$$

ცილინდრულ კედელში სითბოგამტარობის შესწავლას თბოტექნიკისათვის დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, რადგან თბოგადამცემი აპარატების უმეტესობას აქვს ცილინდრული ფორმის ხურების ზედაპირები.

განვიხილოთ სითბოგამტარობა ერთშიანი ცილინდრულ კედელში (მოდ. I). მილის სიგრძე ვთქვათ არის l მ, ხოლო შიგა და გარე რადიუსები — r_1 და r_2 .

მილის ცილინდრული კედლის შიგა და გარე ზედაპირების ტემპერატურები t_1 და t_2 მუდმივი სიდიდეებია, ე. ი. განიხილება სტაციონარული სითბური რეჟიმი, ამასთან ერთად კედლის მასალისათვის λ სითბოგამტარობის კოეფიციენტი ვთვლით მუდმივ სიდიდედ. აგრეთვე დავუშვათ, რომ $t_2 > t_1$.

ცილინდრული მილის (ნაკ. 2-5) კედელში გამოვყოთ იზოთერმული ზედაპირებით შემოსაზღვრული ცილინდრული შრე (თხელკედლიანი მილი), r რადიუსით და dr კედლის სისქით.

სითბოგამტარობით ცილინდრულ კედელში სითბოს გავრცელებისათვის გამოვიყენოთ ფურცის განტოლება შემდეგი სახით:

$$Q = -\lambda \cdot \frac{dt}{dr} \cdot F \cdot \tau \quad \text{კალ.} \quad (2-12)$$

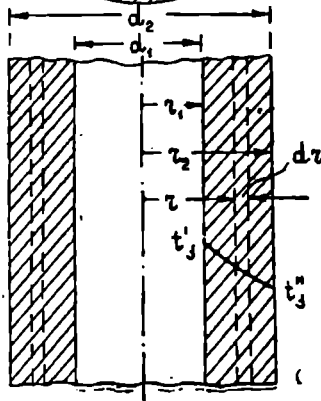
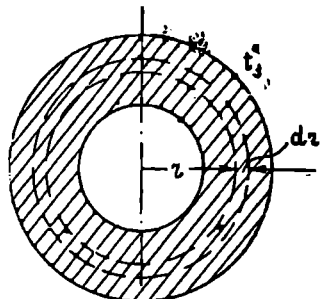
ნაკეთზე მოცემულია l მ სიგრძის მქონე მილი, რომელშიაც სითბური ნაკადი მიედინება შიგნიდან გარეთ, ამასთან ცილინდრული ზედაპირი, რომლის საშუალებით გადაეცემა სითბო, იზრდება r რადიუსის გადიდებით. ამ შემთხვევაში სითბური ნაკადის განტოლების გამოყენება ხდება რადიუსის dr უსასრულო მცირე სიდიდისათვის, ჩათვლება რა გამოყოფილი ზედაპირი ბრტყელ კედლად.

ცენტრიდან r რადიუსით დაცილებული l მ სიგრძის მილის კედლის ზედაპირის ფართობი ტოლი იქნება $2 \cdot \pi \cdot r \cdot l$. ასეთი მილის ცილინდრულ კედელში გატარებული სითბოს საერთო რაოდენობა განისაზღვრება ტოლობით:

$$Q = -2\pi \cdot r \cdot l \cdot \lambda \cdot \frac{dt}{dr} \cdot \tau \quad \text{კალ.}$$

თუ დავუშვებთ, რომ მილის სიგრძე $l = 1$ მ და დროის მონაკვეთი $\tau = 1$ საათს, მაშინ q სითბური ნაკადის სიდიდე განისაზღვრება ტოლობით:

$$q = -2 \cdot \pi \cdot r \cdot \lambda \cdot \frac{dt}{dr} \quad \text{კალ/მ საათი.} \quad (2-13)$$



ნაკ. 2-5. სითბოგამტარობა ერთშიანი ცილინდრულ კედელში.

ტემპერატურის ვარდნა რადიუსის dr უსასრულო მცირე მონაკვეთზე იხილება

სწორხაზობრივად. უკანასკნელი ტოლობის მარჯვენა მხარეს უარყოფითი ნიშანი გვიჩვენებს, რომ რადიუსის dr სიდიდით ვადიდებისას ტემპერატურა მცირდება dt სიდიდით. (2-13) ტოლობიდან dt -ს მნიშვნელობის ამოხსნით მივიღებთ:

$$dt = - \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \frac{dr}{r}. \quad (2-14)$$

გავაინტეგრავთ რა უკანასკნელ განტოლებას, მივიღებთ:

$$\int_{t_3^I}^{t_3^{II}} dt = - \int_{r_1}^{r_2} \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \frac{dr}{r} = - \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r},$$

აქედან

$$t_3^I - t_3^{II} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (2-15)$$

თუ (2-15) განტოლებაში r_1 და r_2 რადიუსების ნაცვლად შევიტანთ d_1 და d_2 დიამეტრებს, მივიღებთ:

$$t_3^I - t_3^{II} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}. \quad (2-16)$$

უკანასკნელ ტოლობას ამოვხსნით რა q სითბური ნაკადის მიმართ, მივიღებთ ერთ-შრიან ცილინდრულ კედელში სითბოგამტარობით გავრცელებულ სითბური ნაკადის განსაზღვრულ განტოლებას:

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot (t_3^I - t_3^{II})}{\ln \frac{d_2}{d_1}} = \frac{\pi \cdot (t_3^I - t_3^{II})}{\frac{1}{2 \cdot \lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}} \text{ კალ/მ საათი.} \quad (2-17)$$

უკანასკნელი განტოლების მნიშვნელის $\left(\frac{1}{2 \cdot \lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} \right)$ სიდიდით ისაზღვრება 1 მ სიგრძის მქონე ერთ-შრიან ცილინდრულ კედელში სითბოგამტარობით სითბოს გავრცელების თერმული წინაღობის მნიშვნელობა.

2-5. სითბოგამტარობა სამშრიან ცილინდრულ კედელში

განვიხილოთ არაერთგვაროვან სამშრიან ცილინდრულ კედელში სითბოს გავრცელება სითბოგამტარობით. ცილინდრული სამშრიანი კედლის თითოეული შრის დიამეტრი და სითბოგამტარობის კოეფიციენტი ეთქვათ ცნობილია (მათი აღნიშვნები იხ. ნაკ. 2-6-ზე). აგრეთვე ცნობილია სამშრიანი ცილინდრული კედლის შიგა და გარე ზედაპირების t_3^I და t_3^{IV} ტემპერატურები, ხოლო უცნობია შრეების შეხების ზედაპირთა ტემპერატურები t_3^{II} და t_3^{III} .

ვიზილავთ რა სტაციონარული სითბური რეჟიმის შემთხვევას, თითოეული შრის მიერ გატარებული q სითბური ნაკადი ერთმანეთის ტოლი და მუდმივი უნდა იყოს. (2—17) ფორმულის საფუძველზე სამივე შრისათვის შეიძლება დაიწეროს განტოლებათა სისტემა:

$$q = \frac{I - II}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}}, \quad q = \frac{II - III}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2}}, \quad q = \frac{III - IV}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3}}. \quad (a)$$

(a) განტოლებათა სისტემიდან განვსაზღვროთ ტემპერატურათა სხვაობა ყოველი შრისათვის:

$$I - II = q \cdot \frac{1}{2 \pi \lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}, \quad II - III = q \cdot \frac{1}{2 \pi \lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2}, \quad III - IV = q \cdot \frac{1}{2 \pi \lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3}. \quad (b)$$

(b) განტოლებათა სისტემის მარცხენა და მარჯვენა მხარეების ცალ-ცალკე შეკრებით მივიღებთ:

$$I - IV = q \cdot \left(\frac{1}{2 \pi \lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2 \pi \lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{2 \pi \lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3} \right). \quad (c)$$

უკანასკნელ ტოლობიდან ისაზღვრება არაერთგვაროვან სამშრიან ცილინდრულ კედელში სითბოგამტარობით სითბოს გავრცელებისას q სითბური ნაკადის სიდიდე:

$$q = \frac{I - IV}{\frac{1}{2 \pi \lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2 \pi \lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{2 \pi \lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3}} \quad \text{კვლ/მ საათი. (2—18)}$$

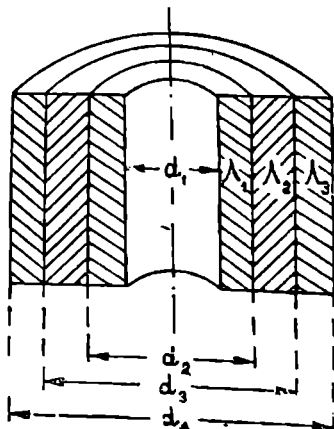
უკანასკნელი ფორმულის ანალოგიურად პირდაპირ შეიძლება დაიწეროს n შრიან ცილინდრულ კედელში სითბოგამტარობით სითბოს გავრცელებისას q სითბური ნაკადის სიდიდის გასაანგარიშებელი ფორმულა შემდეგი სახით:

$$q = \frac{\pi \cdot (t_3 - t_3^{n+1})}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{2 \cdot \lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}} \quad \text{კვლ/მ საათი. (d)}$$

უკანასკნელ ფორმულაში სიდიდე

$$\left(\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{2 \cdot \lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} \right)$$

წარმოადგენს მრავალშრიან ცილინდრულ კედელში სითბოგამტარობის თერმულ წინაღობას.



ნაყ. 2—6. სითბოგამტარობა სამშრიან ცილინდრულ კედელში.

კონვექციით სითბოს ზავრცელება

2-6. კონვექციით სითბოს ზავრცელების ძირითადი ცნებანი

მყარი სხეულიდან უშუალოდ სითხეზე ან აირზე, ან პირიქით სითბოს გადასვლის პროცესს კონვექციით სითბოს გავრცელებას ან შეხებით სითბოგაცემას უწოდებენ.

კონვექციით სითბოს გავრცელება უშუალოდ დაკავშირებულია სითხის ან აირის ნაწილაკების გადაადგილებასთან. უკანასკნელი კი შესაძინევად ართულებს სითბოგაცემის პროცესის მოვლენას, რადგან ნაწილაკების გადაადგილება, თავის მხრივ, დამოკიდებულია მოძრაობის რეჟიმსა და მის გამომწვევე ფაქტორებზე, სითხის ან აირის ფიზიკურ თვისებებზე, სითბოს მიმღები ან გამცემი მყარი სხეულის ზედაპირის ფორმაზე, მდგომარეობაზე, ზომებზე და სხვ.

სითხის ან აირის მოძრაობის წარმოშობის მიზეზების შესწავლისას ანსხვავებენ ორი სახის მოძრაობას—თავისუფალს და იძულებითს. სითხის ან აირის თავისუფალი მოძრაობა აღიქვება შიგა მიზეზების გავლენით, უმთავრესად მასაში ტემპერატურათა უთანაბრობით გამოწვეული ხედრითი წონების სხვაობით.

სითხის ან აირის ისეთ მოძრაობას, რომელიც გარეშე ამგზნები მიზეზის უთანაბრებისას წარმოიქმნება თავისუფალი მოძრაობის გარდა, აგრეთვე ბუნებრივ კონვექციასაც უწოდებენ.

სითხის ან აირის იძულებითი მოძრაობა ხორციელდება გარე ამგზნებების—ტუმბოების ან ვენტილატორების—საშუალებით.

მოძრაობის დიდი სიჩქარეების დროს თავისუფალი მოძრაობის ზეგავლენას უგულებელყოფენ და სითბოგაცემის ინტენსივობა ისახლვრება მხოლოდ სითხის ან აირის იძულებითი მოძრაობით. ჰიდროდინამიკისა და აეროდინამიკის კურსიდან ცნობილია სითხისა და აირების მოძრაობის ორი რეჟიმი: ლამინარული და ტურბულენტური. ლამინარული მოძრაობის შემთხვევაში სითხის ან აირის ნაწილაკები ურთიერთ და არხის გეომეტრიული ღერძის პარალელურად მოძრაობენ; ამ დროს სითბური ნაკადი ხორციელდება მხოლოდ სითბოგამტარობით, ხოლო ვინაიდან სითხეების სითბოგამტარობა მცირეა, ლამინარული მოძრაობის დროს სითბოს გავრცელება ძლიერ. სუსტია. ტურბულენტური მოძრაობის შემთხვევაში ნაწილაკები მოძრაობენ მოუწყსრიგებლად—ქაოსურად. ამ დროს ხდება სითხის ან აირის ნაწილაკების ინტენსიური შერევა, რითაც დაპირობებულია გაძლიერებული კონვექციური სითბოგაცემა ცხელი ნაწილაკებიდან ცივ ნაწილაკებზე, რის გამო სითბოს გავრცელების თვალსაზრისით ტურბულენტური მოძრაობა უფრო ხელსაყრელია, ვიდრე ლამინარული.

კონვექციით სითბოს გავრცელებისას, სითხიდან ან აირიდან კედლის ზედაპირზე ან პირიქით გაცემული სითბოს საერთო რაოდენობა განისაზღვრება ნიუტონის ფორმულით:

$$Q = \alpha \cdot (t_6 - t_5) \cdot F \cdot \tau \text{ კვალ,} \tag{2-19}$$

სადაც α არის სითბოგაცემის კოეფიციენტი, კვალ/მ² საათი გრად;

t_6 — სითხის ან აირის ნაკადის ტემპერატურა;

t_5 — კედლის ზედაპირის ტემპერატურა;

F — კედლის ზედაპირის ფართობი მ²-ით;

τ — დრო საათობით.

როდესაც ტემპერატურათა სხვაობა $t_6 - t_5 = 1^{\circ}\text{C}$, კედლის ზედაპირის ფართობი

$F=1 \text{ მ}^2$ და $\tau=1$ საათს, მაშინ

$$Q = \alpha \text{ კკალ/მ}^2 \text{ საათი გრად.}$$

მაშასადამე, α სითბოგაცემის კოეფიციენტი სითბოს ისრაოდენობაა, რომელიც გადაეცემა ერთ საათში კედლის ზედაპირის 1 მ^2 ფართობიდან, როდესაც სითბის ან აირის და კედლის ზედაპირის ტემპერატურათა შორის სხვაობა 1°C -ის ტოლია.

კონვექციით სითბოს გაერყელებისას სითბური ნაკადის სიდიდე განისაზღვრება ტოლობით:

$$q = \frac{Q}{F \cdot \tau} = \alpha \cdot (t_6 - t),$$

ანუ

$$q = \frac{(t_6 - t_3)}{\frac{1}{\alpha}} \text{ კკალ/მ}^2 \text{ საათი,} \quad (2-20)$$

სადაც $\frac{1}{\alpha}$ სიდიდეს ეწოდება სითბოგაცემის თერმული წინაღობა.

როგორც (2—19) ფორმულიდან ჩანს, სითბოგაცემით (კონვექციით) სითბოს გაერყელებისას პროცესის მთელი სირთულე და გაანგარიშების სიმწიფე დაყვანილია α სითბოგაცემის კოეფიციენტის სიდიდის განსაზღვრამდე. ჩატარებული ცდები გვიჩვენებენ, რომ α სითბოგაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობა იცვლება ფართო ზღვრებში, 1-დან 120 000 კკალ/მ² საათი გრად-მდე. ამიტომ (2—19) ფორმულის პრაქტიკული გამოყენებისას სინელებს წარმოადგენს ამ α კოეფიციენტის სიდიდის დასაბუთებული შერჩევა.

α სითბოგაცემის კოეფიციენტის სიდიდის მნიშვნელობაზე გავლენას ახდენენ: ნაკადის მოძრაობის ხასიათი, მოძრაობის სიჩქარე, სითბის ბუნება, ზედაპირის მიმართ ნაკადის მოძრაობის მიმართულება, ზედაპირის ფორმა, სითბური ნაკადის მიმართულება, კედლის ზედაპირის ხორკლიანობის ხარისხი და სხვ.

ხამრეწველო თბოგადამცემ დანადგარებში α სითბოგაცემის კოეფიციენტის ხაზრიენტაციო მნიშვნელობები

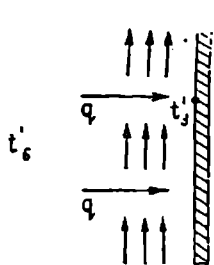
ჭაერის გათბობისა და გაციფების დროს	$\alpha = 1 \div 50$	კკალ/მ ² საათი გრად.
წყლის გათბობისა და გაციფების დროს	$\alpha = 200 \div 10000$	" " "
წყლის დუღილის დროს	$\alpha = 500 \div 45000$	" " "
წყლის ორთქლის წვეთური კონდენსაციის დროს	$\alpha = 40000 \div 120000$	" " "

2-7. კონვექციით სითბოგაცემა ხითხის ან აირის ნაკადიდან ბრძანული კედლის ზედაპირზე და პირიძით

სითხის ან აირის ცხელი ნაკადიდან კედლის ზედაპირზე სითბოს გადასვლის შემთხვევისათვის სითბოგაცემის კოეფიციენტი აღენიშნოთ α_1 -ით, ხოლო კედლის ზედაპირიდან ცივ ნაკადზე α_2 -თი.

პირველ რიგში განვიხილოთ სითბოგაცემა ნაკადიდან კედლის ზედაპირზე, ე. ი. როცა $t_6 > t_3$ -ზე. დავუშვათ, რომ კედლის ზედაპირის გასწვრივ (ნაკ. 2—7) მიედინება სითხე ან აირი, რომლის ტემპერატურაა t_6 , ხოლო კედლის ზედაპირის ტემპერატურა კი t_3 .

სითხის ან აირის ნაკადიდან კედლის ზედაპირზე სითბოს გაცემისას (2—20) ფორმულის საფუძველზე შეიძლება განისაზღვროს q სითბური ნაკადის მნიშვნელობა:



$$q = \frac{t_6 - t_3}{\frac{1}{\alpha_1}} \text{ კვალ/მ}^2 \text{ საათი.} \quad (2-21)$$

განხილული შემთხვევისათვის თერმული წინაღობა განისაზღვრება სიდიდით $\left(\frac{1}{\alpha_1}\right)$.

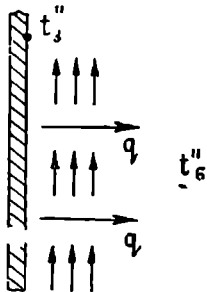
განვიხილოთ შებრუნებული შემთხვევა, ე. ი. როდესაც კედლის გასწვრივ მიედინება სითბე ან აირი და კედლის ზე-

ნაკ. 2—7. სითბოგაცემა ნაკადიდან კედლის ზედაპირზე.

დაპირის ტემპერატურა $t_3 > t_6$. ასეთ შემთხვევაში აღვნიშნავთ სითბოგაცემას კედლის ზედაპირიდან ნაკადზე (ნაკ. 2—8).

(2—21) ფორმულის ანალოგიურად შეიძლება დაიწეროს სითბური ნაკადის გასაანგარიშებელი ფორმულა:

$$q = \frac{t_3 - t_6}{\frac{1}{\alpha_2}} \text{ კვალ/მ}^2 \text{ საათი.} \quad (2-22)$$

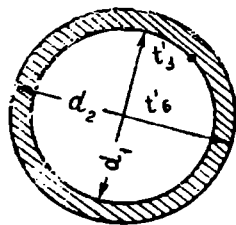


ნაკ. 2—8. სითბოგაცემა კედლის ზედაპირიდან ნაკადზე.

ამ შემთხვევაში თერმული წინაღობის მნიშვნელობა განისაზღვრება $\left(\frac{1}{\alpha_2}\right)$ სიდიდით.

2—8. კონვექციით სითბოგაცემა სითხის ან აირის ნაკადიდან ცილინდრული კედლის ზედაპირზე და პირიქით

დავეუფავთ, რომ მილგაყვანილობაში მიედინება სითხის ან აირის ნაკადი (ნაკ. 2—9), რომლის ტემპერატურა მეტია მილის ცილინდრული კედლის შიგა ზედაპირის ტემპერატურაზე, ე. ი. $t_6 > t_3$ -ზე.



ნაკ. 2—9. სითბოგაცემა ნაკადიდან ცილინდრული კედლის შიგა ზედაპირზე.

(2—19) ფორმულის საფუძველზე შეიძლება განისაზღვროს სითბოს რაოდენობა, რომელიც ვადაცემა ნაკადიდან ცილინდრული კედლის შიგა ზედაპირის:

$$Q = \alpha_1 \cdot (t_6 - t_3) \cdot F \cdot \tau \text{ კვალ.}$$

თუ გაანგარიშებას ვაწარმოებთ ერთი გრძივი მეტრი მრგვალი კვეთის მქონე მილის მიმართ, მაშინ უკანასკნელ ფორმულაში

$$F = 2 \cdot \pi \cdot r, = \pi \cdot d_1.$$

უქანასკნელი ტოლობის მხედველობაში მიღებით სითბური ნაკადის გასაანგარიშებელი ფორმულა, როდესაც დროის მონაკვეთი $\tau = 1$ საათს, შეიძლება დაიწეროს შემდეგი სახით:

$$q = \frac{\pi \cdot (t_5 - t_3)}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1}} \text{ კკალ/მ საათი.} \quad (2-23)$$

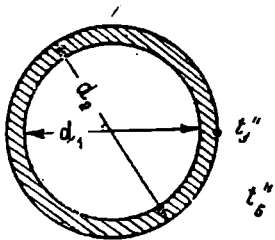
უქანასკნელი ტოლობის მარჯვენა მხარის მნიშვნელი $\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1}$ წარმოადგენს განხილული შემთხვევისათვის თერმული წინაღობის სიდიდეს.

თუ საჭიროა განისაზღვროს q სითბური ნაკადის სიდიდე კონვექციის საშუალებით მილის კედლის გარე ზედაპირიდან სითხის ან აირის ნაკადზე სითბოს გაცემისას (ნაგ. (2--9a), შეიძლება გამოყენებულ იქნეს (2--23) ფორმულის ანალოგიური ფორმულა

$$q = \frac{\pi (t_3 - t_5)}{\frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}} \text{ კკალ/მ საათი,} \quad (2-23a)$$

სადაც t_3 აირის მილის კედლის გარე ზედაპირის ტემპერატურა; t_5 — სითხის ან აირის ნაკადის საშუალო ტემპერატურა.

(2--23a) ფორმულის მარჯვენა მხარის მნიშვნელი $\frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}$ წარმოადგენს განხილული შემთხვევისათვის თერმული წინაღობის სიდიდეს.



ნაგ. 2-9a. სითბოცაცემა ცილინდრული კედლის გარე ზედაპირიდან ნაკადზე.

2-9. მსხპნსმპის თერმული საშუალებების ზოგადი საკითხი

კონვექციით სითბოს გავრცელების პროცესის სირთულის გამო, იშვიათი შემთხვევების გარდა, სითბოცაცემის კოეფიციენტი თეორიულად გამოთვალა შეუძლებელია. სხვადასხვა შემთხვევის დროს კონვექციით სითბოცაცემის α სითბოცაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობის განსაზღვრა ექსპერიმენტების ჩატარების საშუალებით ხდება.

ცალკეული ექსპერიმენტებით მიღებული შედეგები, მათი მათემატიკური სათანადო გაფორმებით, დაიყვანება ემპირიული საანგარიშო განტოლებების სახემდე. ჩვენ უკვე ზემოთ აღვნიშნეთ, რომ ექსპერიმენტული ცდებით მიღებული შედეგების გავრცელება კანონზომიერია მხოლოდ მსგავს მოვლენებზე, ხოლო მსგავსი მოვლენების შესახებ სწავლება კი შეადგენს მსგავსების თეორიის საგანს.

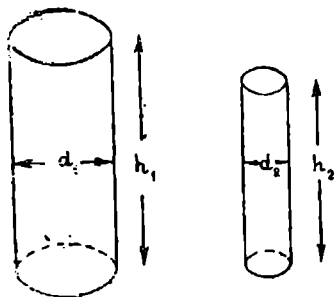
სითბური მსგავსების თეორია საშუალებას იძლევა გადაწყდეს შემდეგი საკითხები: რომელი სიდიდეები უნდა იქნეს გაზომილი ექსპერიმენტების დროს; როგორ უნდა დამუშავდეს ცდებით მიღებული შედეგები, რათა მიღებულ იქნეს რაც შეიძლება უფრო ზოგადი სახის ფორმულები და როგორია იმ მოვლენათა არე, რომლებზედაც შეიძლება

გავრცელდეს მიღებული დამოკიდებულებანი. უნდა აღინიშნოს, რომ მსგავსების ცნება საერთოდ ნასესხებია გეომეტრიიდან. თუ ორი ცილინდრის დიამეტრებს აღვნიშნავთ d_1 და d_2 -თი, ხოლო სიმაღლეებს სათანადოდ— h_1 და h_2 -თი (ნაკ. 2—10), მაშინ მათი მსგავსების შემთხვევაში ადგილი უნდა ჰქონდეს პროპორციას:

$$c = \frac{d_2}{d_1} = \frac{h_2}{h_1}, \quad (2-24)$$

და, მაშასადამე, $d_2 = c \cdot d_1$ და $h_2 = c \cdot h_1$.

უკანასკნელ ტოლობებში c უკანონომილებო პროპორციულობის მამრავლია ანუ მსგავსების მუდმივა. (2—24) პირობა გეომეტრიული მსგავსების მათემატიკურ ჩამოყალიბებას გამოსახავს. ცნობილია, რომ გეომეტრიული მსგავსება წარმოადგენს ყოველი ფიზიკური მოვლენის მსგავსების აუცილებელ წინაპირობას, რადგან ამ მოვლენათა დაპირისპირება უნდა წარმოებდეს სივრცის შესაბამე წერტილებში. მაგრამ, გეომეტრიული მსგავსების გარდა, ადგილი უნდა ჰქონდეს აგრეთვე განსახილველი ფიზიკური მოვლენის მთლიანად დამახასიათებელ მთელ რიგ სხვა სიდიდეთა მსგავსებას. ორი ფიზიკური მოვლენის მსგავსება იწინავს ყველა იმ სიდიდის მსგავსებას, რომლებიც განსახილველ მოვლენას ახასიათებენ. მაშასადამე, სივრცის შესაბამის წერტილებში და დროის შესაბამის მომენტში პირველი მოვლენის ყოველი სიდიდე φ' მეორე მოვლენის იმავე გვარის φ'' სიდიდის პროპორციულია, ე. ი.



ნაკ. 2—10. გეომეტრიულად მსგავსი ცილინდრები.

$$\varphi'' = c_{\varphi} \varphi',$$

სადაც c_{φ} არის მსგავსების შესაბამისი მუდმივა.

რთული ფიზიკური მოვლენა სიდიდეთა მეტი რაოდენობით ხასიათდება.

ნიუტონმა პირველად მოგვცა მექანიკური მსგავსების გამოყენების მაგალითი. მექანიკის ძირითადი განტოლება—ნიუტონის მეორე კანონი—გამოისახება შემდეგნაირად: ძალა მასისა და აჩქარების ნამრავლის ტოლია:

$$P = mu = m \frac{w}{t}. \quad (2-25)$$

დავუშვათ, რომ იხილება ორი სისტემა, რომელთა მსგავსების შესახებ საჭიროა დასკვნის გამოტანა. პირველი სისტემისათვის გვექნება:

$$P' = m' \frac{w'}{t'}; \quad (2-26)$$

მეორე სისტემისათვის შესაბამისად გვექნება

$$P'' = m'' \frac{w''}{t''}. \quad (2-27)$$

ამ ორი სისტემის ისეთი მოვლენების დაპირისპირება, რომლებიც ემორჩილებიან ნიუტონის მეორე კანონს, უნდა ხდებოდეს $\frac{P''}{m''}$ კომპლექსური სიდიდის დახმარებით. თუ

ამ ორი სისტემის მოვლენებში $\frac{P'z'}{m'w'}$ და $\frac{P''z''}{m''w''}$ კომპლექსური სიდიდეები ტოლია, მაშინ ასეთი მოვლენები მსგავსია. აღნიშნულ კომპლექსურ სიდიდეებს მსგავსების კრიტერიუმები ანუ ინვარიანტები ეწოდება. მსგავსების კრიტერიუმები უგანზომილებო რიცხვებია. ზემოგანხილული დინამიკური მსგავსების კრიტერიუმში აღინიშნება Ne (ნიუტონი), ე. ი.

$$Ne = \frac{P\tau}{mw} \quad (2-28)$$

მსგავს დინამიკურ სისტემებში ადგილი უნდა ჰქონდეს მათი კრიტერიუმების ერთნაირობას, რაც გამოისახება შემდეგნაირად:

$$Ne = idem \text{ (ერთი და იგივე)}. \quad (2-29)$$

თუ (2-28) ფორმულაში შევითავსოთ $\tau = \frac{l}{w}$ მნიშვნელობას, მაშინ ნიუტონის კრიტერიუმში მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$Ne = \frac{Pl}{mw^2} \quad (2-28a)$$

უმნიშვნელოვანეს კრიტერიუმთა რიცხვს ეკუთვნის კინემატიკური მსგავსების ანუ ჰიდროდინამიკური რეინოლდსის კრიტერიუმი:

$$Re = \frac{\rho w l}{\mu} \quad (2-30)$$

ჰომოქრონობის კრიტერიუმი:

$$Ho = \frac{w^2}{l} \quad (2-31)$$

ფრუდის კრიტერიუმი:

$$Fr = \frac{gl}{w^3} \quad (2-32)$$

ეილერის კრიტერიუმი:

$$Eu = \frac{p}{\rho w^3} \quad (2-33)$$

ჩვეულებრივად, ეილერის კრიტერიუმს შეცვლილი სახით იყენებენ; სახელდობრ, თუ p წნევის ნაცვლად ჩავსვათ სისტემის რომელიმე ორ წერტილს შორის Δp წნევათა სხვაობას, მაშინ ეილერის კრიტერიუმი შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho w^3} \quad (2-34)$$

მაშასადამე, ორი ან რამდენიმე სისტემის მექანიკური მსგავსების შემთხვევაში, შესაბამისი წერტილებსათვის მსგავსების კრიტერიუმებს Re , Ho , Fr და Eu სათანადოდ ერთი

* ზოგჯერ ფრუდის კრიტერიუმს უწოდებენ შებრუნებულ გამოსახულებას: $\frac{w^2}{gl}$.

და იგივე მნიშვნელობანი აქვთ. ზოგიერთ შემთხვევაში, როდესაც შეუძლებელი ხდება სითხის ან აირის მოძრაობის w სიჩქარის გაზომვა, ფრუდის კრიტერიუმის ნაცვლად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს გალილეის კრიტერიუმი:

$$Ga = Fr \cdot Re^3 = \frac{g l^3}{\nu^2}. \quad (2-35)$$

თუ გალილეის კრიტერიუმს $\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0}$ სიმპლექსზე* გაეამრავლებთ, მივიღებთ არქიმედის კრიტერიუმს:

$$Ar = Ga \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} = \frac{g l^3}{\nu^2} \cdot \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0}, \quad (2-36)$$

სადაც ρ და ρ_0 წარმოადგენენ სითხის ან აირის სიმკვრივეებს სისტემის ორ სხვადასხვა წერტილში.

თუ სითხის ან აირის სიმკვრივეთა სხვაობა განისაზღვრება Δl ტემპერატურათა სხვაობით, მაშინ სიმპლექსი $\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} = \beta \cdot \Delta l$, სადაც β არის სითხის ან აირის მოცულობითი გაფართოებულობის კოეფიციენტი. ამ სიმპლექსის მნიშვნელობის (2-36) განტოლებაში ჩასმით მივიღებთ გრასპოფის კრიტერიუმის გამოსახულებას:

$$Gr = \beta \cdot \frac{g l^3}{\nu^2} \cdot \Delta l. \quad (2-37)$$

სითბური მსგავსების კრიტერიუმებია შემდეგი: ფურის კრიტერიუმი:

$$Fo = \frac{a \tau}{l^2}; \quad (2-38)$$

პეკლეს კრიტერიუმი:

$$Pe = \frac{w l}{a} = \frac{w l c_p \rho}{\lambda}; \quad (2-39)$$

ნუსელტის კრიტერიუმი:

$$Nu = \frac{a l}{\lambda}. \quad (2-40)$$

ამრიგად, ორი ან რამდენიმე სისტემის სითბური მსგავსების შემთხვევაში ამ სისტემათა შესაბამისი წერტილებისათვის მსგავსების კრიტერიუმებს Fo , Pe და Nu ს ერთი და იგივე მნიშვნელობა აქვთ. განხილულ კრიტერიუმებთან ერთად იხილავენ მიოლოდ ფიზიკურ პარამეტრებზე დამოკიდებულ ფიზიკური მსგავსების პრანდტლის კრიტერიუმს

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{Pe}{Rc}. \quad (2-41)$$

კრიტერიუმების განტოლებებში შემავალ სიდიდეებში:

- w მ/წმ არის სითხის ან აირის ნაკადის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე;
- l მ — ხაზობრივი ზომის განმსაზღვრელი; მიღების შემთხვევაში იღება მილის დიამეტრი d მ;
- a კკალ/მ² საათი გრად — სითბოგაცემის კოეფიციენტი;

* სიმპლექსი ეწოდება ერთჯეროვან სიდიდეთა უგანზომილებო შეფარდებას.

λ კვად/მ საათი გრად — სითხის ან აირის ნაკადის სითბოგამტარობის კოეფიციენტი;

$g = 9,81$ მ/წმ² — სიმძიმის ძალის აჩქარება;

ν მ²/წმ — ნაკადის კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტი;

$a = \frac{\lambda}{c_p \cdot \gamma}$ მ²/საათი — ტემპერატურის გამტარობის კოეფიციენტი;

c_p კვად/კგ გრად — წონითი იზობარული ნამდვილი სითბოტევადობა;

γ კგ/მ³ — ხვედრითი წონა.

2—10. კონვექციით სითბოს გავრცელებისა სითბოგაცემის ემპირიული ფორმულები კრიტიკალური ხანით

ამ პარაგრაფში მოკლედ განხილული იქნება კონვექციით სითბოს გავრცელების ტიპობრივი შემთხვევები, რომლებიც ხშირად გვხვდებიან სხვადასხვა თბოგადამცემ აპარატში, სახელობრ, სითბოგაცემა კედლის ზედაპირიდან სითხეზე ან აირზე და ზებრუნებით. იძულებითი მოძრაობის შესწავლისას დაეკავიფილდებით სითხით ან აირით მიღების სივრცითი და განივი შემოგარებით. ამის გარდა, მოკლედ განხილული იქნება სითბოგაცემა ორთქლის კონდენსაციისა და წყლის დუღილის შემთხვევისათვის.

ა. სითხით ან აირით მიღების გრძივი შემოგარება

სითბური მსგავსების თეორიის თანახმად სითხის ან აირის მიღებში დამყარებული იძულებითი მოძრაობისას კონვექციით სითბოს გავრცელების პროცესის დასახასიათებლად შეიძლება დაიწეროს:

$$Nu = f_1(Re, Pr), \quad (2-42)$$

და

$$Nu = f_2(Pr, Pr). \quad (2-42a)$$

ამ კრიტერიალურ დამოკიდებულებებში Re , Pe და Pr კრიტერიუმებს განმსაზღვრელი კრიტერიუმები ეწოდებათ. მრავალი ცდის შედეგად დადასტურდა, რომ ეს დამოკიდებულებანი სითხის ან აირის დამყარებული იძულებითი მოძრაობისას კონვექციით სითბოგაცემისათვის შეიძლება გამოისახოს შემდეგი განტოლებით:

$$Nu = C \cdot Re^n \cdot Pr^m, \quad (2-43)$$

სადაც C , n და m არიან ცდებით მიღებული მუდმივი სიდიდეები.

მიღწეის სითხის ან აირის იძულებითი ლამინარული მოძრაობისას კონვექციით სითბოგაცემა

სითხის ან აირის სიჩქარეების სიმციროს გამო იძულებით ლამინარულ მოძრაობას თან ერთვის თავისუფალი მოძრაობა. ამის გამო აღებული შემთხვევისათვის ცდებით მიღებული შედეგების დამუშავებისას, რეინოლდსის კრიტერიუმის გარდა, მიხედვლობაში მიღებული უნდა იქნეს გრასპოფის კრიტერიუმი.

პორიზონტალური მიღებისათვის არსებული ემპირიული ფორმულებიდან ყველაზე უფრო ზუსტია ი. ტ. ალაღიევის ფორმულა:

$$Nu_m = 0,74 \cdot Re_m^{0,3} \cdot (Gr \cdot Pr)_m^{0,1} \cdot Pr_m^{0,3} \quad (2-44)$$

თუ (2-44) ფორმულაში შევიტანთ სათანადო მნიშვნელობებს მივიღებთ:

$$\alpha = B \frac{(\gamma \cdot \omega)^{0,3}}{d^{0,3}} \Delta t^{0,1}, \quad (2-45)$$

სადაც

$$B = 8,63 \cdot \lambda^{0,7} \cdot \gamma^{0,3} \cdot c_p^{0,3} \cdot \left(\frac{\beta}{\mu} \right)^{0,1} \quad (2-46)$$

კრიტერიუმების გამოთვლის დროს, ფიზიკური მუდმივების ცხრილების მიხედვით განსაზღვრას ახდენენ სასაზღვრო შრის საშუალო ტემპერატურისათვის $t_m = 0,5 (t_6 + t_7)$.

მოდელი სითხის ან აირის იძულებითი ტურბულენტური

მოძრაობისას კონვექციით სითბოგაცემა

მოდელი სითხის ან აირის იძულებითი ტურბულენტური მოძრაობისას, როდესაც ფიზიკური მუდმივები განსაზღვრულია ნაკადის საშუალო ლოგარითმული ტემპერატურის მიხედვით, კრიტერიუმებს წორის დაშოკიდებულება განისაზღვრება ფორმულით:

$$Nu_5 = 0,023 \cdot Re_5^{0,8} \cdot Fr_5^{0,4} \quad (2-47)$$

აქედან გაშლილი სახით მივიღებთ:

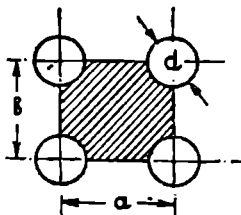
$$\alpha = B \frac{(\gamma \cdot \omega)^{0,8}}{d^{0,8}} = B \frac{(\gamma \cdot \omega \cdot d)^{0,8}}{d} \quad (2-48)$$

სადაც

$$B = 0,023 (3600)^{0,4} \cdot \frac{\lambda_5^{0,0} \cdot c_p^{0,4}}{(\mu_5 g)^{0,4}}$$

მილთა კონის გარე გრძივი შემოგარებისათვის კონვექციური სითბოგაცემის ფორმულები რჩებიან იგივე, რაც მილის წივით მოძრაობისათვის, მაგრამ მილის d შიგა დიამეტრის ნაცვლად გასაანგარიშებელ ფორმულაში შეტანილი უნდა იქნეს მილთა კონის $d_{კონ}$ „ეკვივალენტური დიამეტრი“, რონელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$d_{კონ} = \frac{4 \cdot F}{U}, \quad (2-49)$$



სადაც F არის აირსადენის განივკვეთის ფართობი;

U —განივკვეთის პერიმეტრი.

მაგალითად, თუ აირსადენის განივკვეთი სწორკუთხედიანია, მაშინ მისი ეკვივალენტური დიამეტრი

$$d_{კონ} = \frac{4ab}{2a+2b} = \frac{2ab}{a+b}$$

ნაქ. 2-11. მილთა კონის გარე გრძივი შემოგარება.

თბოტექნიკაში ხშირად გვხვდება მილთა კონის

გარე გრძივი შემოგარება (ნაქ. 2-11), რომლის

დროს მილის განივკვეთად შეიძლება მიღებულ იქნეს დაშტრიხული ფართობი; ამ შემთხვევაში ეკვივალენტური დიამეტრი:

$$d_{კონ} = \frac{4ab - \pi \cdot d^2}{\pi \cdot d} = \frac{4 \cdot a \cdot b}{\pi \cdot d} - d. \quad (2-49a)$$

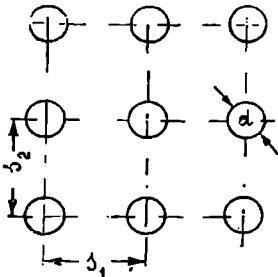
ამ შემთხვევაში (ნაქ. 2-11) პერიმეტრად აღებულია მხოლოდ მილების ზედაპირის ის ნაწილი, რომელსაც გარედან ეხება სითბოს შემცველი, ე. ი. ოთხი მილის წრის მეოთხედი ნაწილები

$$U = 4 \frac{\pi d}{4} = \pi d.$$

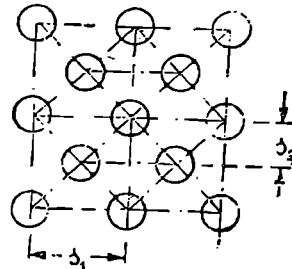
ბ. სითხით ან აირით მიღების განივი შემოვარება

სივრცეში გადავიღებული მილები, როდესაც მათი გეომეტრიული ღერძები ურთიერთ პარალელურია, მილთა კონსა ქმნიან.

მილთა კონსა ხშირად გამოიყენება თბოგადამცემ აპარატებში. ანსხვავებენ მილების კორიდორულ (ნაქ. 2—12) და კადრაკულ (ნაქ. 2—13) განლაგებას კონებში.



ნაქ. 2—12. მილების კორიდორული განლაგება.



ნაქ. 2—13. მილების კადრაკული განლაგება.

მილთა კონის დამახასიათებელ სიდიდეებს წარმოადგენენ: მილების დიამეტრი d და მილების ღერძებს შორის ფარდობითი მანძილები, კონის განივად $\frac{S_1}{d}$ და კონის გასწვრივ $\frac{S_2}{d}$

მილთა კონის განივი შემოვარების დროს, სითბოგაცემის ექსპერიმენტული გზით შესწავლისას მიღებული შედეგების დამუშავება უმეტესად ხდება შემდეგი ფორმის კრიტიკალური დამოკიდებულებით:

$$Nu = C \cdot \varepsilon \cdot Re^n. \quad (2-50)$$

(2—50) კრიტიკალური დამოკიდებულება მიღებულია დ. ა. ლიტვინოვის მიერ სრულიად საკავშირო თბოტექნიკური და ცენტრალური ქვაბტურბინის ინსტიტუტების მონაცემთა დამუშავებით.

თუ (2—50) ფორმულაში შევიტანთ კრიტერიუმების მნიშვნელობებს და განტოლებას ამოვხსნით α სითბოგაცემის კოეფიციენტის მიმართ, მივიღებთ:

$$\alpha = C \cdot \varepsilon \cdot \frac{\lambda}{d} \left(\frac{w \cdot d \cdot \gamma}{\mu \cdot g} \right)^n. \quad (2-51)$$

C , ε და n კოეფიციენტების მნიშვნელობათა შერჩევა უნდა მოხდეს სათანადო ცხრილის მიხედვით.

α სითბოგაცემის კოეფიციენტის (2—51) გასაანგარიშებელი ფორმულა მართებულია, როდესაც აირის ნაკადის შეტევის კუთხე $\psi = 90^\circ$. შეტევის კუთხის შემცირება სითბოგაცემის კოეფიციენტის ცვლილებას იწვევს.

გ. სითბოგაცემა ორთქლის კონდენსაციის დროს

როდესაც კედლის ზედაპირზე ადგილი აქვს რომელიმე სითხის ორთქლის კონდენსაციას, მაშინ სითბოგაცემის პროცესი შედარებით რთულად მიმდინარეობს.

თუ კედლის ტემპერატურა ორთქლის ტემპერატურაზე ნაკლებია, მაშინ ადგილი აქვს ორთქლის კონდენსირებას და კონდენსატი მიედინება ქვემოთკენ. ანსხვავებენ კონდენსაციის ორ სახეს: აფსკოვანს, როდესაც კონდენსატი აფსკის სახით ფარავს კედლის ზედაპირს და წვეთოვანს, როდესაც კონდენსატი კედლის ზედაპირზე წვეთების სახით გამოიყოფა.

უმეტეს შემთხვევაში საქმე გვაქვს აფსკოვან კონდენსაციასთან, ამიტომ კონდენსაციის ამ სახეს ვადაშვებთ მნიშვნელობა ენიჭება. აფსკოვანი კონდენსაციის დროს კედლის ზედაპირზე ვადაცემამდე მთელი სითბო, რომელიც ორთქლის კონდენსაციის შედეგად გამოიყოფა, კონდენსატის აფსკში უნდა გატარდეს. თუ კონდენსატის აფსკში მოძრაობა ლამინარულია, მაშინ სითბოს გაფრქველა აფსკის შრეში მოხდება მხოლოდ სითბოგამტარობით.

დაეუშვათ, რომ კონდენსატის აფსკის შრის იმ ადგილის სისქე, რომელიც კედლის ზედა ბოლოდან დაცილებულია x მანძილით, არის δ (ნაკ. 2—14); ფურჩის კანონის თანახმად სითბური ნაკადის სიდიდე კონდენსატის აფსკში სითბოგამტარობით იქნება:

$$q = \lambda \frac{t_6 - t_3}{\delta}$$

სადაც λ არის კონდენსატის სითბოგამტარობის კოეფიციენტი.

მეორეს სიმხრივ სითბოგაცემის კოეფიციენტის განსაზღვრის თანახმად:

$$q = a(t_6 - t_3)$$

სადაც t_6 არის ნაჯერი ორთქლის ტემპერატურა;

t_3 — კედლის ტემპერატურა.

დამყარებული სითბური რეჟიმისთვის, სითბური ნაკადის გამოსათვლელი ორი უკანასკნელი განტოლებიდან შეიძლება დაიწეროს:

$$a = \frac{\lambda}{\delta} \quad (2-52)$$

მეშასადამე, ორთქლის აფსკოვანი კონდენსაციის დროს, სითბოგაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობის გამოთვლა დაიყვანება კონდენსატის აფსკის შრის δ სისქის განსაზღვრაზე.

წყლის ორთქლის კონდენსირების დროს შემთბობებსა და კონდენსატორებში სითბოგაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობა მიიღება $a = 4000 \div 15000$ კკალ/მ² საათი გრად.

a სითბოგაცემის კოეფიციენტის მკვეთრი ზრდა ხდება ორთქლის წვეთოვანი კონდენსაციის დროს და იცვლება ფარგლებში $a = 5000 \div 120000$ კკალ/მ² საათი გრად.

გადახურებულ ორთქლის კონდენსირების დროს კონდენსატის აფსკს ერთდროულად ვადაეცემა ორთქლის როგორც ვადახურების სითბო, ისე კონდენსაციის შედეგად გამოთავისუფლებული სითბო.

დ. სითბოგაცემა სითხის დუღილის დროს

სითხის დუღილის პროცესი უშუალოდ დაკავშირებულია ორთქლის ბუშტულების წარმოქმნასთან გახურებულ ზედაპირზე, ე. ი. იქ, სადაც სითხის გადახურება ყველაზე მეტია და ისიც მხოლოდ ამ ზედაპირის ზოგიერთ წერტილში, აღნიშნულ წერტილებს ორთქლადქცევის ცენტრები ეწოდებათ. დიდ მოცულობაში სითხის დუღილის დროს სითბოგაცემის ინტენსივობა ძირითადად ისაზღვრება ორთქლადქცევის ცენტრების რაოდენობით და გახურებული ზედაპირიდან მათი მოწყვეტის სიხშირით, რომელიც თავის მხრივ დამოკიდებულია ტემპერატურაზე:

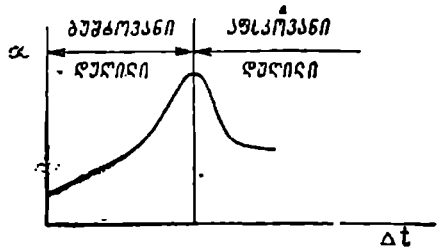
$$\Delta t = t_3 - t_6,$$

სადაც t_3 არის კედლის ზედაპირის ტემპერატურა;

t_6 — ნაჯერი ორთქლის ტემპერატურა, ე. ი. სითხის დუღილის ტემპერატურა შესაბამისი წნევის დროს.

(ნაკ. 2—15)-ზე მოცემულია α სითბოგაცემის კოეფიციენტის დამოკიდებულება Δt ტემპერატურაზე $[\alpha = f(\Delta t)]$.

სითბური დატვირთვის გადიდებისას წარმოქმნილი ორთქლის ბუშტულების რაოდენობის ზრდა იწვევს α სითბოგაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობის მკვეთრ გადიდებას. მაგალითად, წყლისათვის გლუვზედაპირიანი დაუქანგავ მილებში დაწყებული $\Delta t = 5^\circ\text{C}$ და $q = 5000$ კკალ/მ² საათიდან მიღებულია α სითბოგაცემის კოეფიციენტისა და q სითბურ ნაკადს შორის დამოკიდებულება შემდეგი სახით:



ნაკ. 2—15. $\alpha = f(\Delta t)$ დამოკიდებულების მრუდი.

$$\alpha = C \cdot q^{0.7}, \tag{2—53}$$

სადაც C არის კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია წნევისა და შესაბამის დუღილის ტემპერატურაზე.

თ ა მ ი 2 — 3

სითბური გამოხსნივება

2—11. სითბური გამოხსნივების ძირითადი ცნებანი

ყველა სახის სხეული ნებისმიერი ტემპერატურის დროს განუწყვეტლივ ასხივებს ამა თუ იმ რაოდენობის სხივად ენერგიას. სხივადი ენერგიის მიმღებ სხეულში შეიძლება ნაწილობრივად ხდებოდეს სითბურ ენერგიად მისი უკუგადასვლა. ამა თუ იმ სხეულზე დაცემისას სხივადი ენერგიის ნაწილი შთაინთქმება, ნაწილი აირეკლება, ხოლო ნაწილი სხეულის მასაში გაივლის. რადგან სითბური და ხილვადი ანუ სინათლის სხივების ბუნება ერთი და იგივეა, ამიტომ მათი ფიზიკური თვისებებიც ძირითადად აგრეთვე ერთნაირია. მათ შორის განსხვავება მხოლოდ ტალღების სიგრძეშია.

სხივადი ენერგიის სახომ ერთეულად მიღებულია ამ ენერგიის ისეთი რაოდენობა, რომელიც ერთი დიდი კალორიის ეკვივალენტურია.

სხეულის ზედაპირის ერთეულის მიერ დროის ერთეულში გამოსხივებული ენერგიის რაოდენობას სხეულის გამოსხივების ანუ სხივუნის უნარი ეწოდება

$$E = \frac{Q_0}{F} \text{ კკალ/მ}^2 \text{ საათი.} \quad (2-54)$$

ზოგად შემთხვევაში სხეულზე ერთ საათში მოხვედრილი Q_0 სითბოს რაოდენობა იყოფა სამ ნაწილად: Q_R არეკვლილი, Q_A შთანთქმული და Q_D გატარებული (ნაკ. 2-16). ასე რომ სითბური ბალანსისათვის შეიძლება დაიწეროს ტოლობა

$$Q_0 = Q_R + Q_A + Q_D. \quad (2-55)$$

(2-55) ტოლობის Q_0 -ზე გაყოფით, მივიღებთ:

$$1 = \frac{Q_R}{Q_0} + \frac{Q_A}{Q_0} + \frac{Q_D}{Q_0}, \quad (a)$$

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნებს:

$$R = \frac{Q_R}{Q_0}, \quad A = \frac{Q_A}{Q_0} \text{ და } D = \frac{Q_D}{Q_0},$$

მაშინ (a) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$R + A + D = 1, \quad (2-56)$$

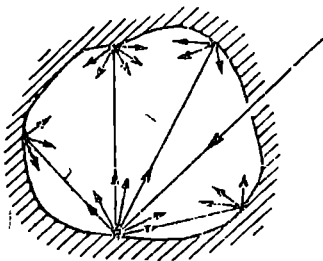
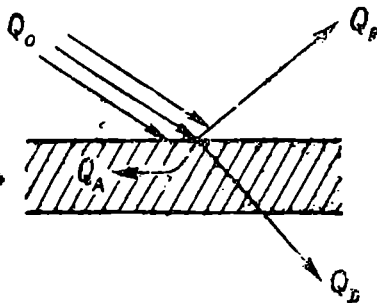
ნაკ. 2-16. სხეულის ზედაპირზე დაცემული სხივადი სადაც R არის არეკვლის კოეფიციენტი; ენერგიის განაწილება, A —შთანთქმის კოეფიციენტი;

(2-56) განტოლებაში შემავალ R , A და D D —შელწყველობის კოეფიციენტი. უგანზომილებო კოეფიციენტებს სხვა-ნაირად სხეულის არეკვლის, შთანთქმისა და გამტარობის უნარიანობა ეწოდებათ.

თუ (2-56) განტოლებაში $R=1$, ხოლო $A=0$ და $D=0$, მაშინ სხეულის ზედაპირზე მოხვედრილი სხივადი ენერგია მთლიანად აირეკლება. ამასთან სწორი არეკვლის შემთხვევაში სხეულის ზედაპირს ეწოდება აბსოლუტურად სარკოვანი, დიფუზიური არეკვლის შემთხვევაში აბსოლუტურად თეთრი.

თუ $R=0$ და $D=0$ და, მაშასადამე, $A=1$, მაშინ სხეულის ზედაპირზე მოხვედრილი სხივადი ენერგია სხეულის მიერ მთლიანად შთაინთქმება. ასეთ სხეულებს აბსოლუტურად შავ ან უბრალოდ შავ სხეულებს უწოდებენ. აბსოლუტურად შავი სხეულის თვისება ახასიათებს ღრუ სხეულის კედელში მოთავსებულ ხვრეტს (ნაკ. 2-17). ამ ხვრეტისათვის $A=1$, რადგან ის სხივადი ენერგია, რომელიც ხვრეტის საშუალებით სხეულის სიღრუეში მოხვდება, შეიძლება ითქვას, რომ ღრუ სხეულის შიგნით მთლიანად შთაინთქმება.

თუ $D=1$, $R=0$ და $A=0$, მაშინ ზედაპირზე მოხვედრილი სხივადი ენერგია სხეულში მთლიანად გაივლის. ასეთ სხეულებს აბსოლუტურად შელწყველს ანუ გამჭვირვალეს (დაათერმულს) უწოდებენ.



ნაკ. 2-17. აბსოლუტურად შავი სხეულის განხორციელება.

სითბური სხივებისათვის მყარი სხეულები და სითხეები თითქმის გაუმჟვარივალე არიან, ხოლო ორატომიანი აირები კი სითბური და სინათლის სხივებისათვის გამჟვარივალე არიან.

2-12. სტეფან-ბოლცმანის კანონი

ტემპერატურის გადიდებისთან ერთად სხეულის გამოსხივების ანუ სხივების უნარიანობა იზრდება. აბსოლუტურად შავი სხეულისათვის ტემპერატურასა და გამოსხივების ენერჯიას შორის დამოკიდებულება დადგენილია სტეფან-ბოლცმანის კანონით, რომლის მათემატიკური გამოსახულება შემდეგია:

$$E_o = \sigma_o \cdot T^4 \text{ კკალ/მ}^2 \text{ საათი,} \quad (2-57)$$

სადაც $\sigma_o = 4,96 \cdot 10^{-8}$ კკალ/მ² საათი°K⁴ არის აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების მუდმივა. ტექნიკურ განგარიშებათა ჩასატარებლად (2-57) ფორმულას შემდეგ სახეს აძლევენ:

$$E_o = C_o \left(\frac{T}{100} \right)^4 \text{ კკალ/მ}^2 \text{ საათი,} \quad (2-58)$$

სადაც $C_o = \sigma_o \cdot 10^8 = 4,96$ კკალ/მ² საათი °K⁴ არის აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების კოეფიციენტი. მაშასადამე, სხეულის გამოსხივების ენერჯია მისი აბსოლუტური ტემპერატურის მეოთხე ხარისხის პროპორციულია. ამ კანონს ხშირად მეოთხე ხარისხების კანონს უწოდებენ (ეს კანონი ექსპერიმენტული გზით 1889 წელს ალმონენილია სტეფანის მიერ, ხოლო 1894 წელს თეორიულად დისაბუთებულია ბოლცმანის მიერ).

2-13. პლანკის კანონი

სითბური გამოსხივების ძირითადი კანონების დასადგენად საჭირო იყო ცოდნა, თუ როგორაა განაწილებული გამოსხივების ენერჯია ტალღების სიგრძის მიხედვით სხვადასხვა ტემპერატურის პირობებში.

მაშასადამე, საჭირო შეიქმნა

$$J_\lambda = \frac{dE_\lambda}{d\lambda} \text{ კკალ/მ}^2 \text{ საათი } \mu \quad (a)$$

სიდიდის ცვლებადობის შესწავლა სხვადასხვა ტემპერატურის დროს ტალღების სიგრძეთა მიხედვით.

J_λ სიდიდე იძლევა წარმოდგენას, თუ რა რაოდენობის გამოსხივების ენერჯია შოდის აღებული სხივების ტალღის სიგრძის ერთეულზე და მას უწოდებენ გამოსხივების ინტენსივობას.

როგორც ცდებმა გვიჩვენეს, გამოსხივების ენერჯია არათანაბრადაა განაწილებული ტალღების სიგრძეთა მიხედვით.

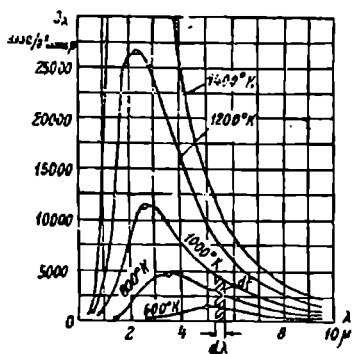
განაწილების ეს კანონი 1902 წელს დადგენილ იქნა პლანკის მიერ და გრაფიკულად წარმოდგენილია (ნაკ. 2-18)-ზე. აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივებისათვის პლანკის მონაცემებით:

$$J_{\lambda o} = c_1 \cdot \lambda^{-5} \cdot \left(e^{\frac{c_2}{\lambda \cdot T}} - 1 \right)^{-1} \quad (b)$$

სადაც $\epsilon = 2,718$ არის ნატურალური ლოგარითმის ფუძე;

c_1 და c_2 — მუდმივი სიდიდეები.

სხივების ტალღის მეტრობით გაზომვისას: $c_1 = 3,22 \cdot 10^{-16}$ და $c_2 = 1,44 \cdot 10^{-3}$.



ვინის კანონის მიხედვით სხეულის T' ტემპერატურასა და გამოსხივების მაქსიმალური ინტენსივობის ტალღის λ_m სიგრძეს შორის დამოკიდებულება გამოისახება მარტივი ფორმულით:

$$\lambda_m \cdot T = 2,9 \text{ მმ გრად.} \quad (c)$$

2-14. ნაცრისფერი სხეულების გამოსხივება

ცნობილია, რომ რეალური სხეულები აბსოლუტურად შავ სხეულებთან შედარებით გამოსხივების ნაკლები ენერგიით ხასიათდებიან. პრაქტიკულ განჯარიშებათა გამარტივებისათვის შემოღებულია ცნება ეგრეთ წოდებულ ნაცრისფერ გამოსხივებაზე ანუ ნაცრისფერ სხეულზე.

ნაცრისფერ გამოსხივებად იგულისხმება ისეთი გამოსხივება, რომელიც „შავი“ სხეულის ანალოგიურად იძლევა მთლიან სპექტრს, მაგრამ აბსოლუტურად შავ სხეულთან შედარებით ნაკლები ენერგიით ხასიათდებიან. რეალური მასალები, რომლებიც ტექნიკაში გვხვდებიან, შეიძლება ნაცრისფერ სხეულებად ჩაითვალოს.

ნა. 2-18. ტალღის სიგრძეზე აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების ინტენსივობის დამოკიდებულება.

ნაცრისფერი სხეულებისათვის გამოსხივების ენერგიის გასაანგარიშებლ (2-58) ფორმულას ეძლევა შემდეგი სახე:

$$E = C \left(\frac{T}{100} \right)^4 \text{ კკალ/მ}^2 \text{ საათი,} \quad (2-59)$$

სადაც C კკალ/მ² საათი °K⁴ არის აღებული ნაცრისფერი სხეულის გამოსხივების კოეფიციენტი.

ბუნებაში არსებულ ყველა რეალურ სხეულს შავ სხეულთან შედარებით აქვს ნაკლები სიდიდის გამოსხივების კოეფიციენტი $C < C_0$.

ფარლობა

$$\frac{E}{E_0} = \frac{C}{C_0} = \epsilon, \quad (2-60)$$

ატარებს სხეულის სიშავის ხარისხის კოეფიციენტის სახელწოდებას და სხვადასხვა სხეულისათვის 0-დან 1-მდე იცვლება.

ნაცრისფერი სხეულის E გამოსხივების ენერგია აგრეთვე შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი ფორმულით:

$$E = \epsilon \cdot C_0 \cdot \left(\frac{T}{100} \right)^4 \text{ კკალ/მ}^2 \text{ საათი.} \quad (2-61)$$

სხიფენის უნარის შეფარდება შთანთქმის უნართან ყველა სხეულისათვის ერთნაირია და დამოკიდებულია მხოლოდ ტემპერატურაზე; იგი უდრის აბსოლუტურად შავი სხეულის სხიფენის უნარს იმავე ტემპერატურის დროს:

$$\frac{E}{A} = \frac{E_0}{A_0} = E_0 = f(T), \quad (2-62)$$

სადაც E_0 და $A_0 = 1$ ეხება აბსოლუტურად შავ სხეულს.

(2-62) ფორმულიდან

$$A = \frac{E}{E_0}, \quad (2-63)$$

აქედან

$$E = A \cdot E_0.$$

გამოსხივების ენერჯიასა და შთანთქმის კოეფიციენტს შორის აღნიშნულ დამოკიდებულებას კირხჰოფის კანონი ეწოდება.

(2-60) ფორმულის თანახმად

$$\frac{E}{E_0} = \varepsilon,$$

მაშასადამე,

$$A = \varepsilon, \quad (2-64)$$

ე. ი. ნებისმიერი სხეულის შთანთქმის კოეფიციენტი მისი სიშავის ხარისხის ტოლია.

(2-60) ტოლობიდან

$$\frac{E}{E_0} = \frac{C}{C_0}, \quad (2-65)$$

ხოლო (2-62) ტოლობიდან

$$\frac{E}{E_0} = \frac{A}{A_0}. \quad (2-66)$$

(2-65) და (2-66) ტოლობების საფუძველზე შეიძლება დაიწეროს:

$$\frac{C}{A} = \frac{C_0}{A_0}, \quad (2-67)$$

ე. ი. სხეულის C გამოსხივების კოეფიციენტი A შთანთქმის კოეფიციენტის პირდაპირ პროპორციულია.

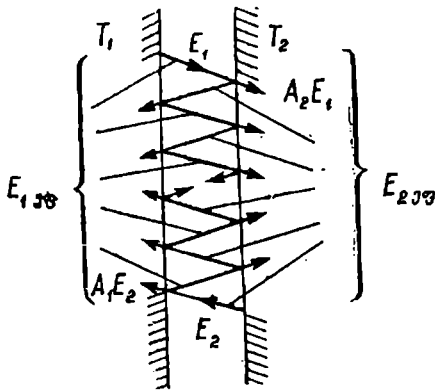
(2-64) ტოლობის თანახმად $A = \varepsilon$, აბსოლუტურად შავი სხეულებისათვის $A_0 = 1$. მაშასადამე, (2-67) ტოლობიდან შეიძლება დაიწეროს:

$$C = A \cdot C_0 = \varepsilon \cdot C_0, \quad (2-68)$$

სადაც $C_0 = 4,96$ კკალ/მ² საათი °K⁴ არის აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების კოეფიციენტი.

განვიხილოთ ორი ბრტყელი ფირფიტის ზედაპირებს შორის სხივადი სითბოს ურთიერთგადაცემის შემთხვევა (ნაკ. 2-19).

ამ ფირფიტების ზედაპირების ტემპერატურები, გამოსხივებისა და შთანთქმის უნარიანობანი სათანადოდ აღვნიშნოთ: T_1, E_1, A_1 და T_2, E_2, A_2 -თი.



ნაკ. 2-19. ორ ფირფიტას შორის ურთიერთგამოსხივების სქემა.

ლევა. სათანადო გარდაქმნათა შედეგად მივიღებთ:

$$E_{12\text{ჯგ}} = \frac{E_1 + E_2 - A_1 \cdot E_2}{A_1 + A_2 - A_1 \cdot A_2} \quad (c)$$

ანალოგიური გარდაქმნებით მივიღებთ:

$$E_{21\text{ჯგ}} = \frac{E_1 + E_2 - A_2 \cdot E_1}{A_1 + A_2 - A_1 \cdot A_2} \quad (d)$$

(c) და (d) განტოლებების გამოყენებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ პირველი ფირფიტისათვის სითბური ბალანსის განტოლება:

$$q_{1,2} = E_{12\text{ჯგ}} - E_{21\text{ჯგ}} = \frac{A_2 E_1 - A_1 E_2}{A_1 + A_2 - A_1 \cdot A_2} \quad (e)$$

გამოვიყენებთ რა აღებული ფირფიტებისათვის ნაცრისფერი სხეულების მიმართ გამოყენებულ მეოთხე ხარისხების კანონს, შეგვიძლია დავწეროთ:

$$E_1 = C_1 \cdot \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 = A_1 \cdot C_0 \cdot \left(\frac{T_1}{100} \right)^4,$$

და

$$E_2 = C_2 \cdot \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 = A_2 \cdot C_0 \cdot \left(\frac{T_2}{100} \right)^4.$$

სითბური ბალანსის განტოლება შეიძლება დავყვანილ იქნეს სახემდე:

$$q_{1,2} = \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot C_o}{A_1 + A_2 - A_1 \cdot A_2} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] =$$

$$= A_{\text{დაყ}} C_o \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \text{ კკალ/მ}^2 \text{ საათი.} \quad (2-69)$$

ან სხვანაირად,

$$q_{1,2} = C_{\text{დაყ}} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \text{ კკალ/მ}^2 \text{ საათი.} \quad (2-70)$$

(2-69) ფორმულაში $A_{\text{დაყ}}$ -ით აღნიშნულია შთანთქმის დაყვანილი კოეფიციენტი მოცემულ სხეულთა სისტემისათვის:

$$A_{\text{დაყ}} = \frac{A_1 \cdot A_2}{A_1 + A_2 - A_1 \cdot A_2}, \quad (2-71)$$

ან, უფრო მარტივად,

$$\frac{1}{A_{\text{დაყ}}} = \frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_1} - 1. \quad (2-72)$$

(2-64) ფორმულის საფუძველზე, (2-72) ფორმულა შეიძლება დაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\frac{1}{\varepsilon_{\text{დაყ}}} = \frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{1}{\varepsilon_1} - 1, \quad (2-72a)$$

ან, სხვანაირად

$$\varepsilon_{\text{დაყ}} = \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2}. \quad (2-72b)$$

(2-70) ფორმულაში $C_{\text{დაყ}}$ აღნიშნულია ამ სისტემის გამოსხივების დაყვანილი კოეფიციენტი:

$$C_{\text{დაყ}} = A_{\text{დაყ}} \cdot C_o.$$

თუ უკანასკნელ ტოლობაში (2-71) ფორმულიდან შევიტანთ $A_{\text{დაყ}}$ მნიშვნელობას, მივიღებთ:

$$C_{\text{დაყ}} = \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot C_o}{A_1 + A_2 - A_1 \cdot A_2}. \quad (2-73)$$

(2-73) ფორმულა შეიძლება დაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\frac{1}{C_{\text{დაყ}}} = \frac{1}{A_{\text{დაყ}} C_o} = \frac{1}{A_1 C_o} + \frac{1}{A_2 C_o} - \frac{1}{C_o}, \quad (2-73a)$$

ან სხვანაირად

$$\frac{1}{C_{\text{დაყ}}} = \frac{1}{C_o} + \frac{1}{C_1} - \frac{1}{C_o}. \quad (2-73b)$$

(2-69) და (2-70) ფორმულები სათანადო ჩასმებისა და გარდაქმნების შედეგად შეიძლება დაიწეროს შემდეგი სახით:

$$q_{1,2} = \varepsilon_{\text{დაყ}} \cdot \sigma_o \cdot (T_1^4 - T_2^4) \text{ კკალ/მ}^2 \text{ საათი,} \quad (2-69a)$$

და

$$q_{1,2} = \sigma_{\text{ფყ}} \cdot (T_1^4 - T_2^4) \text{ კკალ/მ}^2 \text{ საათი,} \quad (2-70a)$$

სადაც $\sigma_{\text{ფყ}} = \epsilon_{\text{ფყ}} \cdot \sigma_0$ არის სხეულთა სისტემის გამოსხივების მუდმივა.

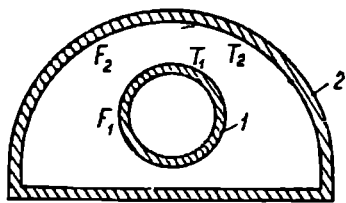
დროის ერთეულში ფირფიტის ერთი ზედაპირიდან მეორეზე გადაცემული სითბოს სრული რაოდენობა, როდესაც $T_1 > T_2$ -ზე, ისაზღვრება შემდეგი ფორმულით (აღებულ შემთხვევაში $F_1 = F_2 = F$):

$$\begin{aligned} Q_{1,2} &= q_{1,2} \cdot F = C_{\text{ფყ}} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot F = \\ &= C_0 \cdot \epsilon_{\text{ფყ}} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot F \text{ კკალ/საათი.} \end{aligned} \quad (2-74)$$

(2-74) ფორმულა, (2-69) და (2-70) ფორმულების მხედველობაში მიღებით, შეიძლება დაიწეროს შემდეგი სახით:

$$Q_{1,2} = \epsilon_{\text{ფყ}} \cdot \sigma_0 \cdot (T_1^4 - T_2^4) \cdot F = \sigma_{\text{ფყ}} (T_1^4 - T_2^4) \cdot F \text{ კკალ/საათი.} \quad (2-75)$$

რეალურ პროცესებში გამომასხივებელი სხეულების კონფიგურაცია და ურთიერთ-გაადგილება შეიძლება იყოს უსასრულოდ სხვადასხვანაირი. მარტივი შემთხვევებიდან შეიძლება განვიხილოთ სხეულსა და მის გარემომცველ შეკრულ ზედაპირს შორის ურთიერთ გამოსხივება (ნაქ. 2-20).



ნაქ. 2-20. სხეულებს შორის სხივადი ენერჯიის ურთიერთგადაცემის სქემა შეკრული სივრცის შემთხვევაში.

F_1 -ით აღნიშნოთ პირველი სხეულის (ორთქლსადენის) გარე ზედაპირის ფართობი, ხოლო F_2 -თი მეორე შეკრული ზედაპირის მქონე (ბეტონის არხი) სხეულის შიგა ზედაპირის ფართობი. F_1 არ უდრის F_2 -ს. მაშინ (2-74) ფორმულა დაიწერება შემდეგი სახით:

$$\begin{aligned} Q_{1,2} &= \epsilon_{\text{ფყ}} C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot F_1 = \\ &= C_{\text{ფყ}} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot F_1 \text{ კკალ/საათი,} \end{aligned} \quad (2-74a)$$

სადაც

$$\epsilon_{\text{ფყ}} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)}, \quad (2-74b)$$

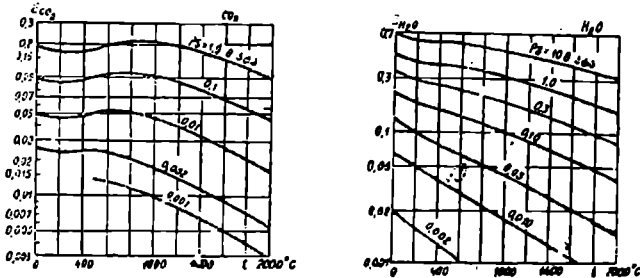
და

$$C_{\text{ფყ}} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{F_1}{F_2} \cdot \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0} \right)}. \quad (2-74c)$$

2-17. სამატომიანი აირების გამოხიზება

საცეხლეში სათბობის წვის შედეგად მიღებულ აირთან ნაწარმში შემაველ (CO₂, H₂O, და SO₂) სამატომიანი აირებს აქვთ სხივადი ენერჯის შთანთქმის უნარი. ორატომიანი აირები კი პრაქტიკულად სითბოგამჭვირვალე ანუ დიათერმული არიან, სხივად ენერჯიას არც შთანთქამენ და არც გამოასხივებენ.

სამატომიანი აირების მიერ სხივადი ენერჯის შთანთქმა ხდება სხივის მიმართულების გასწვრივ, ე. ი. აირის მთელ მოცულობაში. ყოველი აირი შთანთქამს მხოლოდ მისთვის დამახასიათებელი ტალღების სიგრძეების ზოგიერთ სხივს.



ნაკ. 2-21. ϵ -სა და $\rho \cdot s$ -ის მიხედვით CO₂-სა და H₂O-ს ϵ სიშავის ხარისხის ნომოგრამები.

ამ აირების მიერ გამოხიზების გაანგარიშება ხდება (2-61) ფორმულის მიხედვით:

$$E = \epsilon \cdot C_o \left(\frac{T}{100} \right)^4 \text{ კკალ/მ}^2 \text{ საათი.}$$

მაგრამ აირებისათვის ϵ სიშავის ხარისხის ან მისი ტოლი A შთანთქმის კოეფიციენტის სიდიდე დამოკიდებულია T ტემპერატურასა და $p \cdot s$ ნაშრავლზე, სადაც p არის ნარევი შემაველი კონკრეტული აირის პარციალური წნევა, ხოლო s — არის სისქე. (ნაკ. 2-21). ზე მოცემულია ნომოგრამები, რომლებიც t ტემპერატურისა და $p \cdot s$ ნაშრავლის მიხედვით CO₂-სა და H₂O-ს ϵ სიშავის ხარისხის განსაზღვრის საშუალებას იძლევიან.

2-18. ცნება ხაცხცხლში ხხივხინით ხითბოვ მამკცხლმამბის გაანგარიშების შესახებ

სითბური ენერჯის მისაღებად საცეხლეებში მიმდინარეობს სხვადასხვა სახის სათბობების დაწვის პროცესი. სათბობის წვის შედეგად მიღებული სითბური ენერჯის განსაზღვრული ნაწილი ორთქლის ქვაბის ზურგების ზედაპირის სხივადი სითბური ენერჯის სახით გადაეცემა. ორთქლის ქვაბებისა და საერთოდ თბოგადამცემი აპარატების ზურგების ზედაპირის ამ ნაწილს, რომელიც სითბოს ღებულობს სხივადი ენერჯის სახით, რადიაციული ზურგების ზედაპირი ეწოდება და აღინიშნება H_h -ით.

თანამედროვე წყალმიღებიანი და პირდაპირი დინების მაღალი წნევის ქვაბების ზურგების ზედაპირები გარედან გასაცხლებელი მილებისაგან შედგებიან, ამიტომ ასეთი ქვაბების ზურგების რადიაციული ზედაპირიც აღნიშნული მილებით იქმნება. ასეთი ორთქლის ქვაბების საცეხლეებში თბოგადამცემის ძირითად სახედ შეიძლება მიღებულ იქნეს

სივთვით სითბოს გავრცელება, რადგან შესაძლებელია სხვა სახის სითბოს გავრცელებების უგულვებლყოფა მათი სიმცირის გამო.

საცეცხლეს კამერაში თბოგადაცემის გაანგარიშების რამდენიმე მეთოდი არსებობს. მაგალითად, სრულიად საკავშირო თბოტექნიკური ინსტიტუტის მეთოდი ეყრდნობა სითბური ბალანსისა და თბოგადაცემის განტოლებებს.

საცეცხლეს აირებით ერთი საათის განმავლობაში სხივადი ენერგიის მიმღებ H_6 ზედაპირზე გადაცემული სითბოს რაოდენობა განისაზღვრება განტოლებით:

$$Q_6 = \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_f \cdot C_o \cdot H_6 \left[\left(\frac{\bar{T}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_3}{100} \right)^4 \right] \text{ კკალ/საათი,} \quad (2-76)$$

სადაც ε_3 არის სხივადი სითბური ენერგიის მიმღები ზედაპირის სიშავის ხარისხი;

ε_f —საცეცხლე არეს სიშავის ხარისხი;

H_6 —სხივადი სითბური ენერგიის მიმღები რადიაციული ხურების ზედაპირი;

\bar{T} —საცეცხლეს სივრცის საშუალო ტემპერატურა;

T_3 —რადიაციული ხურების ზედაპირის ტემპერატურა.

სრულიად საკავშირო თბოტექნიკური ინსტიტუტის მონაცემებით საცეცხლეს სივრცის \bar{T} საშუალო ტემპერატურა ისაზღვრება ფორმულით:

$$\bar{T} = \tau \sqrt{T_1 \cdot T_2}, \quad (a)$$

სადაც T_1 არის სათბობის წვის თეორიული ტემპერატურა;

T_2 —აირების ტემპერატურა საცეცხლედან გამოსასვლელ კვეთში;

τ — ცდების შედეგად მიღებული კოეფიციენტი.

(ა) ფორმულა ემპირიულია და ყოველთვის არ იძლევა დამაკმაყოფილებელ შედეგს. (2-76) ფორმულაში საცეცხლე არეს ε_f სიშავის ხარისხი ისაზღვრება, როგორც CO_2 და H_2O -ს სიშავის ხარისხების ჯამი, რაც ხშირად არ ემთხვევა უშუალოდ ცდებით მიღებულს. საცეცხლეში თბოგადაცემის გაანგარიშების ცენტრალური ქვაბტურბინის ინსტიტუტის მეთოდი ეყრდნობა ემპირიულ ფორმულას:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{B_o^{0,8}}{1 + B_o^{0,8}}, \quad (2-77)$$

სადაც $B_o = \frac{B \cdot V_{\text{აირ}} \cdot \bar{C}_p}{\varepsilon' \cdot \sigma_o \cdot T_1^3 \cdot H_6}$ არის ბოლცმანის კრიტერიუმი;

B კგ/საათი—სათბობის საათური ხარჯი;

$V_{\text{აირ}}$ ნმ³/კგ—1 კგ სათბობის დაწვის შედეგად მიღებული საცეცხლე აირების მოცულობა ნორმალურ პირობებში;

\bar{C}_p —საცეცხლე აირების საშუალო მოცულობითი სითბოტევადობა;

ε' —საცეცხლე არეს პირობითი სიშავის ხარისხი.

საცეცხლეში სხივადი სითბოს გავრცელების გასაანგარიშებლად შეიძლება გამოვიყენოთ (2-74) და (2-75) ორი ურთიერთპარალელური ფირფიტისათვის. დაწერილი ფორმულები:

$$Q_{1,2} = C_{\text{დავ}} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot F \text{ კკალ/საათი}$$

და

$$Q_{1,2} = \sigma_{\text{დავ}} (T_1^4 - T_2^4) \cdot F \text{ კკალ/საათი.}$$

საცეცხლეში სხივფენით სითბოს გავრცელების გაანგარიშებისათვის უკანასკნელ ფორმულებში უნდა შეიცვალოს ზოგიერთი აღნიშვნა:

$Q_{1,2}$ -ის ნაცვლად უნდა შევიტანოთ $Q_{\text{სხ}}$ (ერთ საათში გადაცემული სხივადი სითბოს რაოდენობა);

F -ის ნაცვლად უნდა შევიტანოთ $H_{\text{რად}}$;

T_1 -ის ნაცვლად \bar{T} (საცეცხლეს სივრცის საშუალო ტემპერატურა);

$\alpha_{\text{ფენ}}$ -ის ნაცვლად შევიტანოთ $\sigma_{\text{საც}}$ (საცეცხლეს გამოსხივების მუდმივა);

T_2 -ის ნაცვლად შევიტანოთ T_3 .

ამ აღნიშვნების მხედველობაში მიღებით (2-75) ფორმულა დაიყვანება შემდეგ სახემდე:

$$Q_{\text{სხ}} = \sigma_{\text{საც}} \cdot (\bar{T}^4 - T_3^4) \cdot H_{\text{რად}} \text{ კკალ/საათი.}$$

აქედან

$$H_{\text{რად}} = \frac{Q_{\text{სხ}}}{\sigma_{\text{საც}} \cdot (\bar{T}^4 - T_3^4)} \text{ მ}^2. \quad (2-78)$$

ორთქლის ქვაბების საცეცხლეს გაანგარიშებისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სრულიად საკაეფირო თბოტექნიკური ინსტიტუტის შიგარ რეკომენდებული გამარტივებული ფორმულა:

$$H_{\text{რად}} = \frac{Q_{\text{სხ}}}{\tau \cdot \sigma_{\text{საც}} \cdot \bar{T}^4}. \quad (2-78a)$$

უკანასკნელ ფორმულაში მიღებულია, რომ $T_{\text{კვლ}} = 0$, მაგრამ ფორმულაში შეყვანილია შემასწორებელი მამრავლი $\tau < 1$.

თ ა ვ ი 2 - 4

ათული სითბოგაცემა და თბოგადაცემა

2-19. ძირითადი ცნებანი ათული სითბოგაცემაში

წინა თავებში განხილული იყო თბოგადაცემის სამი სახე: სითბოგამტარობა, კონვექცია და სითბური გამოსხივება. თბოგადაცემის ასეთ სახეებდ დაყოფა მხოლოდ მეთოდოლოგიური ხერხია. რეალურ პროცესებში ეს მოვლენები ერთდროულად მიმდინარეობენ და, ცხადია, გარკვეულ გავლენას ახდენენ ერთიმეორეზე. კედელსა და მის გასწვრივ მოძრავ აირს შორის რთული სითბოგაცემის პროცესი სითბოგამტარობის, კონვექციისა და სითბური გამოსხივების ერთობლივი მოქმედების შედეგს წარმოადგენს. ასეთ შემთხვევაში ხშირად პირველხარისხოვან მოვლენად კონვექციას მიიღებენ, ხოლო მეორეხარისხოვანად სითბურ გამოსხივებას და სითბოგამტარობას, რომლებსაც უმეტეს შემთხვევებში უგულვებელყოფენ. თუ სითხის ან აირის ნაკადის ტემპერატურას აღვნიშნავთ t_6 -ით, ხოლო სითბოს მიღები კედლის ტემპერატურას t_3 -ით, მაშინ სითბური ნაკადი სითხის ან აირის ნაკადიდან კედლის ზედაპირზე სითბოგაცემის საშუალებით განისაზღვრება ფორმულით:

$$q_{\text{თბ}} = \alpha_{\text{თბ}} (t_6 - t_3) \text{ კკალ/მ}^2 \text{ საათი.} \quad (a)$$

სითბური ნაკადი სითხიდან ან აირიდან კედლის ზედაპირზე სითბური გამოსხივების შემთხვევაში განისაზღვრება ფორმულით:

$$q_{\text{გაზი}} = \varepsilon \cdot C_0 \left[\left(\frac{T_6}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_3}{100} \right)^4 \right] \text{ კკალ/მ}^2 \text{ საათი.} \quad (b)$$

სრული სითბური ნაკადის სიდიდე განისაზღვრება ტოლობით:

$$q_{\text{სრ}} = (q_{\text{კონ}} + q_{\text{გაზი}}) \text{ კკალ/მ}^2 \text{ საათი} \quad (c)$$

ან

$$q_{\text{სრ}} = \alpha_{\text{კონ}} (t_6 - t_3) + \varepsilon C_0 \left[\left(\frac{T_6}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_3}{100} \right)^4 \right]. \quad (d)$$

ვინაიდან $t_6 - t_3 = T_6 - T_3$, ამიტომ თუ (d) განტოლების მარჯვენა მხარიდან $(t_6 - t_3)$ სიდიდეს ფრჩხილებს გარეთ გამოვითქვით, მივიღებთ:

$$q_{\text{სრ}} = \left\{ \alpha_{\text{კონ}} + \varepsilon C_0 \left[\frac{\left(\frac{T_6}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_3}{100} \right)^4}{T_6 - T_3} \right] \right\} (t_6 - t_3) \quad (e)$$

ან

$$q_{\text{სრ}} = (\alpha_{\text{კონ}} + \alpha_{\text{გაზი}}) (t_6 - t_3) = \alpha_{\text{სრ}} (t_6 - t_3), \quad (2-79)$$

სადაც $\alpha_{\text{კონ}}$ არის კონვექციით სითბოგაცემის კოეფიციენტი;

$\alpha_{\text{გაზი}}$ —სითბური გამოსხივებით სითბოგაცემის კოეფიციენტი;

$\alpha_{\text{სრ}}$ — სითბოგაცემის სრული კოეფიციენტი.

ზემოაღნიშნულის მიუხედავად ცალკეულ შემთხვევაში პირველხარისხოვნად იხილავენ გამოსხივებით სითბოს გაცემას, ხოლო კონვექციას—მეორეხარისხოვნად.

სითბოს გავრცელების პროცესი ძლიერ რთულდება, თუ განვიხილავთ სითბოს გადაცემას ცხელი არედან ცივ არეზე მყარი კედლის საშუალებით. ასეთ მოვლენას აქვს ადგილი ორთქლის ქვაბებში; სითბო ცხელი აირებიდან კონვექციით და გამოსხივებით სადღეო მიღების კედლების გარე ზედაპირს გადაეცემა. თვით მიღების კედლებში სითბო გაივლის მხოლოდ სითბოგამტარობით, ხოლო მიღების შიგა ზედაპირიდან წყალს სითბო კონვექციით გადაეცემა.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარეობს, რომ სითბოგამტარობა, კონვექცია და სითბო-გამოსხივება თბოგადაცემის, როგორც ზოგადი პროცესის, კერძო შემთხვევებია.

ამ ზოგად პროცესს რაოდენობრივად ახასიათებს თბოგადაცემის λ კკალ/მ² საათი °C კოეფიციენტი.

2-20. თბოგადაცემა ცხელი არედან ცივ არეზე ბრტყელი კედლის საშუალებით

განვიხილოთ პირველ რიგში თბოგადაცემა ცხელი არედან ცივ არეზე ერთშიანი ერთგვაროვანი ბრტყელი კედლის საშუალებით (ნაკ. 2—22).

ცხელი არეს ნაკადის ტემპერატურა აღვნიშნოთ t_6 , ცივი არეს ნაკადის ტემპერატურა კი t_3 კედლის ზედაპირების ტემპერატურები სათანადოდ აღვნიშნოთ t_1 და t_2 , ცხელი და ცივი არეების სითბოგაცემის კოეფიციენტები— α_1 და α_2 -ით. ერთშიანი ერთგვაროვანი ბრტყელი კედლის სითბოგამტარობის კოეფიციენტი აღვნიშნოთ λ -ით, ხოლო კედლის სისქე δ -ით.

დამყარებული სითბური რეჟიმის დროს სითბოს რაოდენობა, რომელიც ცხელი არედან კედელს გადაეცემა, იმავე რაოდენობით კედელში გატარდება და კედლის გარე ზე-

ლაბირიდან ცივი არცხე ნაკადს გადაეცემა. აქედან გამომდინარე სითბური ნაკადისთვის შეიძლება დაიწეროს შემდეგი სახის განტოლებანი:

$$q = \frac{\frac{I}{t_5 - t_3}}{\frac{1}{\alpha_1}}, \quad q = \frac{\frac{I}{t_3 - t_2}}{\frac{\delta}{\lambda}}, \quad q = \frac{\frac{II}{t_2 - t_6}}{\frac{1}{\alpha_2}}. \quad (a)$$

(a) განტოლებათა სისტემიდან განესაზღვროთ ცალ ცალკე ტემპერატურათა სხვაობები:

$$t_5 - t_3 = q \cdot \frac{1}{\alpha_1}, \quad t_3 - t_2 = q \cdot \frac{\delta}{\lambda}, \quad t_2 - t_6 = q \cdot \frac{1}{\alpha_2}. \quad (b)$$

უქანასქელი სამი განტოლების მარცხენა და მარჯვენა მხარეების ცალ-ცალკე შეჯამებით მივიღებთ:

$$t_5 - t_6 = q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right). \quad (c)$$

უქანასქელი ტოლობიდან q სითბური ნაკადის სიდიდე იქნება:

$$q = \frac{t_5 - t_6}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad \text{კვად/მ}^2 \text{ საათი.} \quad (2-80)$$

k თბოგადაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობა ალგებულ შემთხვევისათვის განისაზღვრება ტოლობით:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad \text{კვად/მ}^2 \text{ საათი } ^\circ\text{C}. \quad (2-81)$$

მაშასადამე, (2-80) განტოლება შეიძლება დაიწეროს შემდეგი სახით:

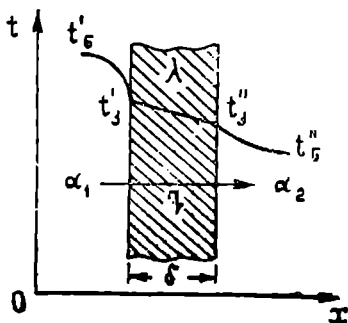
$$q = k \cdot (t_5 - t_6) \quad \text{კვად/მ}^2 \text{ საათი.} \quad (2-82)$$

თბოგადაცემის თერმული წინააღობის მნიშვნელობა თბოგადაცემის კოეფიციენტის შებრუნებული სიდიდით ისაზღვრება:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}. \quad (2-83)$$

თუ ცხელ და ცივ არეთა გამყოფი ბრტყელი კედელი არის მრავალშრიანი არაერთგვაროვანი, მაშინ, როგორც ცნობილია, ამ შრეების საერთო თერმული წინააღობა იქნება:

$$\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}$$



ნაყ. 2-22. თბოგადაცემა ერთშრიანი ბრტყელი კედლის საშუალებით.

q სითბური ნაკადის სიდიდე, როდესაც ადგილი აქვს თბოგადაცემას ცხელიდან ცივი არეზე მრავალშრიანი არაერთგვაროვანი ბრტყელი კედლის საშუალებით გაიანგარიშება ფორმულით:

$$q = \frac{I \quad II}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2-84)$$

ამ შემთხვევაში საერთო თერმული წინაღობა ტოლი იქნება:

$$\left(\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$$

თუ ბრტყელი კედლის ზედაპირის ფართობს აღვნიშნავთ F მ²-ით, მაშინ ერთი საათის განმავლობაში გადაცემული სითბოს საერთო რაოდენობა განისაზღვრება ტოლობით:

$$Q = q \cdot F = \frac{(I \quad II) \quad F}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad \text{კკალ/საათი,} \quad (2-85)$$

ან სხვა სახით:

$$Q = k \cdot F \cdot (t_6 - t_5) \quad \text{კკალ/საათი.} \quad (2-86)$$

უკანასკნელ განტოლებაში k თბოგადაცემის კოეფიციენტის სიდიდე ისაზღვრება ტოლობით:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad \text{კკალ/მ}^2 \text{ საათი } ^\circ\text{C.} \quad (2-87)$$

2-21. თბოგადაცემა სხელი არგდან ცივი არეზე ცილინდრული კედლის საშუალებით

განვიხილოთ პირველ რიგში თბოგადაცემა ცხელი არგდან ცივი არეზე ერთშრიანი ერთგვაროვანი ცილინდრული კედლის საშუალებით (ნაკ. 2-23).

დამყარებული სითბური რეჟიმის დროს სითბოს რაოდენობა, რომელიც t_6 ტემპერატურის მქონე ცხელი არგდან კედელს გადაეცემა, იმავე რაოდენობით ცილინდრულ კედელში გატარდება და კედლის გარე ზედაპირიდან ცივი არეს ნაკადს გადაეცემა. აქედან გამომდინარე I გრძივი მეტრი ცილინდრული მილის მიმართ სითბური ნაკადისათვის შეიძლება დაიწეროს შემდეგი სახის სამი ტოლობა:

$$q = \frac{I \quad I}{\frac{t_6 - t_5}{1}}, \quad q = \frac{I \quad II}{\frac{t_5 - t_4}{2 \cdot \pi \cdot \lambda \quad l n \frac{d_2}{d_1}}}, \quad q = \frac{II \quad II}{\frac{t_5 - t_6}{1}}, \quad (a)$$

სადაც l_6^I და l_6^{II} არიან ცხელ და ცივ არეთა შესაბამისი ტემპერატურები;
 α_1 —ცხელი არეს მიერ ცილინდრული კედლის შიგა ზედაპირზე თბოგაცემის კოეფიციენტი;

α_2 —ცილინდრული კედლის გარე ზედაპირის მიერ ცივ არეზე თბოგაცემის კოეფიციენტი;

λ —ცილინდრული კედლის სითბოგამტარობის კოეფიციენტი.

(ა) განტოლებათა სისტემიდან განვსაზღვროთ ცალ-ცალკე ტემპერატურათა სხვაობები:

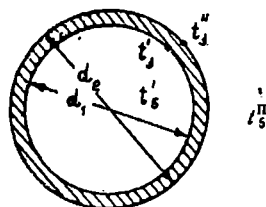
$$l_6^I - l_3^I = q \cdot \frac{1}{\alpha_1 \cdot \pi \cdot d_1}, \quad l_3^I - l_3^{II} = q \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}, \quad l_3^{II} - l_6^{II} = q \cdot \frac{1}{\alpha_2 \cdot \pi \cdot d_2} \quad (b)$$

უქანასკნელი სამი განტოლების მარცხენა და მარჯვენა მხარეების ცალ-ცალკე შეჯამებით მივიღებთ:

$$l_6^I - l_6^{II} = \frac{q}{\pi} \left(\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2} \right) \quad (c)$$

უქანასკნელ განტოლებიდან სითბური ნაკადის სიდიდე იქნება:

$$q = \frac{\pi \cdot (l_6^I - l_6^{II})}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}} = k \cdot \pi \cdot (l_6^I - l_6^{II}) \quad \text{კკალ/მ საათი.} \quad (2-88)$$



ნაკ. 2—23. თბოგადაცემა ერთშიანი ცილინდრული კედლის საშუალებით.

ამ განტოლებაში თბოგადაცემის ხაზობრივი კოეფიციენტი მიღის ერთ გრძივ მეტრზე ისაზღვრება ტოლობით:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}} \quad \text{კკალ/მ საათი } ^\circ\text{C.} \quad (2-89)$$

თუ ცხელ და ცივ არეთა განყოფი ცილინდრული კედელი მრავალშირინია, მაშინ ამ შრეების საერთო თერმული წინააღობა იქნება:

$$\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{2 \cdot \lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} \quad (d)$$

ცხელ არედან ცივ არეზე მრავალშირინი არაერთგვაროვანი ცილინდრული კედლის საშუალებით გადაცემული სითბური ნაკადი განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$q = \frac{\pi \cdot (l_6^I - l_6^{II})}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{2 \cdot \lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_{n+1}}} \quad (2-90)$$

ა5

$$q = k \cdot \pi \cdot (l_6^I - l_6^{II}) \quad \text{კკალ/მ საათი.} \quad (2-90a)$$

უქანასენელ განტოლებაში თბოგადაცემის კოეფიციენტი ისაზღვრება ტოლობით:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_{n+1}}} \quad (c)$$

თ ბ ვ ი 2 - 5

სითბოს ზამრცხელთა თბოგადაცემა აპარატებში

2—22. ძირითადი ღებულაგანი

თბოგადაცემი აპარატები განკუთვნილია ერთ უფრო ცხელ არედან მეორე უფრო ცივ არეზე სითბოს გადაცემისათვის. მოქმედების პრინციპის მიხედვით თბოგადაცემი აპარატები იყოფა რეკუმერაციულ, რეგენერაციულ და შემრევ აპარატებად.

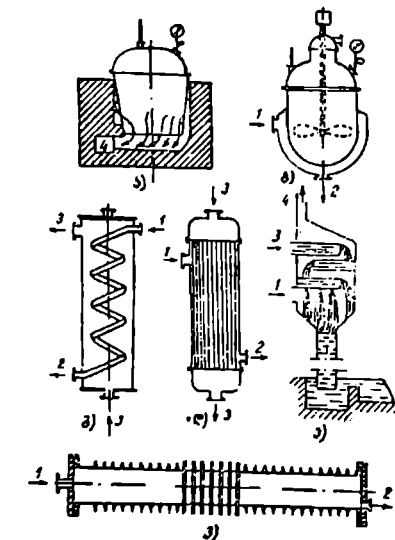
რეკუმერაციულ აპარატებში მოძრავ ცხელ და ცივ არეებს შორის თბოგადაცემა ხდება მათი გამყოფი კედლის საშუალებით. რეკუმერაციულ აპარატებს შეიძლება მიეკუთვნოს რძისა და ღვინის პასტერიზატორები, ორთქლის ქვაბები, ზედაპირული შემთბობები და სხვ.

რეგენერაციულ აპარატებში ერთი და იგივე მყარი ზედაპირი პერიოდულად შენაცვლებით განიცდის ცხელ და ცივ არეთა შეხებას, რის შედეგად სითბო ცხელ არედან გადაეცემა ცივ არეზე. რეგენერაციულ აპარატებს მიეკუთვნებიან ჰაერ შემთბობები და სხვ.

შემრევ აპარატებში ადგილი აქვს ცხელი და ცივი არეების უშუალო შერევას, როგორც ამას ადგილი აქვს ინტექციურ და მრავალჭაჭვიან ემექტორულ კონდენსატორებში და სხვ.

თბოგადაცემი აპარატების კონსტრუქციული ფორმები სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგის ტექნოლოგიის განვითარებასთან ერთად უმჯობესდებოდა და იცვლებოდა. ნაკ. 2—24-ზე მოცემულია თბოგადაცემაში აპარატების განვითარების სქემა.

ნაკ. 2—24-ზე მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები: 1—ორთქლის მიწოდება; 2—კონდენსატის არინება; 3—სითბის (წყლის და სხვ.) მიწოდება და არინება; 4—კვამლის (საცეხლზე) აირების არინება.



ნაკ. 2—24. თბოგადაცემი აპარატების განვითარების სქემა.

ა—სახარში ქვაბი; ბ—ორთქლის პერანჯინი ავტოკლავი სარკველათი; გ—კლანქილამბინი თბოგადაცემი; დ—თბოგადაცემა სწორი ზილბით; ე—შემრევი კონდენსატორი; ვ—წიბოებიანი თუჯის მილი.

საწარმოო პროცესების და მიხედვით თბოგადაცემებში იყენებენ სხვადასხვა სახის სითბოს შემცველებს. თბოგადაცემ აპარატებში უმეტესად იყენებენ კვამლის აირებს, ცხელ წყალს, წყლის ტენიან ნაჯერ და გადახურებულ ორთქლს. თბოგადაცემის მუშაობა-

სა და სითბურ გაანგარიშებაზე დიდ გავლენას ახდენს მისი ხურების ზედაპირის გასწვრივ სითხეთა ან აირთა მოძრაობის მიმართულება და ხასიათი. თბოგადამცემ აპარატებში სითხეთა (ან აირთა) მოძრაობის სქემები მოცემულია ნაკ. 2—25-ზე, სადაც მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები: ა—ერთმხრივი დინება; ბ—შემხვედრი დინება; გ—ჯვარედინი დინება; დ—ერთდროულად განხორციელებული ერთმხრივი და შემხვედრი დინება; ე, ე, და ზ—მრავალჯერადი ჯვარედინი დინება.

თბოგადამცემი აპარატების გაანგარიშების მიზანს წარმოადგენს მათი F ხურების ზედაპირის ფართობის განსაზღვრა. როდესაც თბოგადამცემი აპარატის ხურების ზედაპირის ფართობი ცნობილია, მაშინ გაანგარიშების მიზანს წარმოადგენს მუშა არეების საბოლოო ტემპერატურების განსაზღვრა.

თბოგადამცემი აპარატების თბოგაანგარიშების ძირითად ფორმულებს წარმოადგენენ:

თ ბ ო გ ა დ ა მ ც ე მ ი ს ფ ო რ მ უ ლ ა

$$Q = k \cdot (t_1 - t_2) \cdot F \text{ კკალ/საათი,} \quad (2-91)$$

სადაც t_1 და t_2 არის ცხელი და ცივი არეების ტემპერატურები;
 F მ²—თბოგადამცემი აპარატის ხურების ზედაპირის ფართობი;
 k კკალ/მ² საათი °C—თბოგადამცემის კოეფიციენტი;
 ს ი ბ თ უ რ ი ბ ა ლ ა ნ ს ი ს გ ა ნ ტ ო ლ ე ბ ა

$$Q = w_1 \cdot f_1 \cdot \gamma_1 \cdot \epsilon_{p1} (t_1' - t_1'') = w_2 \cdot f_2 \cdot \gamma_2 \cdot \epsilon_{p2} (t_2' - t_2''), \quad (2-92)$$

სადაც t_1' და t_1'' არის ცხელი არეს საწყისი და საბოლოო ტემპერატურები °C;
 t_2' და t_2'' —ცივი არეს საწყისი და საბოლოო ტემპერატურები °C;
 f_1 და f_2 —ცხელ და ცივ არეთა გასადინებელი კვეთების ფართობები მ².ით;
 w_1 და w_2 —ცხელი და ცივი არეების საათური სიჩქარეები, მ/საათი;
 γ_1 და γ_2 —ცხელი და ცივი არეების ხვედრითი წონები კგ/მ³;
 ϵ_{p1} და ϵ_{p2} —ცხელი და ცივი არეების სითბოტექვადობები კკალ/კგ °C.

როგორც (2-91) და (2-92) განტოლებებიდან ჩანს, ინდექსი 1 ით აღნიშნულია ის სიდიდეები, რომლებიც მიეკუთვნებიან ცხელ არეს, ხოლო ინდექსი 2-ით ის სიდიდეები, რომლებიც მიეკუთვნებიან ცივ არეს. მეორე სახის ინდექსები (') და (") შესაბამისად აღნიშნავენ ცხელი და ცივი არეების ტემპერატურებს თბოგადამცემ აპარატში მათი შესვლისა და გამოსვლის მომენტებში.

საკიროა წარმოადგენა ვიქონიით თბოგადამცემ აპარატებში მუშა არეების W წყლის ეკვივალენტზე. თბოგადამცემ აპარატში მუშა არეს წყლის ეკვივალენტის W ტერმინით მხედველობაში გვაქვს წყლის ის რაოდენობა, რომელიც თავის სითბოშემცველობით განხილული არეს სითბოშემცველობის ეკვივალენტურია.

რომელიმე მუშა არეს წყლის ეკვივალენტისათვის შეიძლება დაიწეროს ზოგადი სახის განტოლებები:

$$W = w \cdot f \cdot \tau \cdot c \text{ კკალ/საათი } ^\circ\text{C}, \quad W = V \cdot \tau \cdot c \text{ კკალ/საათი } ^\circ\text{C}, \quad W = G \cdot c \text{ კკალ/საათი } ^\circ\text{C}. \quad (2-93)$$

უკანასკნელ განტოლებებში:

V მ³/საათი არის ერთ საათში გაშავალი მუშა არეს მოცულობა;

G კგ/საათი—ერთ საათში გაშავალი მუშა არეს წონა.

თუ სითბური ბალანსის (2-92) განტოლებაში შევიტანთ წყლის ეკვივალენტის W_1 -ს მნიშვნელობას (2-93) განტოლებიდან, მაშინ მივიღებთ:

$$W_1 \cdot (t_1' - t_1'') = W_2 \cdot (t_2'' - t_2') \quad \text{კკალ/საათი.}$$

უქანასკნელ ტოლობიდან:

$$\frac{t_1' - t_1''}{t_2'' - t_2'} = \frac{W_2}{W_1} \quad (2-94)$$

(2-94) განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ მუშა არეების ტემპერატურათა სხვაობების შეფარდება მათი წყლის ეკვივალენტების შეფარდების უქუპროპორციულია. ამ განტოლებით გამოსახული დამოკიდებულება გამოიყენება როგორც თბოგადამცემი აპარატის ხურების მთელი ზედაპირის F ფართობისათვის, ისე მისი თითოეული dF ელემენტისათვის. თუ აღნიშნულ დამოკიდებულებას განვიხილავთ უქანასკნელი შემთხვევისათვის, მაშინ (2-94) განტოლება შეიძლება დაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\frac{dt_1}{dt_2} = \frac{W_2}{W_1} \quad (2-95)$$

სადაც dt_1 და dt_2 არიან თბოგადამცემ აპარატში მუშა არეების ტემპერატურათა ცვლილებანი ხურების ზედაპირის dF ელემენტზე.

თბოგადამცემი აპარატების სითბური გაანგარიშებისათვის საჭირო ძირითად დებულებათა ჩამოყალიბების შემდეგ გადავიდეთ (2-94) განტოლებაში შემავალ ცხელი და ცივი არეების

$(t_1' - t_1'')$ და $(t_2'' - t_2')$ ტემპერატურათა სხვაობების დაწვრილებით შესწავლაზე.

2-23. ტემპერატურული დანაშაუნი (ხმაზობა)

ზემოთ თბოგადამცემის საკითხების განხილვისა და საანგარიშო ფორმულების გამოყვანის დროს დაშვებული იყო, რომ თბოგადამცემი აპარატის F ხურების ზედაპირის ყოველ წერტილში მუშა არეთა ტემპერატურა უცვლელი იყო. რეალურ პირობებში ეს პირობა დაცულია მხოლოდ სითბის დუღილისა და ორთქლის კონდენსირების დროს. სხვა შემთხვევებისათვის თბოგადამცემ აპარატებში ცხელ და ცივ არეთა ტემპერატურები იცვლება. ცხელი არეს ტემპერატურა მცირდება, ხოლო ცივი არეს ტემპერატურა იზრდება. აღნიშნულის შედეგად იცვლება არეთა შორის ტემპერატურათა სხვაობაც $\Delta t = t_1 - t_2$, ცხადია, რომ ასეთ პირობებში თბოგადამცემის განტოლება $Q = k \cdot (t_1 - t_2) \cdot F$, შეიძლება გამოვიყენოთ მხოლოდ დიფერენციალური ფორმით თბოგადამცემი აპარატის ხურების ზედაპირის dF ელემენტისათვის, სახელობარ:

$$dQ = k \cdot \Delta t \cdot dF \quad \text{კკალ/საათი.}$$

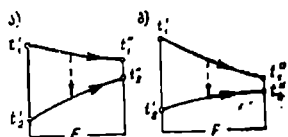
თბოგადამცემი აპარატის მთელი ხურების F ზედაპირის საშუალებით გადაცემული სითბოს რაოდენობა იქნება:

$$Q = \int_0^k k \cdot \Delta t_m \cdot dF = k \cdot \Delta t_m \cdot F \text{ კკალ/საათი,} \quad (2-96)$$

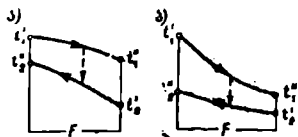
სადაც Δt_m °C არის ტემპერატურული დაწნევის საშუალო მნიშვნელობა F ხურების მთელი ზედაპირისათვის.

საშუალო ტემპერატურული დაწნევის (სხვაობის) სიდიდე დამოკიდებულია ცივ და ცხელი არეების მოძრაობის სქემაზე. აღნიშნულის გარდა ტემპერატურათა განაწილება აგრეთვე დამოკიდებულია იმაზე W_1 წყლის ეკვივალენტი მეტია თუ ნაკლები W_2 წყლის ეკვივალენტზე; ამასთან დაკავშირებით თბოგადამცემი აპარატებისათვის ხურების ზედაპირის გასწვრივ ვიხილავთ ტემპერატურათა ცვლილებების ოთხ წყველ მრუდს, რომლებიც ნაკ. 2-26-ზე და 2-27-ზეა წარმოდგენილი.

ნაკ. 2-26 ა და ბ-ზე მოცემულია პირდაპირი დინებისათვის თბოგადამცემის ხურების ზედაპირის გასწვრივ ტემპერატურათა ცვლილების მრუდები.



ნაკ. 2-26. ტემპერატურული მრუდები პირდაპირი დინებისათვის.



ნაკ. 2-27. ტემპერატურული მრუდები მოპირდაპირე დინებისათვის.

პირდაპირი დინებისათვის საშუალო ლოგარითმული ტემპერატურული დაწნევა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\Delta t_m = \frac{(t_1' - t_2') - (t_1'' - t_2'')}{\ln \frac{t_1' - t_2'}{t_1'' - t_2''}} \quad (2-97)$$

ნაკ. 2-27 ა და ბ-ზე მოცემულია მოპირდაპირე დინებისათვის თბოგადამცემის ხურების ზედაპირის გასწვრივ ტემპერატურათა ცვლილების მრუდები.

მოპირდაპირე დინებისათვის საშუალო ლოგარითმული ტემპერატურული დაწნევა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\Delta t_m = \frac{(t_1'' - t_2'') - (t_1' - t_2')}{\ln \frac{t_1'' - t_2''}{t_1' - t_2'}} = \frac{(t_1' - t_2'') - (t_1'' - t_2')}{\ln \frac{t_1' - t_2''}{t_1'' - t_2'}} \quad (2-98)$$

როდესაც ცნობილი იქნება საშუალო ლოგარითმული ტემპერატურული სხვაობა Δt_m , მაშინ თბოგადამცემი აპარატის ხურების ზედაპირის ფართობი გაიანგარიშება ფორმულით:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_m} \text{ მ}^2. \quad (2-99)$$

გეოგრაფიული ორთქლის სიქლი

განყოფილება მისამბო

საქვებზე ლანდგარები

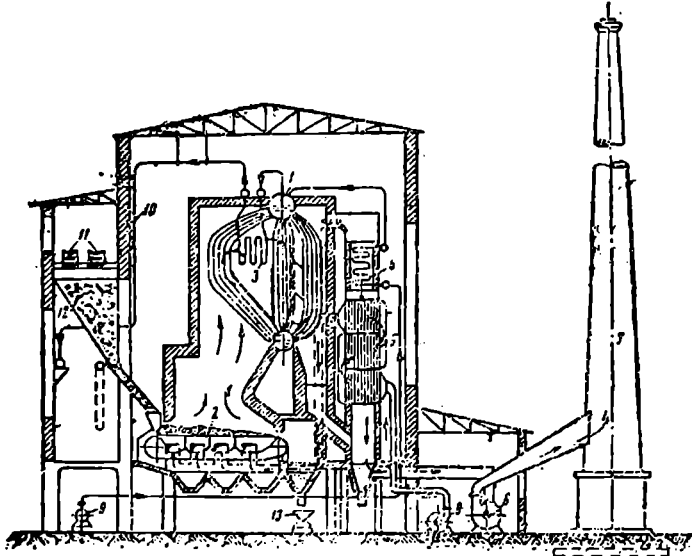
თ ა ვ ი 3-1

ზოგადი ცნობანი და განსაზღვრანი

3-1. ხაძვამი ლანდგარი და მისი დანიშნულება

საქვებზე დანადგარი წარმოადგენს მოწყობილობათა კომპლექსს, რომლის დანიშნულებაა განსაზღვრული პარამეტრების მქონე წყლის ტენიანი ნაჯერი ან გადახურებული ორთქლის გამოშვება.

წყლის ორთქლი გამოიყენება როგორც მუშა სხეული ორთქლის ძრავებისათვის და



ნაქ. 3-1. საქვებზე დანადგარის სქემა.

1—ორთქლის ტუბი, 2—საქვებზე მოწყობილობა, 3—ორთქლგადახურებელი, 4—გეოგრაფიული,
5—საქვებზე მოწყობილობა, 6—კვანძოვანი, 7—საქვებზე მილი, 8—საბრძოლი ვენტოლატორი, 9—საქვებზე
ტუბი, 10—ორთქლადგანი, 11—საბრძოლის მიწოდება, 12—საბრძოლის ხეივანი, 13—საქვების
მოწყობილობის ელემენტი.

როგორც სითბოს შემცველი ტექნოლოგიური პროცესებისათვის, გათბობისათვის, საყოფაცხოვრებო საჭიროებისათვის და სხვ.

საქვებზე დანადგარი შედგება ქვაბაგრეგატისა და მისი დამხმარე მოწყობილობები-საგან. საქვებზე დანადგარის სქემა ნაჩვენებია ნაკ. 3—1-ზე.

ჩვეულებრივად ქვაბაგრეგატს მიეკუთვნება შემდეგი ელემენტები:

ორთქლის ქვაბი 1, რომელიც წარმოადგენს განსაზღვრული კონფიგურაციის დახშულ, ლითონის ქურქელს და მისი დანიშნულებათა წარმოქმნას მიღებული (გარკვეუ-ლი) ჰარამეტრების მქონე ტენიანი ნაჯერი ორთქლი. ორთქლის ქვაბის ხურების ზედაპი-რი შემოგარებულია საცეცხლეს აირებით;

საცეცხლე 2 თავისი კამერით; მოწყობილობა, სადაც სათბობის წვა წარმო-ებს და ადგილი აქვს მისი ქიმიური ენერჯის სითბურ ენერჯიად გარდაქმნას;

ორთქლგადამხურებელი 3, წარმოადგენს თბოგადამცემს, რომელიც გან-კუთვნდება ტენიანი ნაჯერი ორთქლიდან იმავე წვევის მქონე გადახურებული ორ-თქლის მიღებისათვის;

წყლის ექონომაიზერი 4, აგრეთვე წარმოადგენს თბოგადამცემს, რომლის დანიშნულებათა ქვაბის საკვები წყლის წინასწარი შეთბობა წარმავალი კვამლის აირების სითბოს ხარჯზე;

ჰაერზე მთბობი 5, წარმოადგენს მოწყობილობას, რომელიც განკუთვნილია სა-ცეცხლეში სათბობის წვისათვის საჭირო ჰაერის შესათბობად, წარმავალი კვამლის აირე-ბის სითბოს ხარჯზე.

ქვაბაგრეგატს აგრეთვე მიეკუთვნება:

ქვაბის ამონაკირი, რომელიც წარმოადგენს აირსაველებსა და საცეცხლე კა-მერის კედლებს; ქვაბის ამონაკირი ამავე დროს ორთქლის ქვაბს იცავს გარემოში სით-ბოს დანაკარგებისაგან;

ქარკასი საძირკველზე დადგმული ლითონის სივრცითი კონსტრუქციაა, რომელ-ზედაც დაყრდნობილია ქვაბაგრეგატის ცალკეული ელემენტები;

საქვებზე არმატურა და გარნიტურა წარმოადგენს საქვებზე აგრეგატის მომსახურებისა და ექსპლუატაციისათვის საჭირო ხელსაწყოებსა და მოწყობილობებს.

საქვებზე დანადგარის დამამარე მოწყობილობებს წარმოადგენს:

მოწყობილობანი წვევის შესაქმნელად და საცეცხლეში სათბობის წვის პროცესისათვის საჭირო ჰაერის მისაწოდებლად (კვამლსაწოვი 6, საკვამლე მილი 7, სა-ბერავე ვენტილატორი 8). საერთოდ, წვევის მოწყობილობის დანიშნულებათა საქვებზე აგრეგატის საცეცხლესა და აირსაველებში საჭირო გაუხშობებს შექმნა და წარმავალი აირების არჩენება;

მქვებზე მოწყობილობა 9, რომლის დანიშნულებათა ორთქლის ქვაბში სა-კვები წყლის მიწოდება. როგორც წესი, ის შედგება ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი, რამდენიმე (არა ნაკლებ ორისა) მკვებავი ხელსაწყოსაგან (დგუშიანი ან ცენტრიდანული ტუმბოები და ინექტორები).

სხვადასხვა დანიშნულების მიღგაყვანილობის ქსელი (ორთქლ-სადენი 10, ცივი და ცხელი საკვები წყლის წყალსადენი; სადრენაჟო და ჩამოსაშვები ხაზები, სამეურნეო და სახანძრო წყალსადენი; აირისა და ჰაერის სადენები);

სათბობის მიმწოდებელი 11, რომლის დანიშნულებათა საწყობიდან სათ-ბობის მიწოდება საქვებზე აგრეგატის საცეცხლეში;

სათბობის ხვირის 12 დანიშნულებათა საქვებში სათბობის განსაზღვრუ-ლი მარაგის შექმნა პირდაპირ საცეცხლეში მის მისაწოდებლად;

ნაცრისა და წიდის მოსაცილებელი მოწყობილობა 13. აღნიშნულის გარდა (ნაკვეთზე არ არის ნაჩვენებ) საქვებზე დანადგარს მიეკუთვნება: მფრინავი ნაც-რის დამჭერი და ქვაბის საკვები წყლის გამწმენდი და მომზადებელი მოწყობილობანი, სითბური საკონტროლო და ავტომატურად მართვის ხელსაწყოები.

გამოყენებული სათბობის სახესხვაობა აპირობებს ქვაბაგრეგატის საჭირო ელემენტების შერჩევის აუცილებლობას.

სკკ პარტიის რიგგარეშე XXI ყრილობის დადგენილებათა საფუძველზე თბოენერგეტიკის საჭიროებისათვის მახუთისა და ბუნებრივი აირის სათბობად გამოყენებისას შემამწვევად გამარტივდება საცეცხლეს მოწყობილობა და თავიდან იქნება აცილებული საქვაბე დანადგარებში რიგი ელემენტების დადგმის აუცილებლობა, რაც მნიშვნელოვნად დააჩქარებს საქვაბე დანადგარების მშენებლობას და გაამარტივებს მათ ექსპლუატაციას.

ქვაბაგრეგატის მიერ დროის ერთეულში წარმოქმნილი წყლის ორთქლის რაოდენობა ისაზღვრება კილოგრამობით ან ტონობით და საქვაბე დანადგარის ორთქლმწარმოებლობას უწოდებენ.

ქვაბაგრეგატში მიღებული წყლის ტენიანი ნაჯერი ორთქლი ხასიათდება წნეებითა და სიმშრალის ხარისხით, ხოლო გადახურებული ორთქლი—წნეებითა და გადახურების ტემპერატურით.

საქვაბე დანადგარებისადმი წაყენებულ მოთხოვნათა შორის მთავარია უაეარო მუშაობა, სითბური პროცესების გამარტივებული რეგულირება, მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტი, მიღებული ორთქლის მინიმალური თვითღირებულება და სხვ.

თ ა ვ ი 3—2

სათბობი

3—2. სათბობის სახეობი

სათბობი ეწოდება ისეთ საწვავ ნივთიერებას, რომელიც ტექნიკურ-ეკონომიური თვალსაზრისით სითბური ენერჯიის მისაღებადაა განკუთვნილი. დ. ი. მენდლეევის განსაზღვრით, სათბობს უწოდებენ საწვავ ნივთიერებას, რომელსაც სპეციალურად წვავენ სითბური ენერჯიის, ე. ი. სითბოს მისაღებად.

სათბობის წარმოშობის შესახებ არსებობდა სხვადასხვა თეორია, მაგრამ მათ შორის უფრო მისაღებია ის თეორია, რომელიც ამტკიცებს, რომ წიაღისეული სათბობის საწვავი ნაწილი ძირითადად წარმოქმნილია მცენარეულობის მასიდან და ამასთან ერთად ცოტა თუ ბევრი რაოდენობით შეიცავს მიკროორგანიზმების ცხიმოვან და ცილოვან ნივთიერებებს.

მსოფლიო ენერგეტიკულ ბალანსში ორგანულ სათბობს პირველი ადგილი უკავია. დღეისათვის კაცობრიობა საჭირო ენერჯიის დაახლოებით 80% იღებს მისი მთავარი წყაროს—ნახშირბადანი სათბობის ხარჯზე, ხოლო დანარჩენ 20%-ს, თუ ჯერჯერობით მხედველობაში არ მივიღებთ ატომისა და მზის ენერჯიის გამოყენებას, ჰფარავს ქარისა და ჰიდრაულიკური ენერჯიით.

სათბობი თავისი აგრეგატული მდგომარეობის მიხედვით სამი სახისაა:

მყარი სათბობი (შეშა, ტორფი, ფიქალი, მურა ნახშირი, ქვანახშირი, ანთრაციტი, კოქსი).

თხევადი სათბობი (ნავთობის ნაწარმი: ბენზინი, ნავთი, ლიგროინი, სხვადასხვა სახის ზეთები და ნავთობის გადამუშაების ნარჩენი მახუთი და სხვ.).

აირადი სათბობი (ბუნებრივი და ხელოვნური).

3-3. სათბობის შედგენილობა და დაწვის სითბო (სითბოს უნარი)

სათბობის თვისებანი, რომლებიც მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული მისი საცეხლეში დაწვის პროცესის ორგანიზაციის დროს, ისაზღვრება შემდეგი მახასიათებლებით:

- ა) ქიმიური შედგენილობა;
- ბ) დაწვის სითბო;
- გ) აქროლად ნოეთიერებათა შემცველობა (მყარ სათბობში);
- დ) ნაცრის დნობის ტემპერატურა (მყარი სათბობის).

საქვებზე დანადგარში მისაწოდებელი მყარი და თხევადი სათბობის ნაწილის ქიმიური შედგენილობა ისაზღვრება პროცენტობით წონის მიხედვით:

ნახშირბადი	C ^o %
წყალბადი	H ^o %
ჟანგბადი	O ^o %
აზოტი	N ^o %
გოგირდი	S ^o %
ნაცარი	A ^o %
ტენი	W ^o %

სათბობის ქიმიური შედგენილობის განსაზღვრისას არჩევენ სათბობის მუშა, ანალიზურ, მშრალ, საწყევ და ორგანულ მასას.

სათბობს რა სახითაც მოაოპებენ ბუნებაში და მიაწოდებენ მომხმარებელს დასაწყევად, უწოდებენ მუშა სათბობს.

სათბობის მუშა მასის ქიმიური შედგენილობა პროცენტობით წონის მიხედვით გამოსახება განტოლებით

$$C^3 + H^3 + O^3 + N^3 + S^3 + A^3 + W^3 = 100\% \quad (3-1)$$

ლამბორატორიულ პირობებში, როდესაც სათბობის სინჯი აღებულია ჰაეროვანმშრალ მდგომარეობაში და განუთვნილია ანალიზისათვის, არჩევენ სათბობის ანალიზურ მასას, რომლის ქიმიურ შედგენილობას გამოსახავენ განტოლებით

$$C^o + H^o + O^o + N^o + S^o + A^o + W^o = 100\% \quad (3-2)$$

სათბობიდან ანალიზური ტენის მოცილებით მივიღებთ სათბობის მშრალ მასას. მისი ქიმიური შედგენილობა გამოსახება განტოლებით

$$C^{3o} + H^{3o} + O^{3o} + N^{3o} + S^{3o} + A^{3o} = 100\% \quad (3-3)$$

თუ განვიხილავთ სათბობს ნაცრის გარეშე, საქმე გვექნება სათბობის საწყევ მასასთან, რომლის ქიმიური შედგენილობა გამოსახება განტოლებით

$$C^b + H^b + O^b + N^b + S^b = 100\% \quad (3-4)$$

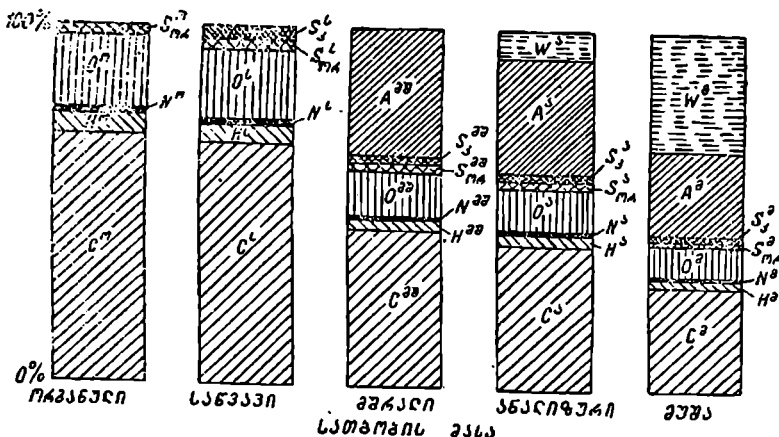
სათბობიდან ტენის, ნაცრისა და გოგირდის მოცილებით, რომელთა შეჯამებულ სიდიდეს ბალანსტს (B) უწოდებენ, მივიღებთ სათბობის ორგანულ მასას. სათბობის ორგანული მასის შედგენილობას გამოსახავენ შემდეგი განტოლებით:

$$C^o + H^o + O^o + N^o = 100\%$$

ნაქ. 3-2-ზე მოცემულია სათბობის ქიმიური ელემენტარული შედგენილობის სქემა. თუ ცნობილია სათბობის რომელიმე მასის ელემენტარული შედგენილობა, გადა-

* მყარი სათბობები გოგირდს შეიცავენ სამი სახისა: ორგანული S_{ორგ}, კოლჩედანის S_კ და სულფატურს S_ს. ე. ი. S = S_{ორგ} + S_კ + S_ს. ორგანული და კოლჩედანის გოგირდი წვაში მონაწილეობას აღებულობენ და დაწვის შედეგად გამოყოფენ სითბოს, სულფატური გოგირდი კი არება ნაცარში. შემდგომში გოგირდად ნაგულისხმები იქნება გოგირდი, რომელიც წვაში აღებულობს მონაწილეობას (S_{ორგ}³ - S_ს³).

ყვანი კოფეციენტების საშუალებით ადვილად გაიანგარიშება სათბობის სხვა მასის ელემენტარული შედგენილობა. 3—1 ცხრილში მოცემულია სათბობის ერთი მასიდან მეორე მასაზე გადაყვანი კოფეციენტები.



ნაკ. 3—2. მყარი და თხევადი სათბობის ქიმიური ელემენტარული შედგენილობა. ცხრილი 3—1

სათბობის ერთი მასიდან მეორე მასაზე გადაყვანი კოფეციენტები

სათბობის მოცემული მასა	სათბობის მასა, რომელზედაც ხდება გადაანგარიშება			
	მუშა, მ	მშრალი, მშ	საწვევი, ს	ორგანული, ო
მუშა, მ	1	$\frac{100}{100 - W^2}$	$\frac{100}{100 - (A^2 + W^2)}$	$\frac{100}{100 - (S^2 + A^2 + W^2)}$
მშრალი, მშ	$\frac{100 - W^2}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A^2}$	$\frac{100}{100 - (S^2 + A^2)}$
საწვევი, ს	$\frac{100 - (A^2 + W^2)}{100}$	$\frac{100 - A^2}{100}$	1	$\frac{100}{100 - S^2}$
ორგანული, ო	$\frac{100 - (S^2 + A^2 + W^2)}{100}$	$\frac{100 - (S^2 + A^2)}{100}$	$\frac{100 - S^2}{100}$	1

სათბობის უმნიშვნელოვანესი მახასიათებელია მისი დაწვის სითბო, რომელიც გამოიყოფა ერთი კილოგრამი მყარი (თხევადი) ან 1 ნ. მ³ აირადი სათბობის სრული დაწვის შედეგად.

განასხვავებენ სათბობის უმაღლესი და უდაბლესი დაწვის სითბოს.

სათბობის უმაღლესი დაწვის სითბო ეწოდება სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც გამოიყოფა 1 კგ მყარი (თხევადი) ან 1 ნ. მ³ აირადი სათბობის დაწვის შედეგად, იმ პირობით, თუ კვამლის აირები შეიცავენ სითბოს, რომელიც გამოიყოფა მასში არსებული წყლის ორთქლის კონდენსირებისას. სათბობის უმაღლესი დაწვის სითბო აღინიშნება $Q_{\text{მაღ}}^{\text{კალ/კგ}}$ ან $Q_{\text{მაღ}}^{\text{კალ/ნ.მ}^3}$.

საქვებზე დანადგარების საცეცხლებში სათბობის დაწვისას კვამლის აირებს აქვს საკმაოდ მაღალი ტემპერატურა, რომლის დროს სათბობის ტენი და სათბობში შემავალი წყალბადის დაიანგვისას მიღებული ტენი მასში იმყოფება ორთქლის სახით. ამიტომ

ასეთ შემთხვევებში უმჯობესია გამოვიყენოთ ცნება სათბობის უდაბლესი დაწვის სითბოსი, რომელიც აღინიშნება $Q_{\text{უფ კკალ/კგ}}$ ან $Q_{\text{უფ კკალ/ნ.მ}^3}$.

სათბობის უდაბლესი დაწვის სითბო არ აღრიცხავს იმ სითბოს, რომელიც იხარჯება ყვამლის აირებში არსებული წყლის ორთქლის მისაღებად.

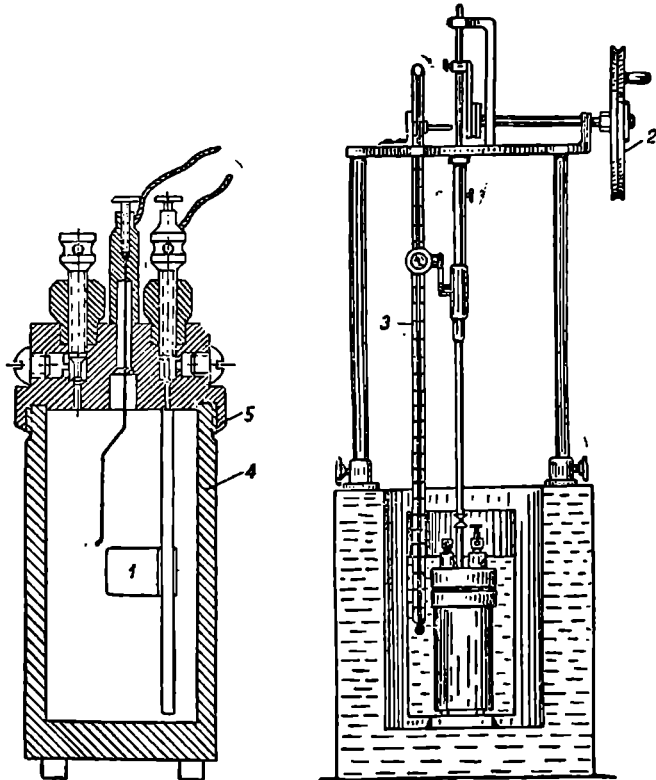
მუშა სათბობის დაწვის სითბო ისაზღვრება ორი მეთოდით:

ა) სპეციალური ხელსაწყოს—კალორიმეტრის საშუალებით;

ბ) ანალიზური მეთოდის საშუალებით, როდესაც ცნობილია სათბობის ქიმიური შედგენილობა.

სათბობის დაწვის სითბოს განსაზღვრა კალორიმეტრული მეთოდით*

ამ მეთოდით სათბობის დაწვის სითბოს განსაზღვრისათვის იყენებენ კალორიმეტრულ დანადგარს, რომელიც ნაჩვენებია ნაკ. 3—3-ზე.



ნაკ. 3—3. კალორიმეტრული დანადგარი.

1—ფინჯანი სათბობის სიჩქარის ბრტყელის მოსათავსებლად, 2—არჩქელას ამჩრაკი შექანიზმი, 3—თერმომეტრი, 4—ყუმბარის სქელკედლაჲა ცილინდრული ნაწილი, 5—ყუმბარის სახურავი, 6—კალორიმეტრი.

კალორიმეტრული დანადგარი შედგება კალორიმეტრული ყუმბარისა, კალორიმეტრისა და თერმომეტრებისაგან.

* უფრო ფართოდ ამ მეთოდით სათბობის დაწვის სითბოს განსაზღვრის შესახებ იხილეთ: В. Р. В и л ь я н с — „Топливо, смазочные материалы и вода“, Сельхозгиз, 1951 г.

ექსპერიმენტული მეთოდით დაწვის სითბოს განსაზღვრისათვის იღებენ ერთ გრამ მყარი სათბობის ფხენილს და მის მასაში მცირედინამეტრიანი მავთულის ხეის ჩაწნებით ამზადებენ ბრიკეტს. სათბობის ბრიკეტს* ათავსებენ ყუმბარაში ფინჯანზე 1 და ყუმბარას ავსებენ 25 ატ წნევის მქონე ეანგბადით. ყუმბარა იღვმება კალორიმეტრის წყლიან ქურქელში. სათბობის ბრიკეტის მავთულის ხეიაში ატარებენ 12—15 ვოლტი ძაბვის მქონე ელექტროდენს, რაც იწვევს მავთულის ხეის გახურებას და სათბობის ბრიკეტის დაწვას სუფთა ეანგბადში. სათბობის დაწვის სითბოს გაანგარიშებისას, იმ სითბოს რაოდენობის გარდა, რომელიც ყუმბარის საშუალებით გადაეცემა კალორიმეტრის ქურქელში მყოფ წყალს, მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული ის სითბო, რომელიც გამოიყოფა ყუმბარაში აზოტმეაფას და გოგირდმეაფას წარმოქმნით და სათბობის ბრიკეტში ჩაწნეხილი მავთულის დაწვით. ამათთან ერთად მხედველობაში მიღებული უნდა იქნეს მთლიანად კალორიმეტრული დანადგარის მიერ გამოსხივებით სითბოს დანაკარგი გარეშოში. ქებაგარეგებების საცდელგებში ადგილი არა აქვს აზოტმეაფას და გოგირდმეაფას წარმოქმნას. ამიტომ კალორიმეტრული ყუმბარის საშუალებით განსაზღვრული დაწვის სითბოს სიდიდე $Q_{\text{წვ}}^{\text{მ}}$ უფრო მეტი იქნება, ვიდრე მუშაობის ფაქტობრივი პირობებისათვის გაანგარიშებული $Q_{\text{წვ}}^{\text{მ}}$.

სათბობის მუშა მასის უმაღლესი დაწვის სითბო $Q_{\text{წვ}}^{\text{მ}}$ კკალ/კგ კალორიმეტრული მონაცემებისა და შესწორებათა მხედველობაში მიღებით გაიანგარიშება შემდეგი ფორმულით

$$Q_{\text{წვ}}^{\text{მ}} = Q_{\text{წვ}}^{\text{მ}} - 22,5 S^{\text{ს}} - 0,0015 \cdot Q_{\text{წვ}}^{\text{მ}}, \quad (3-5)$$

სადაც $Q_{\text{წვ}}^{\text{მ}}$ კკალ/კგ არის სითბო, რომელიც გამოიყოფა კალორიმეტრის ყუმბარაში სათბობის სინჯის დაწვისას. ანთრაციტებისა და მკლე ნახშირებისათვის (3—5) ფორმულაში 0,0015 კოეფიციენტის ნაცვლად შეტანილი უნდა იქნეს 0,0010.

აირადი სათბობის დაწვის სითბოს განსაზღვრისათვის არსებობს სპეციალური კალორიმეტრი.

ანალიზური მეთოდით სათბობის დაწვის სითბოს განსაზღვრა

თუ ლაბორატორიული ანალიზის საშუალებით გამოკვლეულია მყარი ან თხევადი სათბობის ქიმიური ელემენტარული შედგენილობა, მაშინ დაწვის სითბოს მიახლოებითი სიდიდის განსაზღვრისათვის იყენებენ სხვა ემპირიულ ფორმულებთან შედარებით უფრო ხუხტ ფორმულას, რომელიც მოცემულია გამოჩენილ რუსი მეცნიერის მენდელეევის მიერ.

სათბობის მუშა უმაღლესი დაწვის სითბოს განსაზღვრისათვის მენდელეევის ემპირიული ფორმულა გამოიყენება შემდეგი სახით:

$$Q_{\text{წვ}}^{\text{მ}} = 81 C^{\text{ს}} + 300 H^{\text{ს}} - 26 (O^{\text{ს}} - S^{\text{ს}}) \text{ კკალ/კგ.} \quad (3-6)$$

სათბობის მუშა უდაბლესი დაწვის სითბოს განსაზღვრისათვის მენდელეევის ფორმულას აქვს სახე:

$$Q_{\text{წვ}}^{\text{მ}} = 81 C^{\text{ს}} + 300 \cdot H^{\text{ს}} - 26 (O^{\text{ს}} - S^{\text{ს}}) - 6 \cdot (9H^{\text{ს}} + W^{\text{ს}}) \text{ კკალ/კგ.} \quad (3-7)$$

ან საბოლოოდ

$$Q_{\text{წვ}}^{\text{მ}} = 81 C^{\text{ს}} + 246 H^{\text{ს}} - 26 (O^{\text{ს}} - S^{\text{ს}}) - 6 \cdot W^{\text{ს}} \text{ კკალ/კგ.} \quad (3-8)$$

დ. ი. მენდელეევის ზემოთყვანილ ემპირიულ ფორმულებში მყარი და თხევადი სათბობის ელემენტარული შედგენილობა გამოსახულია პროცენტობით წონის მიხედვით. თუ ცნობილია აირადი სათბობის ანალიზური შედგენილობა; მაშინ მისი მუშა უდაბლესი დაწვის სითბო განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

* კალორიმეტრულ ყუმბარაში წვეენ აგრეთვე თხევად სათბობსაც, რისთვისაც უკანასკნელს ასხამენ პლატინის ტიგელში. თხევად სათბობში ათავსებენ მავთულის ხეის შუა ნაწილს. მავთულის ქლდგნით გახურება იწვევს თხევადი სათბობის წვის პროცესს.

$$Q_{\text{შე}}^{\circ} = 30,18 \text{ CO} + 25,79 \cdot \text{H}_2 + 85,55 \text{ CH}_4 + 141,07 \text{ C}_2\text{H}_6 + 152,26 \text{ C}_3\text{H}_8 + 205,41 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10} + \dots \text{კკალ/ნმ}^3, \quad (3-9)$$

სადაც CO, H₂, CH₄ და სხვ. არის ნორმალური პირობებისათვის აღებული აირადი სათბობის მუშა მასის შედგენილობა პროცენტობით მოცულობის მიხედვით.

სხვადასხვა სათბობის დაწვის სითბოს მნიშვნელობანი მოცემულია 3—2 ცხრილში.

ცხრილი 3—2

სხვადასხვა სათბობის დაწვის სითბო

ს ა თ ბ ო ბ ის ს ა ხ ე	დაწვის სითბო, კკალ/კგ	
	Q _{შე} ⁰	Q _{შე} ¹
ტორფი	5060— 6000	2000—2500
მურა ნაწიერი	6000— 7000	2500—4000
ალგარძელი ქვანახშირი .	7000— 8000	5000— 6000
შველ ქვანახშირი	8000— 8300	6000—7000
ანთრაციტი	7900— 8000	5000—6000
საწვავი ფიქალი	6500— 8500	1500—2500
მახუთი	9500—10000	9000—9500

სათბობის ხარჯის განგარიშების დროს, როდესაც საქებად დანადგარებში გამოიყენება სხვადასხვა დაწვის სითბოს მქონე სათბობები, მიღებულია ე. წ. „პირობითი სათბობი“-ს ცნება. პირობით სათბობად მიღებულია ისეთი სათბობი, რომლის უდაბლესი დაწვის სითბო ტოლია 7000 კკალ/კგ.

პირობით სათბობზე მოცემული სათბობის გადასანგარიშებლად სარგებლობენ კალორიული ეკვივალენტით

$$\mathfrak{B} = \frac{Q_{\text{შე}}^{\circ}}{7000}, \quad (3-10)$$

სადაც Q_{შე}⁰ კკალ/კგ არის აღებული სათბობის მუშა უდაბლესი დაწვის სითბო.

3-4. ხსრპ სათბობების მახასიათებლები

საბჭოთა კავშირის მყარი და თხევადი სათბობების საანგარიშო მახასიათებლები მოყვანილია (3—3) ცხრილში.

განვიხილოთ სხვადასხვა სახის სათბობის ძირითადი თავისებურებანი.

შეშა. შეშის ადვილი აალება, მის შედგენილობაში გოგირდის უქონლობა, მშრალი მასის დაწვისას მნიშვნელოვანი სიდიდის დაწვის სითბო ამ სათბობს ტყეებით მდიდარ შორეულ რაიონებისათვის, სადაც დიდია ტყის ბუნებრივი გაშენება, და ადგილებისათვის, სადაც ძნელია სხვა სათბობის მიწოდება, მეტად ძვირფასი სახის სათბობად ხდის. შეშის ნაქრინანობა მინიმალურია (A_{შე}⁰ ≈ 1%).

შეშის დაწვის სითბო მერქნის ქიმიურ ელემენტარულ შედგენილობაზე დამოკიდებული. სხვადასხვა ჯიშის შეშას სხვადასხვა სიდიდის დაწვის სითბო ახასიათებს. შეშის დაწვის სითბოს სიდიდეზე დიდ გავლენას ახდენს მერქნის ტენიანობა. შეშის ტენიანობა დაახლოებით 20—50% ფარგლებში იცვლება.

სათბობად აკრეფვე გამოიყენება ხის დამუშავებისა და ხე-ტყის დამზადების წარმოებათა ნარჩენები: ნახერხი, ბურბუშელა, ნაფოტი და სხვ.

სპიკე მუარი და თბევად ხაზობების საწყაროში მახასიათებლები

რაიონი და სახაღოს დასახელება	სპიკე მუარის ტიპი	საღობის შემადგენელი								6-ცხრის დნობადობა		აქრობის ანალიზების მონაცემები			
		W ^ა %	A ^ბ %	S ^გ %	S ^დ %	S ^ე %	C ^ვ %	H ^ზ %	N ^ი %	O ^კ %	C ^ლ კაგ/კგ	t ₁ ^ა t ₂ ^ბ t ₃ ^გ t ₄ ^დ t ₅ ^ე t ₆ ^ვ t ₇ ^ზ t ₈ ^ი t ₉ ^კ t ₁₀ ^ლ t ₁₁ ^ზ t ₁₂ ^ი t ₁₃ ^კ t ₁₄ ^ლ t ₁₅ ^ზ t ₁₆ ^ი t ₁₇ ^კ t ₁₈ ^ლ t ₁₉ ^ზ t ₂₀ ^ი t ₂₁ ^კ t ₂₂ ^ლ t ₂₃ ^ზ t ₂₄ ^ი t ₂₅ ^კ t ₂₆ ^ლ t ₂₇ ^ზ t ₂₈ ^ი t ₂₉ ^კ t ₃₀ ^ლ t ₃₁ ^ზ t ₃₂ ^ი t ₃₃ ^კ t ₃₄ ^ლ t ₃₅ ^ზ t ₃₆ ^ი t ₃₇ ^კ t ₃₈ ^ლ t ₃₉ ^ზ t ₄₀ ^ი t ₄₁ ^კ t ₄₂ ^ლ t ₄₃ ^ზ t ₄₄ ^ი t ₄₅ ^კ t ₄₆ ^ლ t ₄₇ ^ზ t ₄₈ ^ი t ₄₉ ^კ t ₅₀ ^ლ t ₅₁ ^ზ t ₅₂ ^ი t ₅₃ ^კ t ₅₄ ^ლ t ₅₅ ^ზ t ₅₆ ^ი t ₅₇ ^კ t ₅₈ ^ლ t ₅₉ ^ზ t ₆₀ ^ი t ₆₁ ^კ t ₆₂ ^ლ t ₆₃ ^ზ t ₆₄ ^ი t ₆₅ ^კ t ₆₆ ^ლ t ₆₇ ^ზ t ₆₈ ^ი t ₆₉ ^კ t ₇₀ ^ლ t ₇₁ ^ზ t ₇₂ ^ი t ₇₃ ^კ t ₇₄ ^ლ t ₇₅ ^ზ t ₇₆ ^ი t ₇₇ ^კ t ₇₈ ^ლ t ₇₉ ^ზ t ₈₀ ^ი t ₈₁ ^კ t ₈₂ ^ლ t ₈₃ ^ზ t ₈₄ ^ი t ₈₅ ^კ t ₈₆ ^ლ t ₈₇ ^ზ t ₈₈ ^ი t ₈₉ ^კ t ₉₀ ^ლ t ₉₁ ^ზ t ₉₂ ^ი t ₉₃ ^კ t ₉₄ ^ლ t ₉₅ ^ზ t ₉₆ ^ი t ₉₇ ^კ t ₉₈ ^ლ t ₉₉ ^ზ t ₁₀₀ ^ი	Y ^ა %	Y ^ბ %	
		W ^ა %	A ^ბ %	S ^გ %	S ^დ %	S ^ე %	C ^ვ %	H ^ზ %	N ^ი %	O ^კ %	C ^ლ კაგ/კგ	t ₁ ^ა t ₂ ^ბ t ₃ ^გ t ₄ ^დ t ₅ ^ე t ₆ ^ვ t ₇ ^ზ t ₈ ^ი t ₉ ^კ t ₁₀ ^ლ t ₁₁ ^ზ t ₁₂ ^ი t ₁₃ ^კ t ₁₄ ^ლ t ₁₅ ^ზ t ₁₆ ^ი t ₁₇ ^კ t ₁₈ ^ლ t ₁₉ ^ზ t ₂₀ ^ი t ₂₁ ^კ t ₂₂ ^ლ t ₂₃ ^ზ t ₂₄ ^ი t ₂₅ ^კ t ₂₆ ^ლ t ₂₇ ^ზ t ₂₈ ^ი t ₂₉ ^კ t ₃₀ ^ლ t ₃₁ ^ზ t ₃₂ ^ი t ₃₃ ^კ t ₃₄ ^ლ t ₃₅ ^ზ t ₃₆ ^ი t ₃₇ ^კ t ₃₈ ^ლ t ₃₉ ^ზ t ₄₀ ^ი t ₄₁ ^კ t ₄₂ ^ლ t ₄₃ ^ზ t ₄₄ ^ი t ₄₅ ^კ t ₄₆ ^ლ t ₄₇ ^ზ t ₄₈ ^ი t ₄₉ ^კ t ₅₀ ^ლ t ₅₁ ^ზ t ₅₂ ^ი t ₅₃ ^კ t ₅₄ ^ლ t ₅₅ ^ზ t ₅₆ ^ი t ₅₇ ^კ t ₅₈ ^ლ t ₅₉ ^ზ t ₆₀ ^ი t ₆₁ ^კ t ₆₂ ^ლ t ₆₃ ^ზ t ₆₄ ^ი t ₆₅ ^კ t ₆₆ ^ლ t ₆₇ ^ზ t ₆₈ ^ი t ₆₉ ^კ t ₇₀ ^ლ t ₇₁ ^ზ t ₇₂ ^ი t ₇₃ ^კ t ₇₄ ^ლ t ₇₅ ^ზ t ₇₆ ^ი t ₇₇ ^კ t ₇₈ ^ლ t ₇₉ ^ზ t ₈₀ ^ი t ₈₁ ^კ t ₈₂ ^ლ t ₈₃ ^ზ t ₈₄ ^ი t ₈₅ ^კ t ₈₆ ^ლ t ₈₇ ^ზ t ₈₈ ^ი t ₈₉ ^კ t ₉₀ ^ლ t ₉₁ ^ზ t ₉₂ ^ი t ₉₃ ^კ t ₉₄ ^ლ t ₉₅ ^ზ t ₉₆ ^ი t ₉₇ ^კ t ₉₈ ^ლ t ₉₉ ^ზ t ₁₀₀ ^ი	Y ^ა %	Y ^ბ %	
ლონძის აუზი	იგვე	13,0	19,6	2,4	1,6	50,6	3,7	1,1	8,0	4840	1050	1150	1200	43	4,5
	იგვე	7,0	15,8	1,9	1,4	62,1	4,2	1,2	6,4	5900	1050	1150	1220	39	3,0
	იგვე	6,0	18,8	3,6	3,6	62,4	3,8	1,1	4,3	5980	1100	1120	1200	32	1,0
	იგვე	5,0	15,2	1,8	0,9	70,6	3,4	1,2	1,9	6550	1060	1230	1260	13	1,0
	იგვე	5,0	13,3	1,0	0,7	76,4	1,5	0,8	1,3	6500	1060	1170	1200	4,0	2,0
	იგვე	6,0	16,9	1,2	0,6	71,7	1,4	0,8	1,4	6100	1070	1200	1250	4,0	2,0
	იგვე	7,0	16,7	1,1	0,6	70,5	1,4	0,8	1,9	6010	1070	1200	1250	4,0	2,0
	იგვე	6,5	12,2	0,6	0,6	74	3,5	1,5	1,7	6740	1150	1340	1440	29,0	1,0
	იგვე	10,0	5,0	0,4	67,2	4,7	2,0	10,7	6300	1130	1200	1260	40,0	3,5	
	იგვე	7,0	16,7	0,6	68,3	3,1	1,5	2,8	6130	1200	1360	1425	11,0	1,2	
ყარაბანდის აუზი	იგვე	7,5	25,0	0,8	57,0	3,4	0,9	5,4	5320	1150-1400-1500	1400-1400-1500	1400-1500	28,0	2,0	
	იგვე	26,0	17,0	0,6	41,9	2,7	0,5	11,3	3620	1000	1200	1225	40,0	10,0	
მსკოვნიძეძაბე აუზი	იგვე	33,0	23,5	1,7	1,2	29,1	2,2	0,6	8,7	2510	1350	1500	1500	45,0	8,0

კეთორის აუზი	5	11,0	24,9	1,9	0,6	47,4	3,2	1,3	9,7	4340	1050	1130	1150	39,0	6,0
უბანიის სარეკონი სანაპირო ალექსანდროს	5	53,0	14,1	0,7	1,9	21,1	1,9	0,2	7,1	1650	1050— —1450	1100— —1500	1130— —1500	60,0	10,0
დასავლეთი უბანი	5	37,0	18,9	1,2	2,4	28,2	2,3	0,4	9,6	2420	1050	1120	1150	57,0	9,0
იმერკარპატის უბანი	5	45,0	24,8	0,4	0,4	19,6	1,8	0,3	8,1	1500	1120	1280	1310	60,0	9,0
დასავლეთი ასსრ	5	46,0	10,8	0,3	0,4	30,0	2,8	0,2	9,5	2600	1120	1200	1220	63,0	7,0
ურალი:															
კიხისი	რ	5,5	29,3	3,2	1,9	50,9	3,7	0,8	4,7	4970	1150	1410	1450	44,0	1,2
"	ა	5,5	23,5	4,6	4,6	51,7	3,8	0,9	7,0	5000	1130	1410	1440	45,0	1,5
ბუთლოვის	5	28,0	21,6	0,3	0,3	34,3	2,4	0,6	12,8	2840	1150	1350	1440	48,0	11,0
ილიაბინის	5	17,0	24,9	0,7	0,5	41,8	3,0	1,0	11,1	3770	1050	1150	1220	40,0	9,0
მორშინის	ა	5,0	20,9	0,4	0,4	66,7	2,7	1,0	3,3	5880	1500	1500	1500	9,0	1,3
საკათედრო ასსრ															
ტყვარჯლის	ქიქ	10,0	34,2	1,3	0,5	44,1	3,3	0,9	5,7	4180	1450	1500	1500	40,0	1,2
ტოშლის	ტ	11,0	26,7	0,7	0,7	48,0	3,6	0,9	8,4	4470	1450	1500	1500	43,0	3,5
ახალციხის	5	20,0	38,4	0,6	0,5	28,1	2,4	0,5	9,5	2470	1200	1380	1400	49,0	11,0
მხაბეთის ასსრ															
ლენინის	5	27,0	14,6	1,3	0,8	44,4	2,6	0,4	8,9	3850	1020	1100	1150	40,0	8,0
უბანიის ასსრ	5	35,0	11,0	0,7	0,7	41,9	2,0	0,4	6,3	3450	1120	1210	1240	34,0	9,0

რაიონი და საბაღის დასახელება	მარცხენი მხარის	საობის შემადგენელი										ნაყრის დინამიკა			აქროლადნობის განხორციელებისათვის	
		W ^ა %	Δ ^ბ %	S ^გ %	C ^დ %	H ^ე %	N ^ვ %	O ^ზ %	Q ^ი კაგ/მ	t ₁ °C	t ₂ °C	t ₃ °C	V ^კ %	W ^ლ %		
		მარცხენი მხარის	მარცხენი მხარის	მარცხენი მხარის	მარცხენი მხარის	მარცხენი მხარის	მარცხენი მხარის	მარცხენი მხარის	მარცხენი მხარის	მარცხენი მხარის	მარცხენი მხარის	მარცხენი მხარის	მარცხენი მხარის	მარცხენი მხარის	მარცხენი მხარის	
ყირბიჭეთის სსრ კობლ-კობს	ბ	27,0	11,7	1,4	0,4	46,0	2,6	0,6	10,3	4000	1050	1100	1150	38,0	10,0	
სულუკთის კოკინაგვის	ბ	21,0	11,9	0,5	0,1	51,7	2,7	0,5	11,6	4400	1130	1250	1280	36,0	10,0	
ტაჯიკეთის სსრ შურაბის	ბ	26,0	12,6	0,7	0,7	46,7	2,5	0,5	11,0	3950	1120	1200	1230	35,0	11,0	
კარახეთის რსფსრ ვანკის	ბ	32,0	10,2	0,3	0,2	41,6	2,9	0,8	12,0	3570	1150	1250	1270	49,0	11,0	
ხაკასეთის ავტ. ოლქი მინუსინსკის	ბ	13,0	10,4	0,2	0,4	67,9	4,8	1,9	11,4	6340	1150	1300	1350	42,0	3,5	
ირაკუთის ოლქი ჩეჩნოვოს	ბ	14,0	21,5	0,5	0,5	50,0	3,7	1,0	8,8	4600	1130	1240	1275	43,0	4,0	

ბურიატონი და სხვა გუბერნიების	5	21,0	15,8	0,6	47,4	3,2	0,6	11,4	4240	1050	1160	1220	43,0	5,0
ჩიტას ოლქი														
ტარბაგაიტის	5	25,0	13,5	3,1	45,5	3,1	0,8	8,4	4050	1050	1200	1240	42,0	8,0
ჩერხოვის	5	33,0	7,4	0,5	44,7	3,0	0,8	10,6	3910	1050	1150	1200	45,0	11,0
არაბაჯარის	5	25,0	15,0	0,2	42,6	2,9	0,8	13,0	3720	1070	1160	1210	45,0	11,0
ბეჯანინის	5	10,0	12,0	0,6	65,6	4,4	0,9	8,5	6140	1200	1300	1350	38,0	3,0
ხაბაროვსკის მხარე														
ჩაიხინის	5	37,0	9,5	0,2	37,8	2,3	0,5	12,7	3070	1090	1210	1275	43,0	10,5
კუდინსკის	5	37,0	13,2	0,2	38,8	2,1	0,6	8,1	2840	1050	1200	1250	41,0	10,5
ზღვისპირეთის მხარე														
პრემოს	5	28,0	21,6	0,3	35,5	2,9	0,8	10,9	3120	1125	1240	1280	49,0	9,0
ტაშინის	5	14,0	21,5	0,5	47,7	3,5	1,0	11,8	4350	1175	1350	1400	45,0	8,5
ლენინგრადის ოლქი														
გდოვის	დოკლ. იბ	11,5	45,7+	0,9	19,4	2,5	0,1	3,2	1880	1250	1330	1375	80,0	0,6
კუიბისევის ოლქი		19,0	45,2+	1,4	16,0	1,9	0,3	4,5	1500	1050	1120	1140	70,0	3,0
კაშკინის			9,7*											
ტორფი	ნაკრო ფრუ- ბული	40%	6,6	0,2	30,9	3,2	1,3	17,8	2560	800— —1400	1000— —1500	1010— —1500	70,0	11,0
უგუა			5,5	0,1	25,7	2,7	1,1	14,9	2030	—	—	—	70,0	11,0
			40,0	0,6	30,3	3,6	0,4	25,1	2440	—	—	—	85,0	—
მაშუთი			3,0	0,3	85,3	10,2	0,7	93,0	—	—	—	—	—	—

*—კარგული საკვები— ნაკრო, გორე—მინერალური ნახშირბეჭ (CO₂)-ის
ტბილის უღვანის გამოყენებულა BTH—LAKTH 1957 წ. გამოთვლებული ნორმები.

მრეწველობის სხვადასხვა დარგისათვის მერქანი მეტად ძვირფასი ნედლეულია, ამიტომ სათბობად მის გამოყენებას უნდა ვერიდოთ, გარდა აუცილებელი შემთხვევებისა წარმოების ნარჩენების პირველ რიგში გამოყენებით. ხის მერქნის მარაგის მიხედვით სსრკ მთელ მსოფლიოში პირველ ადგილზეა.

სა წე ა ე თ ე ქ ა ლ ი. სათბობის ეს სახე წყალში ეცხოვრები და სიცოცხლის დასასრულს წყალსატევის ფსკერზე დაღეილი მიკროორგანიზმების გახრწნის ნაწარმია. წყალსატევის ფსკერზე ჰაერის შეუღწვევლად გახრწნისას ეს მიკროორგანიზმები ლამიან ნივთიერებას წარმოქმნიან, უჯანასკნელი ჰი მინერალურ ნაღებთან (კირქვა, თიხა და სხე) შერევისას ზედა შრეების წნევის გავლენით მყარი სათბობის ჯიშს—ფიქალს წარმოქმნის.

ფიქალი მოიპოვება ესტონეთის სსრ-ში, ვოლგისპირეთში, ლენინგრადის ოლქში და სსრკ-ის სხვა რაიონებში. ფიქალი ითვლება დაბალხარისხოვან და ნაცარუხე სათბობად. მისი ნაცარიანობა მშრალი მასის მიხედვით 75—80% აღწევს. ფიქალი შედარებით კარგად იწვის მტერისებრ მდგომარეობაში. ფიქალს აგრეთვე იყენებენ როგორც ნედლეულს საწვავი აირებისა და ქიმიური ნაწარმის მისაღებად.

ტ ო რ ფ ი. სათბობის ეს სახე წყალში მცენარეებისა და მათი ნარჩენების ჰაერის შეუღწვევლად დაჟლის შედეგია. ტორფის ამოღებას აწარმოებენ ტორფიან ქაობებიდან. ტორფის მარაგი სსრკ კავშირში მეტად დიდია.

ბუნებრივ მდგომარეობაში მყოფ ტორფს აქვს ტენიანობა დაახლოებით 90%, ამიტომ მის გაშრობას აწარმოებენ ამოღების ადგილზე.

მოპოვების ხერხის მიხედვით განასხვავებენ მანქანით დაყალიბებულ ტორფს, პილროტორფს და ფრეჯულ ტორფს.

საბჭოთა კავშირში სათბობის დაწვის ტექნიკის განვითარების საფუძველზე შესაძლებელი გახდა საქვებზე დანადგარების საცეცხლებში ეკონომიურად ტორფის დაწვა, მაშინაც კი როდესაც მისი ტენიანობა აღწევს 55—60% და უფრო მეტს.

დიდი ტენემცველობის გამო ტორფის დაწვის სითბო შედარებით მცირეა. ტორფი აგრეთვე გამოიყენება როგორც ნედლეული ქიმიური გადამუშავებისათვის.

მ უ რ ა ნ ა ხ შ ი რ ი. მურა ნახშირებს ახასიათებს მაღალი ტენიანობა, ნაცარუსეიანობა და გოგირდის მნიშვნელოვანი რაოდენობით შემცველობა, რის გამო მათ დაბალი ხარისხის სათბობს უწოდებენ. დიდი ტენემცველობის გამო მურა ნახშირები არამედვია, ჰაერზე ხანგრძლივი შენახვისათვის. ისინი იფიტებიან, კარგავენ თავის შექანიკურ სიმტკიცეს; მათი დიდი ნაწილი იშლება წვრილმანად. შედარებით დაბალი ტემპერატურების დროს მურა ნახშირი იწყებს აქროლადი ნივთიერების დიდი რაოდენობით გამოყოფას, რის გამო მისი მასა ადვილად იფანგება და იძენს ადვილად აღებადობის თვისებას.

მურა ნახშირების მარაგი სსრკ კავშირში ძლიერ დიდია. მათ დაწვას ახდენენ მტერისებრ მდგომარეობაში, განსაკუთრებით ენერგეტიკული ქვებავრეგატების საცეცხლებში.

დაბალი დაწვის სითბო, დაწვის პროცესისათვის გართულებული საცეცხლის ტექნიკის აუცილებლობა და მისი მოპოვების არახელსაყრელი პირობები ძლიერ ადიდებენ მურა ნახშირის ღირებულებას. ამიტომ სათბობის მრეწველობის დარგში აღებულია ნავთობისა და აირის მოპოვებისა და გადამუშავების უპირატესი განვითარების მტკიცე კურსი.

ქ ვ ა ნ ა ხ შ ი რ ი. ქვანახშირი წარმოადგენს ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში მიმდინარე მურა ნახშირის თანდათან დანახშირების პროცესის ნაწარმს. წიაღისეული ქვანახშირები წარმოადგენენ ორგანული წარმოშობის ნაწარმს; მათ დიდი მნიშვნელობა

აქეთ სახალხო მეურნეობისათვის, როგორც სათბობს და როგორც ნედლეულს სხვადასხვა სახის ქიმიური ნაწარმის მისაღებად.

დახშულ კამერაში ჰაერის შეუღწევლად ქვანახშირის 800—900°C ტემპერატურაზე გახურებისას მიიღება კოქსი. თუ ქვანახშირს მოვითავსებთ ჰაერშეუღწევ ღუმელებში და გაეხურებთ 550—600°C ტემპერატურამდე, მიიღება ნახევარკოქსი (უალო სათბობი), პირველადი ფისი და აირი.

ქვანახშირი სსრ კავშირში მოიპოვება დიდი რაოდენობით. სსრ კავშირს მსოფლიოში ნახშირის მარაგის მიხედვით მეორე ადგილი უკავია. ქვანახშირის დიდი მარაგით ცნობილია დონეცის, მოსკოვშიმდებარე, შუა აზიის, შორეული აღმოსავლეთისა და სხვა საბადოები.

საქართველოში — ტყიბულის, ტყვარჩელისა და ახალციხის საბადოები.

სსრკ-ში არსებული ძირითადი საბადოების ქვანახშირების საანვარიზო მახასიათებლები: მარკა და ხარისხი, ქიმიური შედგენილობა, ნაცრის დონბადობის ტემპერატურა, აქროლადობის გამოსავალი და სხვ. მოცემულია (3—3) ცხრილში.

ქვანახშირებს ძირითადი ანსხვებენ აქროლადობის გამოსავლის სიდიდით და კოქსის მახასიათებლებით. აღნიშნული მაჩვენებლები საზღვარეულ ქვანახშირის თვისებებს, როგორც სათბობისა, და მათ გამოყენებას სახალხო მეურნეობის ცალკეულ დარგებში (თბოენერგეტიკა, მეტალურგია, მრეწველობა და სხვ.).

ანთრაციტი მაღალი დაწვის სითბოს მქონეა, შეიცავს ნახშირბადის შედარებით დიდ რაოდენობას და წარმოადგენს ძვირფას სათბობს ქებაგრაგატებისათვის, აირგენერატორული დანადგარებისა და სპეციალური ლუმენებისათვის. ანთრაციტის მოპოვების დროს მიღებული ანთრაციტის ლეკლილი (LAI), სათბობის თანამედროვე დაწვის პირობებში, აგროთე რენტაბელური ხარისხის სათბობია.

ბელოვური სათბობი. ცალკეულ შემთხვევაში ბუნებრივ სათბობს აცლიან ზოგიერთ ქიმიურ შენეარტს, რითაც ამიღებენ მას და ლებულობენ ბელოვურ სათბობს მაღალი დაწვის სითბოთი (კოქსის, ბრეკეტების და სხვ. სახით).

კოქსს აშხადებენ სპეციალურ საკოქსავ ლუმელებში, რისთვისაც სათანადო ხარისხის ქვანახშირს ახურებენ ჰაერის ნაკლებობის პირობებში. უმეტეს შემთხვევაში ბრეკეტებს აშხადებენ ამოღების დროს დაგროვილი ქვანახშირის წერილმანისაგან. ნახშირის წერილმანიდან — ფხენილიდან — ბრეკეტების მიღება ხდება მასში ფისის შერევით და სპეციალურ წნეებში დაწნეებით.

თხევადი სათბობი. თხევადი სათბობი მიიღება ნავთობის, ნახშირბადისა და საწვევი ფიქალის სხვადასხვა სახით გადამუშავების შედეგად. მისი მიღება აგრეთვე შეიძლება საწვევი აირების სინთეზის საშუალებით. ბუნებრივი თხევადი სათბობი — ნავთობი — დიდი ხნის წინათ იყო ცნობილი კაობრიობისათვის, მაგრამ სამრეწველო მნიშვნელობა მან მოიპოვა მხოლოდ XIX საუკუნის შუა წლებში. ნავთობი საერთოდ, როგორც სათბობი, არ გამოიყენება; ის გამოიყენება როგორც გადამამუშავებელი ნედლეული. ნავთობის გადამამუშავების შედეგად მიიღება ძვირფასი ნაწარმი — ბენზინი, ნავთი, ლიგროინი, სხვადასხვა სახის ზეთები და სხვ.

ნავთობის გადამამუშავების ნარჩენ ნაწარმად ითვლება მახუთი, ხოლო ეს უკანასკნელი საქება დანადგარებში გამოიყენება როგორც სათბობი.

მახუთი წარმოადგენს მაღალხარისხოვან სათბობს, ის თავის შედგენილობაში თითქმის არ შეიცავს ნაცარს და ტენს. აქვს მაღალი დაწვის სითბო $Q_{\text{წ}} = 9300 - 10000$ კკალ/კგ.

მახუთი ხასიათდება ნახშირბადისა და წყალბადის მაღალი შემცველობით.

სხვადასხვა ადგილას ღეღამიწის ზედაპირიდან სხვადასხვა სიმაღლის სიღრმეებში, ბუნების მიერ შექმნილ სივრცეებში—საცაფებში დაგროვილია ძვირფასი ბუნებრივი აირები. ზოგიერთ შემთხვევაში ამ აირების წნევა აღწევს 60 ატ და უფრო მეტს.

თავის წარმოშობის მიხედვით ბუნებრივი აირები იყოფა ორ ჯგუფად: მშრალ და ცხიმოვან აირებად.

ა) მშრალი აირები მიეკუთვნებიან მინერალური წარმოშობის აირებს და დაგროვებული არიან წარსულში ან ამჟამად მოქმედი ვულკანების რაიონებში. მშრალი აირები შედგებიან თითქმის მხოლოდ მეთანისაგან და უმნიშვნელო რაოდენობის ბალასტი-საგან (აზოტი, ნახშირორჟანგი). მათი დაწვის სითბო აღწევს ($Q_{\text{წვ}}^{\text{შ}} = 7000 - 9000$ კკალ/ნ მ³).

ბ) ცხიმოვანი აირები, როგორც წესი, თავს იყრიან ღეღამიწის წიაღში ნავთობის ფენების ზევით. თავისი წარმოშობით ცხიმოვანი აირები ახლს ღვანას ნავთობთან და შეიცავენ ნახშირწყალბადებს, რომელთა კონდენსირება ადვილია. ცხიმოვანი აირები, მეთანს გარდა, შეიცავენ ნახშირწყალბადებს და ბალასტის აირების მცირე შემცველობის დროს ხასიათდებიან მაღალი დაწვის სითბოთი ($Q_{\text{წვ}}^{\text{შ}} = 8000 - 15000$ კკალ/ნ მ³).

სახალხო მეურნეობაში, ბუნებრივი აირების გარდა, დიდ გამოყენებას პოულობს ხელოვნური აირები, რომლებიც მიიღებიან მყარი სათბობების გადამუშავების შედეგად ან მრეწველობის დანადგართა ნარჩენი აირების სახით. ყველა სახის ხელოვნური აირი იყოფა ორ ჯგუფად: მდიდარ და ღარიბ აირებად; ისინი შედგებიან საწვავი აირებისაგან—სათბობის არასრული წვის ნაწარმისაგან, საბალასტო აირებისა და წყლის ორთქლისაგან.

მდიდარ აირებს მიეკუთვნებიან კოქსის, აირგენერატორის აირები და სხვ. მდიდარ აირებს აქვთ შედარებით მაღალი დაწვის სითბო ($Q_{\text{წვ}}^{\text{შ}} = 4000 - 5000$ კკალ/ნ მ³).

ღარიბი აირები ხასიათდებიან შედარებით დაბალი სითბოს დაწვის სიდიდით ($Q_{\text{წვ}}^{\text{შ}} = 900 - 1600$ კკალ/ნ მ³, აზოტისა და ($N_2 = 50 - 55\%$) სხვა არასაწვავი აირების მნიშვნელოვანი შემცველობის გამო. ღარიბ აირებს მიეკუთვნებიან ბრძმედებისა და სხვა აირები.

აირადი სათბობების უპირატესობას სხვა სახის სათბობებთან შეადგენს:

- ა) აირის წვის პროცესის მიმდინარეობა შედარებით მცირე სიდიდის ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტით;
- ბ) ქიმიურად სრული წვის პროცესის ჩატარების შესაძლებლობა;
- გ) ნაძრის უქონლობა და კვამლის აირების შედარებით სისუფთავე;
- დ) ღარიბი აირების სათბობად გამოყენების შესაძლებლობა;
- ე) წვის პროცესის რეგულირების შედარებით სიმარტივე.

II—ს. სათბობის წვის პროცესის რეაქციები

სათბობის წვა საცეცხლეში წარმოადგენს რთულ ფიზიკურ-ქიმიურ პროცესს, რომლის შედეგად ადგილი აქვს სათბობის მდგენელ საწვავ ნივთიერებათა შეერთებას დამრეანგველთან—საცეცხლეში მიწოდებულ ატმოსფერულ ჰაერში შემავალ ეანგზადთან. საქებაზე დანადგარების დაპროექტებისა და მუშაობის კონტროლის დროს აუცილებელია სათბობის დაწვისათვის საჭირო ჰაერის რაოდენობის განსაზღვრა, სათბობის წვის ნაწარმის შედგენილობისა და რაოდენობის განვარაუდება, უსრულო წვის გავლენა დაწვის

შედგად გამოყოფილ სითბოს რაოდენობაზე და სხვ. საცეცხლე აირების ფიზიკური მახასიათებლები გაანგარიშების დროს შეიძლება აღებულ იქნეს 3—4 ცხრილიდან.

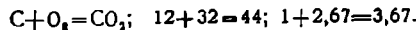
ცხრილი 3—4

საცეცხლე აირების მახასიათებლები

ა ი რ ი ს დ ა ს ა ხ ე ლ ე ბ ა	ქიმიური ფორმულა	ატომთა რაოდენობა	მოლეკულური წონა		ზედერთ. წონა ნორმალური პირობებისათვ. (0°C და 760 მმ ვ. წყ. სვ.) კგ/მ ³
			მიახლოებითი	ხუსტი	
ჰაერი	—	—	29	28,95	1,293
ჟანგბადი .	O ₂	2	32	32,0	1,429
აზოტი .	N ₂	2	28	28,016	1,251
წყალბადი	H ₂	2	2	2,016	0,0898
ნახშირბადი	CO	2	28	28,06	1,25
ნახშირორჟანგი	CO ₂	3	44	44,0	1,965
გოგირდოვანი ანჰიდრიდი	SO ₂	3	64	64,07	2,86
წყლის ორთქლი .	H ₂ O	3	18	18,016	0,804

სათბობის წვის პროცესის რეაქციები

ა) ნახშირბადის წვა ნახშირორჟანგის წარმოქმნით



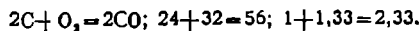
მაშასადამე, ერთი კგ ნახშირბადის დაწვისათვის საჭიროა 2,67 კგ ჟანგბადი, ხოლო თუ ჟანგბადის ხარჯს გამოვსახებთ მოცულობითი ერთეულებით, მივიღებთ

$$2,67 : 1,429 = 1,866 \text{ მ}^3.$$

რეაქციის შედეგად მიიღება ნახშირორჟანგი (CO₂) 3,67 კგ, ხოლო თუ მიღებულ სიდიდეს გამოვსახებთ მოცულობის ერთეულებით, მივიღებთ

$$3,67 : 1,965 = 1,866 \text{ მ}^3.$$

ბ) ნახშირბადის წვა ნახშირორჟანგის წარმოქმნით



მაშასადამე, 1 კგ ნახშირბადზე მოდის 1,33 კგ ჟანგბადი, ანუ მოცულობითი ერთეულზე-ბით 1,33 : 1,429 = 0,933 მ³.

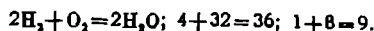
რეაქციის შედეგად მიიღება ნახშირბადი (CO) 2,33 : 1,25 = 1,867 მ³.

განხილული რეაქციების შედეგებიდან ჩანს, რომ ერთი კილოგრამი ნახშირბადის დაწვის შემთხვევაში პრაქტიკულად ერთი და იგივე რაოდენობის ნაწარმი მიიღება, როგორც სრული, ისე უსრულო წვის დროს, ე. ი. 1,866 მ³ CO₂ ან 1,867 მ³ CO.

მაშასადამე, რომ მივიღოთ მ³ ნახშირორჟანგი (CO₂) ან ნახშირბადი (CO), საჭიროა დაიწვას ერთი და იგივე რაოდენობა ნახშირბადისა, ტოლი შებრუნებული სიდიდისა, ე. ი. 1 : 1,866 = 1 : 1,867 = 0,535 კგ C.

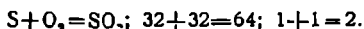
ამრიგად, 1 მ³ რაოდენობის CO₂ და CO აირების ნარევის მისაღებად აგრეთვე საჭიროა 0,535 კგ წმინდა ნახშირბადი.

გ) წყალბადის წვა წყლის ორთქლის წარმოქმნით



მაშასადამე, ერთ კგ წყალბადზე მოდის 8 კგ ენგბადი, ხოლო მოცულობითი ერთეულებით $8 : 1,429 = 5,55$ მ³ ენგბადი. წყლის ორთქლი მიიღება 9 კგ, ხოლო მოცულობითი ერთეულებით $9 : 0,804 = 11,116$ მ³ წყლის ორთქლი.

ღ) გოგირდის წვა გოგირდოვანი ანჰიდრიდის წარმოქმნით



მაშასადამე, 1 კგ გოგირდის დაწვისათვის საჭიროა 1 კგ ენგბადი, ხოლო მოცულობითი ერთეულებით $1 : 1,429 = 0,698$ მ³ ენგბადი. წვის რეაქციის შედეგად მიიღება გოგირდოვანი ანჰიდრიდი 2 კგ, ხოლო მოცულობითი ერთეულებით $2 : 2,86 = 0,699$ მ³ გოგირდოვანი ანჰიდრიდი.

1 მ³ გოგირდოვანი ანჰიდრიდის (SO₂) მისაღებად საჭიროა $1 : 0,699 = 1,43$ კგ გოგირდის დაწვა.

სათბობის დაწვისათვის საჭირო ჰაერის რაოდენობა

სათბობის წვის რეაქციებიდან განსაზღვრული იყო ენგბადის სათანადო რაოდენობა, რომელიც საჭიროა სრული წვის დროს 1 კგ ნახშირბადის, წყალბადისა და გოგირდის დაწვისათვის.

თუ ცნობილი იქნება ამ ელემენტების წონითი შედგენილობა სათბობის მუშა მასაში და, აგრეთვე, ცნობილი იქნება ენგბადის შემცველობა სათბობში, შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს ერთი კგ სათბობის დაწვისათვის თეორიულად საჭირო ენგბადის რაოდენობა შემდეგი ფორმულით

$$G_{O_2} = \frac{2,67C^3 + 8H^3 + S^3 - O^3}{100} \frac{\text{კგ ენგბადი}}{\text{კგ სათბობი}} \quad (3-11)$$

უქანასკნელ ფორმულაში C³, H³, S³ და O³ სიდიდეები აღებულია პროცენტობით წონითი შედგენილობის მიხედვით.

თბოტექნიკურ გაანგარიშებათა დროს დაშვებულია, რომ ატმოსფერული ჰაერი შედგება მხოლოდ ორი მდგენელისაგან—აზოტისა და ენგბადისაგან.

მოცულობის ან წონის მიხედვით	ენგბადი %	აზოტი %
მოცულობის	21	79
წონის	23,2	76,8

1 კგ სათბობის დაწვისათვის თეორიულად საჭირო ჰაერის რაოდენობა წონითი ერთეულებით შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$L^0 = \frac{100 \cdot G_{O_2}}{23,2} = \frac{100}{23,2} \cdot \frac{2,67C^3 + 8H^3 + S^3 - O^3}{100} \text{ კგ/კგ,}$$

საბოლოოდ

$$L^0 = 0,115 C^3 + 0,345 H^3 + 0,043 (S^3 - O^3), \text{ კგ/კგ.} \quad (3-12)$$

ჰაერის თეორიული ხარჯი მოცულობითი ერთეულებით შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი ტოლობით.

$$V^0 = \frac{L^0}{\gamma_j} \text{ მ}^3/\text{კგ,}$$

სადაც γ_j არის ატმოსფერული ჰაერის ხვედრითი წონა ნორმალური პირობებისათვის ($\gamma_j = 1,293$ კგ/მ³).

თუ უკანასკნელ ფორმულაში შევიტანთ სათანადო მნიშვნელობებს, მივიღებთ

$$V'' = 0,0889 \cdot C^3 + 0,265 H^3 + 0,0333 (S^3 - O^3) \text{ ნ მ}^3/\text{კგ},$$

ან საბოლოოდ

$$V'' = 0,0889 (C_3 + 0,375 S_3) + 0,265 H_3 - 0,0333 O^3 \text{ ნ მ}^3/\text{კგ}. \quad (3-13)$$

თეორიულად საჭირო რაოდენობაზე მეტი ან ნაკლები ჰაერის პირობებში სათბობის დაწვისას წვის ტემპერატურა მცირდება. პირველ შემთხვევაში ეს მოვლენა გამოწვეულია ჰარბი ჰაერით გაკიევისასგან, ხოლო მეორეში—ქიმიურად უსრულო წვის გამო CO-ს წარმოქმნისაგან.

სინამდვილეში სათბობის წვის დროს საჭიროა საცეცხლეში თეორიულ რაოდენობაზე მეტი ჰაერის მიწოდება, რადგან ჰაერში მყოფი ჟანგბადის ყველა ნაწილაკი წვის დროს ვერ ეხება სათბობის საწვავი ელემენტების ნაწილაკებს მთლიანად და მიწოდებული ჰაერის ნაწილი წვის პროცესში მონაწილეობას არ ღებულობს.

საცეცხლეში ნამდვილად მიწოდებული ჰაერისა (V_5) და თეორიულად საჭირო ჰაერის (V'') რაოდენობათა ფარდობას ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტი ეწოდება და აღინიშნება α ასოთი. მაშასადამე,

$$V_5 > V'' \text{ და } \alpha = \frac{V_5}{V''} > 1.$$

1 კგ სათბობის დასაწვავად საჭირო ჰაერის ნამდვილი რაოდენობა, რომელიც გამოსასულია შოცულობითი ერთეულებით, განისაზღვრება ტოლობით

$$V_5 = \alpha_{\text{აა}} V'' \text{ ნ მ}^3/\text{კგ}.$$

ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის სიდიდე ძირითადად დამოკიდებულია სათბობის სახესა და საცეცხლეს კონსტრუქციაზე და იღება ზღვრებში

$$\alpha_{\text{აა}} = 1,1 \div 1,5 \text{ და მეტი.}$$

მოქმედი ქვაბაგრევატის საცეცხლეში სათბობის წვის პროცესის კონტროლისათვის და არაზუსტი გაანგარიშების დროს ჰაერის ნამდვილი ხარჯის განსაზღვრისათვის შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს სრულიად საკავშირო თბოტექნიკური ინსტიტუტის (БТИ) მიხაზოებითი ფორმულა

$$V_5 = a_0 \cdot \frac{Q_{\text{თვ}}^3 + 6 W^3}{1000} \cdot \alpha \text{ ნ მ}^3/\text{კგ}, \quad (3-14)$$

სადაც a_0 არის კოეფიციენტი, რომელიც იღება: შეშისათვის—1,05, ტორფისა და მურანანზირებისათვის 1,08, ქვანახშირებისათვის—1,09, მკლე ნახშირებისათვის, ანთრაციტებისათვის და მახუთისათვის—1,10;

α —ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტი;

$Q_{\text{თვ}}^3$ —სათბობის მუშა უდაბლესი დაწვის სითბო, კკალ/კგ;

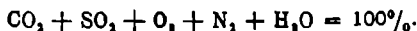
W^3 —სათბობის ტენიანობა %-ით;

$6 W^3$ —სითბოს რაოდენობა, რომელიც იხარჯება 1 კგ სათბობის დაწვის შედეგად მიღებული ტენის ორთქლადქცევაზე, კკალ/კგ.

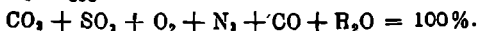
სათბობის წვის აირადი ნაწარმის შედგენილობა და რაოდენობა

სათბობის წვის ნაწარმი ზოგად შემთხვევაში შედგება აირადი და მყარი ნივთიერებისაგან. აირადი ნაწარმი წარმოდგენილი უნდა იქნეს საცეცხლეს აირების სახით, ხოლო მყარი ნაწარმი კი—ნაცრისა და წილის სახით. საცეცხლე აირების შედგენილობა

დამოკიდებულია სათბობის წვის პროცესის სრულყოფაზე. სათბობის სრულ წვის პროცესის დროს საცეცხლე აირები შეიცავენ სრული წვის ნაწარმს. მაშასადამე, სათბობის სრული წვის შემთხვევაში საცეცხლე აირების შედგენილობისათვის შეიძლება დაიწეროს განტოლება



ხოლო უსრულ წვის შემთხვევაში



უქანასენელი განტოლება დაწერილია იმ შემთხვევისათვის, როდესაც უსრულ წვის ნაწარმიდან მხედველობაში ვიღებთ მხოლოდ ნახშირბადს (CO), ხოლო დანარჩენს მათი შედარებით სინციის გამო უგულვებელყოფთ.

ამგვარად, ერთი კილოგრამი სათბობის უსრულ წვის შედეგად მიღებული აიროვანი ნაწარმის სრული მოცულობა განისაზღვრება ტოლობით:

$$V_a = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{O}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{CO}} + V_{\text{H}_2\text{O}} \text{ მ}^3/\text{კგ}. \quad (3-15)$$

საცეცხლე აირების სრული მოცულობა საერთოდ წარმოადგენს მშრალი აირების $V_{\text{შ.ა}}$ და წყლის ორთქლის $V_{\text{წყ.ო}}$ მოცულობათა ჯამს:

$$V_a = V_{\text{შ.ა}} + V_{\text{წყ.ო}} \text{ მ}^3/\text{კგ}. \quad (3-16)$$

მშრალ აირებს მიეკუთვნება: ნახშირორბენგი, ნახშირბადი, გოგირდოვანი ანჰიდრიდი, კარბი ეთანბადი და აზოტი, მაშასადამე.

$$V_{\text{შ.ა}} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{O}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{CO}} \text{ მ}^3/\text{კგ}.$$

უქანასენელი განტოლება სრული წვის შემთხვევაში მიიღებს სახეს

$$V_{\text{შ.ა}} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{O}_2} + V_{\text{N}_2} \text{ მ}^3/\text{კგ}. \quad (3-17)$$

სათბობის წვის აიროვანი ნაწარმის მშრალი აირების მოცულობა თავისთავად შეიძლება წარმოადგენილ იქნეს, როგორც შეჯამებული მოცულობა სამ- და ორატომიანი აირების მოცულობებისა

$$V_{\text{შ.ა}} = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{R}_2} \text{ მ}^3/\text{კგ},$$

სადაც $V_{\text{RO}_2} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2}$ მ³/კგ ან %-ბით $\text{RO}_2 = \text{CO}_2 + \text{SO}_2$ %,

$V_{\text{R}_2} = V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2}$ მ³/კგ ან %-ბით $\text{R}_2 = \text{N}_2 + \text{O}_2$ %.

(3-16) განტოლებაში წყლის ორთქლის მოცულობა $V_{\text{წყ.ო}}$ განისაზღვრება შემდეგი ტოლობით:

$$V_{\text{წყ.ო}} = V_{\text{H}_2}^{\text{H}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{W}} + V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{J}} \text{ მ}^3/\text{კგ}. \quad (3-18)$$

V_{RO_2} , V_{R_2} და $V_{\text{წყ.ო}}$ მოცულობები განისაზღვრება წვის რეაქტიების განტოლებებიდან.

ვინაიდან 1 მ³ ნახშირბადის მისაღებად საჭიროა დაიწვას დაახლოებით ნახშირბადის იგივე რაოდენობა, რამდენიც საჭიროა 1 მ³ ნახშირორბენგის მისაღებად, V_{RO_2} მ³/კგ განავარიშებას ჩვეულებრივად ახდენენ ნახშირორბენგის მიხედვით:

$$V_{\text{CO}_2} = 1,866 \frac{\text{C}^{\text{გ}}}{100} = 0,01866 \text{ C}^{\text{გ}} \text{ მ}^3/\text{კგ}. \quad (3-19)$$

გოგირდოვანი ანჰიდრიდის მოცულობა განავარიშება ფორმულით

$$V_{\text{SO}_2} = 0,699 \frac{\text{S}^{\text{გ}}}{100} = 0,00699 \text{ S}^{\text{გ}} \text{ მ}^3/\text{კგ}. \quad (3-20)$$

როგორც აღნიშნული იყო, სამატომიანი აირების მოცულობა

$$V_{RO_2}^0 = V_{CO_2} + V_{SO_2} = 0,01866 \text{ C}^3 + 0,006995 \text{ S}^3.$$

აქედან

$$V_{RO_2} = 0,01866 (\text{C}^3 + 0,375 \text{ S}^3) \text{ ნ მ}^3/\text{კგ}. \quad (3-21)$$

მაშასადამე, სამატომიანი აირების მოცულობა არ არის დამოკიდებული ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტზე. თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას $K^3 = (\text{C}^3 + 0,375 \text{ S}^3)$, მაშინ ფორმულა (3-21) შეიძლება დაიწეროს შემდეგი სახით:

$$V_{RO_2} = 1,866 \frac{K^3}{100} \text{ ნ მ}^3/\text{კგ}. \quad (3-22)$$

ორატომიანი აირების V_{R_2} და წყლის ორთქლის $V_{\text{წყ.ო}}$ მოცულობების გაანგარიშებისას განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც საცეცხლეში ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტი $\alpha_{\text{სა.ო}} = 1$. მაშინ ორატომიანი აირების თეორიული მოცულობა შეიძლება გამოისახოს სათბობის წვისათვის საჭირო V_o ნ მ³/კგ ჰაერის თეორიული ხარჯის საშუალებით.

$$V_{R_2}^0 = V_{N_2}^{\text{ჰაერ}} + V_{N_2}^{\text{საბ}} \text{ ნ მ}^3/\text{კგ}.$$

წყის დროს სათბობიდან გამოყოფილი აზოტის მოცულობა გაიანგარიშება ფორმულით:

$$V_{N_2}^{\text{საბ}} = \frac{N_2^3}{100 \cdot \tau_{N_2}} = \frac{N_2^3}{100 \cdot 1,25} = 0,008 \text{ N}^3 \text{ ნ მ}^3/\text{კგ},$$

მაგრამ სიმციროს გამო ამ სიდიდეს გაანგარიშებისას ჩვეულებრივად მხედველობაში არ მიიღებენ. მაშინ

$$V_{R_2}^0 = V_{N_2}^{\text{ჰაერ}} = 0,79 \text{ V}^0 \text{ ნ მ}^3/\text{კგ}. \quad (3-23)$$

წყლის ორთქლის თეორიული მოცულობა გაიანგარიშება ფორმულით:

$$V_{H_2O}^0 = 0,1116 \cdot H^3 + 0,0124 \cdot W^3 + 0,0161 \text{ V}^0 \text{ ნ მ}^3/\text{კგ}. \quad (3-24)$$

ორთქლით ბერვისას ან ორთქლით მაზუტის გაფრქვევისას $V_{H_2O}^0$ სიდიდემი შეტანილი უნდა იქნეს წვერი $1,24 \cdot G_{\text{მ}}$, სადაც $G_{\text{მ}}$ კგ/კგ, არის ორთქლის ხარჯი ფრქვევანაზე.

სათბობის წვის აიროვანი ნაწარმის შეჯამებული თეორიული მოცულობა გაიანგარიშება ფორმულით:

$$V_a^0 = V_{RO_2}^0 + V_{N_2}^0 + V_{H_2O}^0 = V_{\text{სა.ო}}^0 + V_{H_2O}^0 \text{ ნ მ}^3/\text{კგ}. \quad (3-25)$$

როდესაც ვიღებთ პრაქტიკაში არსებულ შემთხვევას, ე. ი. როდესაც ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის სიდიდე საცეცხლეში ერთზე მეტია ($\alpha_{\text{სა.ო}} > 1$), მაშინ გაანგარიშებას აწარმოებენ შემდეგი ფორმულებით:

წყლის ორთქლის მოცულობა

$$V_{\text{წყ.ო}} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 (\alpha_{\text{სა.ო}} - 1) \text{ V}^0 \text{ ნ მ}^3/\text{კგ}. \quad (3-26)$$

კვამლის აირების სრული მოცულობა

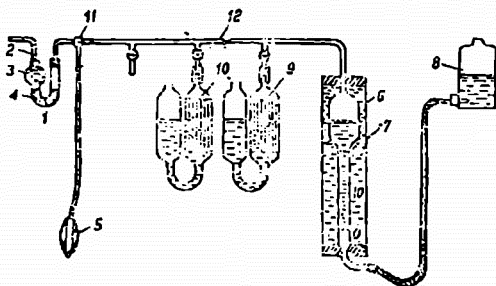
$$V_a = V_{RO_2} + V_{R_2} + V_{\text{წყ.ო}} + (\alpha_{\text{სა.ო}} - 1) \cdot \text{V}^0 \text{ ნ მ}^3/\text{კგ}. \quad (3-27)$$

სამატომიანი აირების მოცულობითი ნაწილები, რომლებიც ტოლია აირების პარციალური წნეებისა სავსე 1 ატმ წნევის დროს ვაინაგარიზება ფორმულებით:

$$r_{RO_2} = \frac{F_{RO_2}}{F_{\Sigma}}; \quad r_{\Sigma} = \frac{V_{\Sigma} \cdot \rho}{V_0}$$

სათბობის წვის აიროვან ნაწარმის შედგენილობა და რაოდენობა შეიძლება განისაზღვროს აირების მოცულობითი ანალიზის მონაცემების მიხედვით. წვის ნაწარმის შედგენილობა მოქმედ ქვაბაგრატივებში ისაზღვრება სპეციალური ხელსაწყოებით — აირანალიზატორებით. მოქმედების პრინციპის მიხედვით აირანალიზატორები იყოფა ორ ჯგუფად.

პირველი ჯგუფის აირანალიზატორები ემყარებიან ქიმიური რეაქტივების მიერ წვის აირადი ნაწარმის ცალკეული მდგენელი აირების შთანთქმის პრინციპს. ასეთი აირანალიზატორები არსებობენ როგორც ავტომატური, ისე ხელით მომსახურებით. სელით მომსახურების მარტივ აირანალიზატორს წარმოადგენს ორსას* (ნაკ. 3—4) ხელსაწყო. ორსას



ნაკ. 3—4. ორსას (OPCA) აირანალიზატორი.

1—უკვანძო; 2—კვანძის აირების სიწვის ასაღები მილი; 3—მფილტრავი ხაზა; 4—წყლის წამოქოტი; 5—არქაიის ბუხტი; 6—საზომი მიწვეტი; 7—გამათკიცებელი ცილინდი; 8—ვარჯიშის ზედაპირი; 9—შთანთქმელი მწკავე კალიუმის სხნარი; 10—შთანთქმელი მწკავე კალიუმის და პიროჯალილის სხნარი.

წვის აიროვანი ნაწარმის სრული ანალიზისათვის, RO_2 -ისა და O_2 -ის გარდა, უსრულლო წვის ნაწარმის CO , H_2 და სხვ. განსაზღვრისათვის გამოიყენება უფრო რთული ხელსაწყოები, როგორცაა ნორვის, სრულიად საკავშირო თბოტექნიკური ინსტიტუტის (ВТИ) და სხვ. აირანალიზატორები. ასეთ აირანალიზატორებში შთანთქმის მეთოდთან ერთად გამოიყენებულა უსრულლო წვის ნაწარმის შემდგომ დაწვის პროცესის ჩატარება.

მეორე ჯგუფის აირანალიზატორები ემყარებიან აირებისა და ჰაერის ფიზიკური თვისებების შედარების პრინციპს. ფართო გავრცელება მოიპოვეს ელექტრულმა აირანალიზატორებმა ჰაერის სიჭარბის კონტროლისათვის CO_2 -ის შემცველობის მიხედვით. ასეთ ხელსაწყოებში გამოიყენებულა ჰაერისა და CO_2 -ის სითბოგამტარობის შედარების პრინციპი. უკანასკნელ დროს გამოიყენება პოულობის აირანალიზატორი ეანებადზე, რომლის მუშაობის პრინციპი ემყარება აირების მაგნიტური თვისებების სხვაობაზე.

ელექტრული და მაგნიტური აირანალიზატორები მოქმედებენ ავტომატურად და მომარაგებული არიან როგორც მაჩვენებელი, ისე სარეგისტრაციო ხელსაწყოებით. ისინი წარმოადგენენ საექსპლუატაციო ხელსაწყოებს და ქვაბაგრატივის მუშაობაზე განუწყ-

* ორსას აირანალიზატორის გამოყენების შესახებ უფრო დეტალურად იხილეთ: В. Р. Вильямс. „Топливо, смазочные материалы и вода“, Сельхозгиз, 1951 г.

ყვეტლივ კონტროლის წარმოების საშუალებას იძლევიან. ორსას ხელის აირანალიზატორი და БТН-ს, ნორზეს და სხვ. ლაბორატორიული აპარატები იძლევიან უფრო ზუსტ შედეგებს, რის გამო მათ იყენებენ ავტომატური ხელსაწყოების გასასიხჯავად და ქვაბარეგატების თბოტექნიკური გამოცდის დროს.

ქვამლის აირების აირანალიზატორებით მოცულობითი ანალიზის დროს, აირის აღებულ სინჯში წყლის ორთქლი კონდენსირდება და ამიტომ მოცულობითი ანალიზი მხოლოდ მშრალი აირების შედგენილობას იძლევა.

უსრული წვის შემთხვევისათვის ქვამლის აირებში მშრალი აირების შეჯამებული მოცულობა განისაზღვრება ფორმულით

$$V_{\text{შ.ა}} = \frac{1,866 (C^3 + 0,375 \cdot S^3)}{RO_2 + CO} = 1,866 \frac{K^3}{RO_2 + CO} \text{ ნ მ}^3/\text{კგ} \quad (3-28)$$

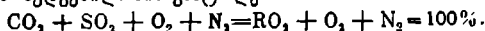
ხოლო სრული წვის შემთხვევაში

$$V_{\text{შ.ა}} = 1,866 \frac{K^3}{R(O_2)} \text{ ნ მ}^3/\text{კგ} \quad (3-29)$$

საცეცხლეს აირებში ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის (α) განსაზღვრა

სათბობის ქიმიურად სრული წვისას ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის (α) განსაზღვრა ხდება საცეცხლეს აირების მოცულობითი ანალიზის საფუძველზე შემდეგი მისაზრებით.

მშრალი აირების შედგენილობის განტოლებაში



ატმოსფერული ჰაერის* N_2 აზოტის მოცულობა, რომელსაც არ მიუღია მონაწილეობა წვის პროცესში, შეიძლება პირობით დაიყოს ორ მოცულობად:

ა) სათბობის დასაწყევად საჭირო ატმოსფერული ჰაერის N_2' აზოტის მოცულობად, როდესაც $\alpha = 1$ და

ბ) ატმოსფერული ჰაერის N_2'' აზოტის მოცულობად, რომელსაც შეიცავს ჰაერი და შეესაბამება საცეცხლეს აირებში არსებულ ჰაერ ეანგბადს O_2 -ს. აღნიშნულის შედეგად შეგვიძლია დავწეროთ, რომ

$$N_2 = N_2' + N_2''.$$

ცხადია, რომ ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტი ტოლი იქნება

$$\alpha = \frac{N_2}{N_2'} = \frac{N_2}{N_2 - N_2''}.$$

ატმოსფერულ ჰაერში აზოტისა და ეანგბადის მოცულობითი შემცველობის საფუძველზე ჰაერი ჰაერისათვის შეიძლება დაიწეროს

$$\frac{N_2''}{O_2} = \frac{79}{21} \text{ აქედან } N_2'' = \frac{79}{21} O_2.$$

მაშასადამე,

$$\alpha = \frac{N_2}{N_2 - \frac{79}{21} O_2} = \frac{1}{1 - \frac{79}{21} \frac{O_2}{N_2}},$$

მაგრამ, ვინაიდან $N_2 = 100 - (RO_2 + O_2)$, ვღებულობთ

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{79}{21} \cdot \frac{O_2}{[100 - (RO_2 + O_2)]}} \quad (3-30)$$

* მყარი და თხევადი სათბობების დაწვისას თვით სათბობში შემაკლ აზოტს მხედველობაში არ ვღებულობთ.

უკანასკნელ განტოლებიდან ჩანს, რომ სათბობის სრული დაწვისას საცეცხლეს აირებში ჰაერის სიჭარბის (α) კოეფიციენტი და RO_2 -ის სიდიდეები ურთიერთშეკვე-
ულ დამოკიდებულებაში არიან.

მთელი რიგი გარდაქმნების შედეგად, რომელნიც აქ არ მოგვყავს, შეიძლება დაი-
წეროს, რომ

$$RO_2 = \frac{21 - O_2}{1 + \beta} \% , \quad (3-31)$$

სადაც β არის სათბობის მახასიათებელი სიდიდე, რომელიც დამოკიდებულია მხოლოდ
სათბობის შედგენილობაზე და ისახლდება შემდეგი ფორმულით:

$$\beta = 2,37 \frac{H^2 - 0,126 \cdot O^2}{C^2 + 0,375 S^2} . \quad (3-32)$$

(3-31) განტოლებიდან ჩანს, რომ სიდიდე RO_2 აღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშ-
ვნელობას მაშინ, როდესაც ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტი $\alpha=1$, რადგან ამ შემთხვე-
ვაში $O_2=0$, ე. ი.

$$(RO_2)_{max} = \frac{21}{1 + \beta} \% . \quad (3-33)$$

მყარი და თხევადი სათბობების დაწვის შემთხვევაში $(RO_2)_{max}$ სიდიდე ყოველთვის
ნაკლებია 21%-ზე, ვინაიდან ამ სახის სათბობებისათვის ყოველთვის $\beta > 0$.

თუ სათბობის დაწვის ნაწარმი შეიცავს ქიმიურად უსრულო წვის აირს CO-ს, მა-
შინ ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტი გაიანგარიშება ფორმულით:

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{79}{21} \cdot \frac{O_2 - 0,5 \cdot CO}{[100 - (RO_2 + O_2) - CO]}} \quad (3-34)$$

საცეცხლეს აირებში ნახშირბადის არსებობა შეიძლება პირდაპირ განისაზღვროს
სპეციალური აირანალიზატორების საშუალებით (სრულიად საკავშირო თბოტექნიკური
ინსტიტუტის „БТИ“ და სხვ.) ან შემდეგი ფორმულით:

$$CO = \frac{21 - \beta \cdot RO_2 - (RO_2 + O_2)}{0,605 + \beta} . \quad (3-35)$$

ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტი (α) არის ქვაბაგრევატის საცეცხლეში სათბობის
წვის პროცესის სრულყოფის ერთ-ერთი მთავარი მახასიათებელი სიდიდე. მიახლოებითი
განგარიშების დროს მისი სიდიდის განსაზღვრისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ შემდე-
გი ფორმულა:

$$\alpha = \frac{(RO_2)_{max}}{RO_2} . \quad (3-36)$$

თ ა ვ ი 3-3

ქვაბაგრევატისათვის საკმეზი წყლის მომზადება

3-6. ზომადი ცნებანი და წყლის გამოყენება ორბრძალურ დანადგარებში

მზის სხივების მოქმედების შედეგად ოქვანების, ზღვების, ტბების, მდინარეებისა და
სხვა ზედაპირებიდან დღილი აქვს წყლის ე. წ. თავისუფალ აორთქლების პროცესს. აღნიშნუ-
ლი ზედაპირებიდან თავისუფალი აორთქლების შედეგად მიღებული წყლის ორთქლი აღის

და შეერევა ზედა ატმოსფერულ შრეებს, შემდგომ დროთა განმავლობაში ვანიცლის კონდენსაციას, იქცევა წვეთებად და ისევ ეცემა დედამიწაზე წვიმის, თოვლის ან სხვა სახით. წვიმა, თოვლი და სხვ. თხევად მდგომარეობაში მყოფი ნაწილობრივად შთანთქმება ნიადაგის მიერ და წარმოიქმნება ქვენიადაგის წყლები, ხოლო დანარჩენი კი—ნი ადაგის ზედაპირზე დინებით შეემატება ოკეანეებს, ზღვებს, ტბებსა და, აგრეთვე, წარმოქმნიან დროებითი სახის წყლის ნაკადებსა და ბუნებრივ წყალსაცავებს.

ნიადაგის ზედაპირზე მყოფი და ქვენიადაგის წყლები შეიცავენ მექანიკურ და ქიმიურ მინარევებს და გახსნილ აირებს. წყალი კი საქვებზე აგრეგატებში გამოიყენება წყლის ორთქლის მისაღებად. იდეალურ საკვებ წყლად უნდა ჩაითვალოს გამოხდილი და აირებისაგან თავისუფალი წყალი. წყალს ტექნოლოგიური პროცესის ჯაჭვის სხვადასხვა უბანში აქვს სხვადასხვა დასახელება:

საწყისი ანუ უში წყალი ეწოდება ბუნებრივ წყალს, რომელიც მიიღება წყალმომარაგების წყაროებიდან (მდინარეები, ტბები, კვები და სხვ.) და გამოიყენება წყალმომზადებისათვის.

საკვები წყალი ეწოდება ისეთ წყალს, რომელიც გამოიყენება ორთქლის ქვების, აძორთქლებლის და სხვ. დანადგართა კვებისათვის.

დამატებითი წყალი ეწოდება ისეთ წყალს, რომელიც გამოიყენება ორთქლალურ დანადგარებში დანაკარგების (კონდენსატის ნაწილის, საქრევი წყლის და სხვ.) შესავსებად.

დამატებით წყლად თბოელექტროსადგურებში ყველაზე ხშირად გამოიყენება წინასწარ ქიმიურად გაწმენდილი უში წყალი. ასეთ წყალს უწოდებენ ქიმიურად გაწმენდილ წყალს.

საკონდენსაციო თბოელექტროსადგურებში დამატებით წყლად კონდენსატის შესავსებად ხშირად გამოიყენება დისტილატი—გამონახადი წყალი.

დისტილატი ეწოდება გამონახად წყალს, რომელიც მიიღება თბოგადამცემებში ამორთქლებლებში მიღებული ორთქლის კონდენსაციით; აღნიშნულ მოწყობილობებში წყლის აორთქლება ხორციელდება ორთქლის ტურბინის გარკვეულ საფეხურში ართმეული ნაწილობრივად ნაშუშვარი ორთქლით.

ქვების წყალი ეწოდება ისეთ წყალს, რომელიც იმყოფება ქვებში და სითბოს მიწოდებით აორთქლდება.

როგორც აღნიშნული იყო, ორთქლის ქვებში არსებული წყალი საცეცხლე აირების სითბოს ხარჯზე ვანიცლის ორთქლადქცევის პროცესს, ხოლო მიღებული წყლის ორთქლი კი მიეწოდება ორთქლის მომხმარებლებს, წყლის ორთქლადქცევის პროცესში ხდება სხვადასხვა ნივთიერების გამოყოფა ნალექისა და მინაღულის სახით.

მინარევების შემცველობის რაოდენობის მიხედვით არჩევენ რბილ და ხისტ წყალს. საკვები წყლის ვარგისიანობის განსაზღვრისათვის არკვევენ მისი სიხისტის ხარისხს, ე. ი. საზღვრავენ* მასში კალციუმისა და მაგნიუმის მარილების შემცველობას, რისთვისაც შემოღებულია ზომის ერთეული—სიხისტის გრადუსი. სხვადასხვა ქვეყანაში სიხისტის სკალა სხვადასხვაა.

სსრკ 1952 წლამდე წყლის სიხისტის საზომ ერთეულად იყენებდნენ ე. წ. გერმანულ გრადუსს, რომელიც შეესაბამება 10 მგ CaO (კალციუმის ტანგის) ან 7,19 მგ MgO (მაგნიუმის ტანგის) შემცველობის ერთ ლიტრ წყალში.

თანახმად FOC¹ 6055—51 (დამტკიცებულია 18 XII 1951 წ.) შემოღებულია საქვები წყლის სიხისტის ახალი საზომი ერთეული მილიგრამ-ეკვივალენტი ერთ ლიტრზე (მგ ეკვ/ლ) მაღალი სიხისტის დროს, ხოლო მიკროგრამ-ეკვივალენტი (მკგ ეკვ/ლ)—დაბა-

* საკვები წყლის მომზადების საკითხების უფრო დეტალური შესწავლისათვის გამოიყენებული უნდა იქნეს საცეცხლური ლიტერატურა ამ დარგში.

ლი სიხისტების დროს. სიხისტის ასალი საზომი ერთეული თითქმის 2,8-ჯერ მეტია სიხისტის ძველ საზომ ერთეულზე, ე. ი. გერმანულ გრადუსზე.

3-7. შინაღულის წარმოქმნა

წყალში გახსნილ ქიმიურ შენაერთებს წარმოადგენენ ევრთე წოდებული შინაღულის წარმოქმნელები, ე. ი. უმთავრესად კალციუმისა და მაგნიუმის მარილები. უკანასკნელნი წყლის აორთქლების დროს, გოგირდმეფავა კალციუმის (თაბაშირის) $CaSO_4$, ნახშირმეფავა კალციუმისა $CaCO_3$ და ნახშირმეფავა მაგნიუმის $MgCO_3$ გამოყოფით, ორთქლის ქვაბის კედლებზე მყარ კრისტალურ ნალექებს ანუ ქვაბის შინაღულს წარმოქმნიან.

როგორც შექანიკური შინარევის ნალექი (ჭუჭუყი), ისე ქიმიური შინარევის ნალექი (შინაღული) ქვაბის მუშაობის რეჟიმზე მეტად თუ ნაკლებად მაგნე ვაგლენას ახდენს. პირველი ის, რომ შინაღული, რომელსაც ცუდი სითბოგამტარობა აქვს, წყალს ქვაბის კედლებიდან განაცალკევებს და ამ ადგილას ლითონის გადახურებას ხელს უწყობს.

ცნობილია, რომ ლითონი თავის წინაღობას ვაგლენისადმი გახურების განსაზღვრულ ტემპერატურამდე ინარჩუნებს. ლითონის ძლიერი გადახურება გამოიწვევს მიღების გაღუნვას და გადაწყვას, ქვაბის დოლის კედლის ამობურცვასა და გამაბურცვას. მეორე ის, რომ შინაღულის ცუდი სითბოგამტარობის შედეგად, ქვაბის წყლის ორთქლადქცევა ძნელდება და სათბობის გადახარჯვას იწვევს.

დასასრულ, ქვაბის შინაღულისაგან გასუფთავება ზედმეტ ხარჯებს იწვევს. ამის გამო საჭირო ხდება წყლის გაწმენდა ქვაბში მიწოდებამდე.

3-8. ორთქლის ძვების გაქრება

დოლიანი ტიპის ორთქლის ქვაბებში მაქსიმალურად სუფთა ტენიანი ნაჯერი ორთქლის მისაღებად ბრძოლა ხორციელდება როგორც ორთქლს ტენიანობის შემცირებით, ისე ქვაბის წყლის გამაქუჭყიანებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციის შემცირებით. პირველი ამოცანა ხორციელდება ორთქლის ქვაბებში სპეციალური ორთქლის მასეპარირებელი მოწყობილობის გამოყენებით ორთქლის ტენიანობის შემცირებისათვის, ხოლო მეორე ამოცანა ხორციელდება ორთქლის ქვაბის პერიოდული ან განუწყვეტელი გაქრევით. ორთქლის ქვაბის გაქრევის დროს ადგილი აქვს ქვაბის წყლის ნაწილის არინებას და არინებული წყლის შეცვლას უფრო ნაკლებად გაქუჭყიანებული საკვები წყლით. ქვაბის წყალში გამაქუჭყიანებელ ნივთიერებათა რაოდენობა ყველა სხვა თანაბარ პირობებში მით ნაკლებია, რაც უფრო მეტია გაქრევის ხარისხი.

გაქრევის ხარისხი ეწოდება გაქრეული წყლის რაოდენობის შეფარდებას ქვაბის ორთქლმწარმოებლობასთან დროის განსაზღვრულ მონაკვეთში, უმეტესად საათის განმავლობაში. გაქრევის ხარისხს გამოსახავენ ერთეულის ნაწილებით ან პროცენტობით.

თუ ორთქლის ქვაბის გაქრევის ხარისხს ერთეულ ნაწილებში გამოვსახავთ ფით და საათურ ორთქლმწარმოებლობას D -ით, მაშინ საკვები წყლის საათური ხარჯი ტოლი იქნება $D(1 + \varphi)$, ხოლო გაქრეული წყლის რაოდენობა ტოლი იქნება $\varphi \cdot D$ -ის.

3-9. საკვები წყლის ბალანსი

ორთქლძალური დანადგარის წყლის ბალანსი ძირითადად ისაზღვრება მისი ტიპით (საკონდენსაციო ელექტროსადგური, თბოელექტროცენტრალი, ცენტრალური საქვაბე) და ორთქლის მომხმარებელთა სახესხვაობით.

ნაკ. 3-5-ზე ნაჩვენებია თბოსადგურის საშუალო წნევის ორთქლის ქვაბის საკვები წყლის ბალანსის გრაფიკული გამოსახულება.

წყლის ბალანსის შემადგენელი ნაწილი— დამატებითი წყალი საჭიროა კონდენსატისა და ორთქლძალური დანადგარის-სისტემაში ორთქლის დანაკარგების შესავსებად; მისი რაოდენობა დამოკიდებულია ორთქლის გარე მომხმარებლების მიერ დაბრუნებული კონდენსატის რაოდენობაზე და თვით თბოსადგურში კონდენსატისა და ორთქლის დანაკარგებზე.

საკონდენსაციო თბოელექტროსადგურებში კონდენსატის დანაკარგი უნნიშვნელოა და დამატებითი წყლის ხარჯი არ აღწევს 1—5%-ს წყლის საერთო ხარჯიდან.

სამრეწველო თბოელექტროცენტრალებში, რომლებიც ორთქლის გაცემას აწარმოებენ როგორც გათბობის, ისე ტექნოლოგიური მიზნებისათვის, დაუბრუნებელი კონდენსატის რაოდენობა ტექნოლოგიური მიზნებისათვის გაცილებილი ორთქლის რაოდენობის 90%-მდე აღწევს ან შესაბამისად 40—50%-ს და უფრო მეტს ორთქლის ქვაბების მიერ გამომუშავებული ორთქლის მთელი რაოდენობიდან. ვინაიდან საწყისი ანუ უში წყალი შეიცავს მთელ რიგ მექანიკურ და ქიმიურ მინარევებს, საჭირო ხდება ორთქლის ქვაბის საკვები წყლით შესავსებად დამატებითი წყლის მომზადება, ე. ი. სათანადო მეთოდით გაწმენდა.

3—10. კონდენსატის დანაკარგის შემცირების ხარისხი

დამატებითი წყლის მომზადება კონდენსატის დანაკარგის შესავსებად უნდა განხორციელდეს საწყისი ანუ უში წყლის ქიმიური და თერმული გაწმენდის სხვადასხვა ხერხით.

დამატებითი წყლის მომზადების ესა თუ ის სქემა, ე. ი. უში წყლის გაწმენდის რომელიმე ხერხის გამოყენება დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, როგორცაა: უში წყლის ხარისხი, საკვები და ქვაბის წყლის ნორმები, გამომუშავებული ორთქლის პარამეტრები, დამატებითი წყლის წილი საკვები წყლის მთელ ბალანსში და სხვ.

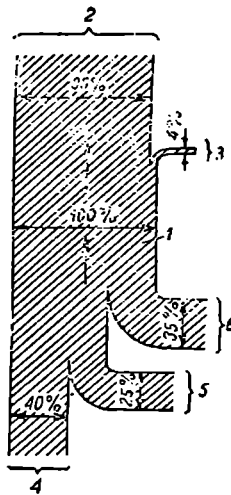
დამატებითი წყლის მომზადებისას წინასწარ ახდენენ საწყისი ანუ უში წყლის პირველად დამუშავებას და შემდგომ ატარებენ წყლის ქიმიურ ან თერმულ დამუშავებას დანადგარებში.

კონდენსატის დანაკარგის შესავსებად ქიმიური და კათიონიტური ხერხით დამატებითი წყლის მომზადების გარდა, გამოიყენება წმინდა დისტილატი—გამონახადი წყალი.

3—11. წყლის მომზადების ზოგიერთი ხარისხი

წყლის მომზადების მეცნიერულად დასაბუთებული სხვადასხვა ხერხი² არსებობს: მექანიკური, ქიმიური, კათიონიტური, თერმული და სხვ.

მექანიკური გაწმენდა მდგომარეობს წყლიდან როგორც მეტი, ისე მისი ტოლი ხვედრითწონიანი მექანიკური მინარევების გამოყოფაში. წყალზე უფრო მეტი ხვედრითწონიანი მექანიკური მინარევი სპეციალური ექტრქლის ფსკერზე დილექტება, ხოლო ნაკლებ ხვედრითწონიანი კი სპეციალურ ფილტრებში გატარებით მოცილება.



ნახ 3—5. ორთქლის ქვაბის ბალანსი წყლის ნიხედვით.

1—საკვები წყალი, 2—ნაწერი ორთქლი, 3—ქვაბის საკვები წყალი, 4—ტრბოზის კონდენსატი, 5—წარმოების მიერ დაბრუნებული კონდენსატი, 6—ქიმიურად გაწმენდილი დაატებითი წყალი.

* M. C. Шк р о б,—Водоподготовка. Госэнергоиздат, 1950.

ფილტრი წარმოადგენს სპეციალურ ქურქელს, რომელშიაც ლითონის ორ ბადეს შორის მოთავსებულია მფილტრავი მასალა. მფილტრავ მასალად უმთავრესად იზმარება: დაწვრილმანებელი კოქსი, ქვიშა, ხრეში, კვარცი და სხვ. ვინაიდან ფილტრში გროვდება ქუქი და სხვადასხვა მქვანეკური მინარევი, საჭიროა მისი პერიოდული გასუფთავება.

ქიმიური გაწმენდის მთავარი მიზანია წყლიდან კალციუმისა და მაგნიუმის მარილების გამოყოფა. ქიმიური გაწმენდის დროს რეაქტივების მოქმედებით წყალში არსებული ხსნადი მარილები გადაიქცევიან არახსნად მარილებად. ქიმიური რეაქტივების ზექმედებით მიღებული არახსნადი მარილები წყლიდან შეგვიძლია შოვიცილოთ გაფილტვრის ან დალექვის საშუალებით.

წყლის ქიმიური ხერხით მინადულის წარმომქმნელების დალექვისას, საწყისი ანუ უმი წყლის მარილების მინარევეებზე დამოკიდებულებით, გამოიყოფა კირი CaO (რძის სახით), მწვევე ნატრიუმი NaOH , კალციინირებული სოდა Na_2CO_3 , ბარიუმკარბონატი BaCO_3 , ფოსფატები და სხვ.

წყლის ქიმიური გაწმენდა წარმოებს საამისოდ განკუთვნილ სპეციალურ ქურქლებში, რომლებსაც წყლის ქიმიურად გამწმენდ დანადგარებს—აპარატებს უწოდებენ.

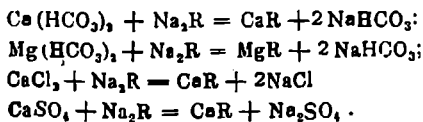
კათიონიტური გაწმენდა ხდება კათიონიტურ ფილტრში უმი წყლის გატარებით. კათიონიტებად გამოიყენება მინერალური და ორგანული წარმოქმნის ნივთიერებანი: სულფონახშირი, გლაუკონიტი, ვოფატიტი P, ესპატიტი და ზოგიერთი ხელოვნური ფისი, რომელთა ნაწილაკების ზედაპირები ნატრიუმის კათიონებს შეიცავენ.

3—5 ცხრილში მოცემულია ზოგიერთი კათიონიტის ტექნიკური დახასიათება.

ც ხ რ ი ლ ი 3—5

კ ა თ ი ო ნ ი ტ ი	ნაყარი წონე პერცენტობით მდებარეობაში ტ/შ	გაჯირკმე- ბის კოეფი- ციენტი	მარცვლის სიღრმე მმ	წყლიანი გა- სწვლა, %	ტემპერატურის ზედა ზღვარი °C
სულფონახშირი .	0,53—0,58	1,24—1,55	0,3—2,0	5—8	60
ვოფატიტი	0,62	1,19	0,3—2,0	2—3	90
ესპატიტი	0,7	1,6	—	3—4	90

კათიონიტურ ფილტრში უმი წყლის გატარებისას, მინადულის წარმომქმნელი კალციუმისა და მაგნიუმის მარილების კათიონები ცვლიან კათიონიტში ნატრიუმის კათიონებს. მაშასადამე, კათიონიტურ ფილტრში გატარებისას წყალი თავისუფლდება მისი სიხისტის გამომწვევი მარილებისაგან და მის ეკვივალენტურ ნატრიუმის მარილის რაოდენობას იღებს. ეს უკანასკნელი წყალში კარგად იხსნება, მას სიხისტეს არ აძლევს და მინადულსაც არ წარმოქმნის. თუ კათიონიტის რთულ შედგენილობას აღვნიშნავთ R-ით, მაშინ ნატრიუმის კათიონის ექნება პირობითი ფორმულა Na_2R . მასთან სიხისტის მარილების ურთიერთქმედებით ადგილი ექნება შემდეგ რეაქციებს:

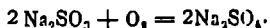


წყლის დეაერაცია ეწოდება მისი დამუშავების ისეთ პროცესს, რომლის დროსაც ადგილი აქვს წასში გახსნილი ჰაერისა და სხვა აირების მოცილებას. წყლის დეაერაციის მიზანია თავიდან აცილებულ იქნეს ქვების კედლებისა და სხვა დამაზარე მოწყობილობათა ამოქმად (ქიმიური კოროზია) წყალში გახსნილი ცანგბადისა, ნახშირორბანგისა და სხვა აირების მიკვებებით.

საკვები წყლის დეაერაცია ხდება თერმული და ქიმიური ხერხებით.

თერმული დეაერაცია ემყარება ტემპერატურის ვადიდებით წყლის განთავისუფლებას მასში გახსნილი ცანგბადისაგან. მაგალითად, თუ წყალს გაეთბობთ 102-104 °C-მდე 1,1 ატა წნევის დროს ის თითქმის მთლიანად განთავისუფლდება ცანგბადისაგან. თერმული დეაერაციით წყალში ცანგბადის რაოდენობა დაიყვანება 0,05 მგ/ლ-მდე. დეაერაციაქმნილი წყალი უნდა ინახებოდეს მჭიდროდ დახურულ ავზებში.

ქიმიური დეაერაცია ხორციელდება ეკონომიკურად და ქვაბში მიწოდებამდე წყალში ნატრიუმის სულფიტის (Na_2SO_3) შეტევით, რომელიც წყალს აცლის მასში გახსნილ ცანგბადს და გაჯადის ნატრიუმის სულფატი შემდეგი ფორმულით:



3-13. ორთქლის გაზუფიანება და მასთან შერევა

წყლის ნაჯერი ტენიანი ორთქლი ქვაბიდან გამოსვლისას თან წარიტაცებს ქვების წყლის განსაზღვრულ რაოდენობას, რომელიც შეიცავს გახსნილ მარილებს და სხვადასხვა ნივთიერების მცირე ზომის ნაწილაკებს.

ორთქლის გაქუქვიანებასთან საბრძოლველად ხორციელდება შემდეგი ღონისძიებანი: ქვების დოლის შიგა მოწყობილობით ტენიანი ნაჯერი ორთქლიდან ორთქლის სეპარაცია; ქვების დატვირთვის ვრაუიკის გათანაბრება და ქვების დოლეში წყლის შესაძლო მინიმალური დონის შენარჩუნება; ქვების წყალში მარილების მათივენილი კონცენტრაციის შექმნა.

სსრ კავშირში ფართო გავრცელება მოიპოვა აორთქლების საფებურებიანმა ნეთოდმა, რომლის საშუალებით შეიძლება დატულ იქნეს ქვების წყალში მარილების დაბალი კონცენტრაცია და საქრევე წყალში შედარებით მაღალი კონცენტრაცია.

თ ა ვ ი 3-4

სადგამე დანადგარის სითბური ბალანსი

3-14. სითბური ბალანსის მდგენელი ნაწილები

საქვებე დანადგარის მუშაობა ყოველთვის ხასიათდება აუცილებელი სითბური დანაკარგებით.

საცეცხლეში სათბობის დაწვის შედეგად მიღებული სითბო მთლიანად არ გამოიყენება როგორც სასარგებლო სითბო ორთქლის მისაღებად.

სათბობის დაწვის შედეგად მიღებული სითბოს განაწილებას სასარგებლო და დანაკარგ სითბობად საქვებე დანადგარის სითბური ბალანსის უწოდებენ.

სითბური ბალანსი დგება: ა) საქვებე დანადგარის სითბური გამოცდის დროს და ბ) საქვებე დანადგარის სიბური ვანგარიშების დროს.

სითბური გამოცდის დროს ამოცანა მდგომარეობს დანადგარის ცალკეული ელემენტების სითბური მახასიათებლების გამომყვანებასა და სითბოს დანაკარგების განსაზღვრაში. სითბური ვანგარიშების დროს სითბური ბალანსი საქვებე დანადგარის

სითბოს გადამცემი ელემენტების ხურების ზედაპირების განსაზღვრისათვის და მათი რაციონალური გაადგილებისათვის.

სითბური ბალანსის შედგენა საერთოდ მიღებულია საქვაბე დანადგარის დამყარებული მუშაობის პირობებისათვის და შეიძლება იგი შეეუფარდეთ მისი 1 საათის მუშაობას, 1 კვ სათბობს და 1 კვ მიღებულ ორთქლს.

მიღებულია სითბური ბალანსის დაყვანა სათბობის მუშა უდაბლესი დაწეის სითბოზე $Q_{\text{შე}}^{\text{ბ}}$, რომელიც სითბური ბალანსის საფუძველს წარმოადგენს.

თუ საქვაბე დანადგარის სითბურ ბალანსს შეეუფარდებთ საცეცხლეში დამწვარ 1 კვ სათბობს, მაშინ სითბური ბალანსის განტოლებას ექნება სახე:

$$Q_{\text{შე}}^{\text{ბ}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \text{ კვალ/კვ,} \quad (3-37)$$

სადაც $Q_{\text{შე}}^{\text{ბ}}$ კვალ/კვ არის სათბობის მუშა უდაბლესი დაწეის სითბო;

Q_1 —დანადგარში სასარგებლოდ გამოყენებული სითბო;

Q_2 —წარმოული აირებით სითბოს დანაკარგი;

Q_3 —ქიმიურად უსრულო წვის შედეგად სითბოს დანაკარგი;

Q_4 —მექანიკურად უსრულო წვის შედეგად სითბოს დანაკარგი;

Q_5 —გარემომცველ აირში საქვაბე დანადგარის ელემენტების მიერ სითბოს დანაკარგი.

თუ (3-37) განტოლების ყოველ წევრს გავყოფთ $Q_{\text{შე}}^{\text{ბ}}$ -ზე და გავამრავლებთ 100-ზე, მივიღებთ სითბურ ბალანსს, შეფარდებულს სათბობის დაწეის სითბოსადმი გამოსახულს პროცენტობით:

$$\frac{Q_1^{\text{ბ}}}{Q_{\text{შე}}^{\text{ბ}}} \cdot 100 = \frac{Q_1}{Q_{\text{შე}}^{\text{ბ}}} \cdot 100 + \frac{Q_2}{Q_{\text{შე}}^{\text{ბ}}} \cdot 100 + \frac{Q_3}{Q_{\text{შე}}^{\text{ბ}}} \cdot 100 + \frac{Q_4}{Q_{\text{შე}}^{\text{ბ}}} \cdot 100 + \frac{Q_5}{Q_{\text{შე}}^{\text{ბ}}} \cdot 100.$$

შემოვიღოთ აღნიშვნა

$$\frac{Q_1}{Q_{\text{შე}}^{\text{ბ}}} \cdot 100 = q_1, \quad \frac{Q_2}{Q_{\text{შე}}^{\text{ბ}}} \cdot 100 = q_2, \quad \frac{Q_3}{Q_{\text{შე}}^{\text{ბ}}} \cdot 100 = q_3 \text{ და ა. შ.}$$

მაშინ სითბური ბალანსის განტოლება (%-ბით) შეიძლება დაიწეროს შემდეგი სახით:

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5, \quad (3-38)$$

სადაც q_1 არის სასარგებლოდ გამოყენებული სითბო გამოსახული %-ბით;

q_2, q_3, q_4 და q_5 —სითბოს შესაბამისი დანაკარგები გამოსახული %-ბით.

განვიხილოთ საქვაბე დანადგარის სითბური ბალანსის მდგენელი ნაწილები ცალ-ცალკე.

სასარგებლოდ გამოყენებული სითბო Q_1

თუ საქვაბე დანადგარში ელემენტობთ წყლის გადახურებულ ორთქლს და პირობით საქრევი წყლის გათბობაზე დახარჯულ სითბოს ჩავთვლით სასარგებლო სითბოდ, მაშინ დანადგარში სასარგებლოდ გამოყენებული სითბო განისაზღვრება განტოლებით:

$$Q_1 = \frac{D(i_{\text{გა}} - i_{\text{საქ. წყ.}}) + D_{\text{საქ.}}(i' - i_{\text{საქ. წყ.}})}{B} \text{ კვალ/კვ,} \quad (3-39)$$

სადაც D კვ/სთ არის გადახურებული ორთქლის საათური ხარჯი;

$D_{\text{საქ.}}$ კვ/სთ—საქრევი წყლის საათური ხარჯი;

B კგ/სთ—სათბობის საბურთი ხარჯი;

$i_{\text{გად. კვალ/კვ}}$ — გადახურებული ორთქლის სითბოშემცველობა;

$i_{\text{საქ. წყ. კვალ/კვ}}$ —საკვები წყლის სითბოშემცველობა;

i' კვალ/კვ—ქვების ანუ საჭრევი წყლის სითბოშემცველობა.

თუ ორთქლის ქვაბიდან გაცემული ტენიანი ნაჯერი ორთქლის რაოდენობა აღემატება ქვების ორთქლმწარმოებლობის 2% ს, მაშინ Q_1 განისაზღვრება ფორმულით

$$Q_1 = \frac{D(i_{\text{გად.}} - i_{\text{საქ. წყ.}}) + D_6(i'' - i_{\text{საქ. წყ.}}) + D_{\text{საქ.}}(i' - i_{\text{საქ. წყ.}})}{B}, \quad (3-40)$$

სადაც i'' კვალ/კვ არის ტენიანი ნაჯერი ორთქლის სითბოშემცველობა, რომელიც განისაზღვრება ქვაბში არსებული წნევისა და ორთქლის სიმშრალის ხარისხის მიხედვით;

D_6 კგ/სთ—ტენიანი ნაჯერი ორთქლის საბურთი ხარჯი ქვაბიდან;

თუ ტენიანი ნაჯერი ორთქლის ხარჯი ქვაბიდან 2 $\frac{1}{2}$ %-ზე ნაკლებია, ხოლო საჭრევი წყლის ხარჯი 5 $\frac{1}{6}$ %-ზე ნაკლები, ან როდესაც ეწყობა ქვების პერიოდული გაჭრევა, მაშინ

$$Q_1 = \frac{D(i_{\text{გად.}} - i_{\text{საქ. წყ.}})}{B}, \quad (3-41)$$

თუ საქვებზე დანადგარს არა აქვს ორთქლგადამხურებელი და ქვაბი გამოიშვავებს ტენიან ნაჯერ ორთქლს (საწარმოო-გათბობის ქვაბები), მაშინ

$$Q_1 = \frac{D(i'' - i_{\text{საქ. წყ.}})}{B}, \quad (3-42)$$

სადაც i'' კვალ/კვ არის ტენიანი ნაჯერი ორთქლის სითბოშემცველობა.

წარმავალი აირებით სითბოს დანაკარგი Q_2

წარმავალი აირებით სითბოს დანაკარგი, ე. ი. კვამლის აირების ფიზიკური სითბო დამოკიდებულია უმთავრესად წარმავალი აირების ტემპერატურაზე. აღნიშნულის გარდა, სითბოს დანაკარგი დამოკიდებულია საცეცხლეში მიწოდებული ჰაერის ჰაერსა და საქვებზე დანადგარის აირსაველების არასიმქიდროფეებიდან მინაწოვი ჰაერის რაოდენობაზე.

წარმავალი აირებით სითბოს დანაკარგი განისაზღვრება ფორმულით:

$$Q_2 = V_3 c' t_3 - (Q_3 + Q_{\text{ფიზ. საბ.}}) \text{ კვალ/კვ}, \quad (3-43)$$

სადაც V_3 მ³/კვ არის წარმავალი აირების შეჯამებული მოცულობა საქვებზე დანადგარის უკანასკნელი აირსაველიდან ამოსვლისას;

c' კვალ/ნ მ³—წარმავალი აირების საშუალო მოცულობითი სითბოტევადობა;

t_3 °C—წარმავალი აირების ტემპერატურა უკანასკნელი აირსაველიდან ამოსვლისას;

Q_3 კვალ/კვ—საცეცხლეში მიწოდებული და აირსაველებში მინაწოვი ჰაერის სითბოშემცველობა;

$Q_{\text{ფიზ. საბ.}}$ კვალ/კვ—სათბობის ფიზიკური სითბო, რომელსაც შეუდარებლად სიმცირის გამო გაანგარიშებათა დროს უგულებელყოფენ.

Q_2 —წარმავალი აირებით სითბოს დანაკარგის შემცირების მიზნით ორთქლის ქვების შემდეგ აირსაველებში ათავსებენ წყლის ეკონომიზატრებს და ჰაერშემთბობებს. თანამედროვე მძლავრ საქვებზე დანადგარებში სითბოს დანაკარგები წარმავალი აირების საშუალებით შემცირებულია $q = 6-8\%$ მდე, მაშინ როდესაც მცირე და საშუალო სიმძლავრის არაკეთილმოწყობილ და ცუდი ექსპლუატაციის პირობებში მო-

მუშავე საჭედე დაწვავის დანადგარებში სითბოს დანაკარგი წარმავალი აირების საშუალებით 20—25%-მდე აღწევს.

წარმავალი აირების ტემპერატურას თბოტექნიკურ გაანგარიშებათა დროს წვეის სახეზე დამოკიდებულებით იღებენ ზღვრებში $t_s = 120—180\text{ }^{\circ}\text{C}$. მცირე სიმძლავრის საჭედე დაწვავის დანადგარებში ეკონომიზაციებისა და ჰაერზემთობების უთანობისას კვამლის აირების ტემპერატურა 300—350 $^{\circ}\text{C}$ აღწევს.

ქიმიურად უსრულო წვის შედეგად სითბოს დანაკარგი Q_3

ქიმიურად უსრულო წვის შედეგად სითბოს დანაკარგს ადგილი ექნება იმ შემთხვევაში, როდესაც წვის პროცესში წარმოქმნილი საწვავი (აქტიური) აირები CO, H₂ და CH₄ სრულად არ იწვიან.

სითბური გაანგარიშების დროს თვლიან, რომ ძირითადად სათბობის უსრულო წვის ნაწარმს წარმოადგენს ნახშირბადი CO.

განგარიშებით რა (3—35) ფორმულის საშუალებით CO ნახშირბადის რაოდენობას %-ბით, 1 კგ სათბობზე მოსული ნახშირბადის V_{CO} მოცულობას განესაზღვრავთ შემდეგი ტოლობით:

$$\frac{V_{CO}}{V_{\text{გ.ა.}}} = \frac{CO}{100},$$

საიდანაც

$$V_{CO} = \frac{CO}{100} V_{\text{გ.ა.}} \text{ მ}^3/\text{კგ}.$$

ნახშირბადის CO-ს მოცულობითი უდაბლესი დაწვის სითბო $Q_{CO} \approx 3050$ კკალ/მ³. უსრულო წვის შედეგად სითბოს დანაკარგი შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$Q_3 = 3050 \cdot V_{CO} = 3050 \frac{CO}{100} V_{\text{გ.ა.}} \text{ კკალ/კგ}.$$

შევიტანთ რა უკანასკნელ განტოლებაში $V_{\text{გ.ა.}}$ -ის მნიშვნელობას (3—28), ფორმულიდან მივიღებთ:

$$Q_3 = 3050 \cdot \frac{CO}{100} \cdot \frac{1,866 \cdot K^3}{RO_2 + CO} = 56,91 K^3 \frac{CO}{RO_2 + CO} \text{ კკალ/კგ}, \quad (3-44)$$

ანუ

$$q_3 = \frac{Q_3}{Q_{\text{შ.დ.}}} \cdot 100\%$$

საჭედე დაწვავის დაპროექტებისას და სითბური გაანგარიშების შესრულებისას q_3 სიდიდის მნიშვნელობას შეირჩევენ სითბური გაანგარიშების ნორმების საშუალებით. მიახლოებითი გაანგარიშების დროს შეიძლება ვისარგებლოთ პროფ. ს. ი. კორნიცკის ფორმულით:

$$q_3 \approx 3,2 CO \cdot \alpha \%, \quad (3-45)$$

მექანიკურად უსრულო წვის შედეგად სითბოს დანაკარგი Q_4

საცეცხლეებში სათბობების დაწვისას სითბოს დანაკარგი მექანიკურად უსრულო წვისაგან მიიღება იმის გამო, რომ აქროლადების გამოყოფის შემდეგ დაჩენილი კოქსი მთლიანად არ დაიწვება საცეცხლეში. ნაწილი მოხვდება წილის მასაში, ნაწილი ცვივდებ

ბა საცეცხლის სანაცრე ხვიშირაში, დაბოლოს ნაწილი საცეცხლედან წართეცება წარმა-
ვალი აირებით.

ამგვარად, მექანიკურად უსრულო წვისაგან სითბოს დანაკარგი

$$Q_4 = Q_{4\text{წიფ}} + Q_{4\text{ჩაფ}} + Q_{4\text{წარბა}} \cdot \text{კაკალ/კგ}$$

ან

$$q_4 = q_{4\text{წიფ}} + q_{4\text{ჩაფ}} + q_{4\text{წარბა}} \cdot \%$$

q_4 -ს სიდიდის მნიშვნელობანი სხვადასხვა შემთხვევისათვის იღება სითბური გაანგარიშე-
ბის ნორმებიდან.

სითბოს დანაკარგი ნაცრისა და წიდის ფიზიკური სითბოთი

საცეცხლეს სანაცრეებიდან გატანილ ნაცრისა და წიდას აქვს განსაზღვრული ტემ-
პერატურა, რომელიც მათ მიერ გატანილ სითბოს დანაკარგს აპირობებს. სითბოს და-
ნაკარგი q_A დამოკიდებულია სათბობის ნაცრიანობაზე და შეიძლება მიახლოებით განი-
საზღვროს ფორმულით:

$$q_A = 1000 \cdot K_A \cdot \frac{A^3}{Q_{\text{შ}}^2} \%, \quad (3-46)$$

სადაც K_A არის კოეფიციენტი, რომელიც სათბობის შრისებრი წვისათვის ტოლია 0,1-ის,
ხოლო კამერული წვისათვის — 0,2-ის.

ნაცრისა და წიდის ფიზიკურ სითბოს, როგორც დანაკარგის, გათვალისწინებას აღ-
ვლი აქვს საქვაზე დანადგარების ზუსტი სითბური გამოცდის დროს, ჩვეულებრივ კი
სითბოს ამ საფის დანაკარგს უკულებელყოფენ.

სითბოს დანაკარგი გარემომცველ არეში Q_6

გარემომცველ არეში ქვების შემოკარულობა და სხვა გლემენტები რადიაციითა და
კონვექციით კარგავენ სითბოს განსაზღვრულ რაოდენობას. რაც უფრო მეტია აღნიშ-
ნული ზედაპირების ტემპერატურა, მით მეტია სითბოს დანაკარგი. მიღებულია, რომ თუ
საქვაზეში ჰაერის ტემპერატურა იქნება 25—35 °C, ქვებისა და დამიმარე მოწყობილო-
ბათა ზედაპირების ტემპერატურა არ უნდა აღემატებოდეს 70°C.

გარემომცველ არეში სითბოს დანაკარგების გამოსათვლელად შეიძლება გამოყენე-
ბულ იქნეს სათანადო გარეუკები. არაზუსტი გაანგარიშების დროს სტაციონარული ქვა-
ბების ნორმალური დატვირთვისას სითბოს დანაკარგები გარემომცველ არეში შეიძლება
განისაზღვროს (3—6) ცხრილის საშუალებით.

ცხრილი 3—6

ქვების დანადგარის მიერ სითბოს დანაკარგი გარემომცველ არეში

საქვაზე დანადგარის ორთქლმწარმოებ- ლობა D ტ/სთ	5-მდე	5—10	10—20	20—50	50—100	~200
სითბოს დანაკარგები გარემომცველ არეში q_6 %-ბით	3,5-მდე	2,2	1,6	1,2	0,8	0,6

საცეცხლეს მიერ სითბოს დანაკარგს გარემომცველ არეში $q_{6\text{სა}}$ იღებენ დაახლოე-
ბით მთელი საქვაზე დანადგარის მიერ დაკარგული სითბოს რაოდენობის ნახევარს, ე. ი.

$$q_{6\text{სა}} \approx 0,5 q_6 \%$$

საქვებზე დანადგარის მ. ქ. კ., სათბობის ორთქლოვნება და სათბობის
საათური ხარჯი

საქვებზე დანადგარში სითბოს გამოყენების ხარისხის დამახასიათებლად მიიღწეულია დანადგარში სასარგებლოდ გამოყენებული სითბოსა და დახარჯული სითბოს ფარდობა.

მაშასადამე, საქვებზე დანადგარის მ. ქ. კოეფიციენტი გამოისახება ფორმულით

$$\eta_{\text{საქ. ე.}} = \frac{Q_1}{Q_{\text{შე}}} = \frac{Q_{\text{კვ.}} + Q_{\text{ო. გად.}} + Q_{\text{წყ. გა.}}}{Q_{\text{შე}}} \quad (3-47)$$

ან

$$\eta_{\text{საქ. ე.}} = \eta_{\text{კვ.}} + \Delta \eta_{\text{ო. გად.}} + \Delta \eta_{\text{წყ. გა.}} \quad (3-48)$$

უკანასკნელი ტოლობა გვიჩვენებს, რომ საქვებზე დანადგარის მ. ქ. კ. შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ. როგორც სამი შესაკრების ჯამი: ქვების მ. ქ. კ.-ისა $\eta_{\text{კვ.}}$ და ორი დანამატის, რომლებიც ორთქლის გადამხურებლისა და წყლის ეკონომიზატორის სასარგებლო მუშაობას შეესაბამება.

(3-48) განტოლებაში Δ ნიშნით ნაჩვენებია, რომ $\Delta \eta_{\text{ო. გად.}}$ და $\Delta \eta_{\text{წყ. გა.}}$ ორთქლის გადამხურებლისა და წყლის ეკონომიზატორის ნამდვილი მ. ქ. კოეფიციენტებს კი არ გამოსახავენ, არამედ წარმოადგენენ ქვების $\eta_{\text{კვ.}}$ მ. ქ. კ.-ის საბალანსო დანამატს.

საქვებზე დანადგარის მ. ქ. კ.-ის გაანგარიშებისათვის შეიძლება ცალ-ცალკე განისაზღვროს მის მდგენელთა მნიშვნელობანი:

$$\eta_{\text{კვ.}} = \frac{D | i'' - (1-x) \cdot r - i'_{\text{წყ. გა.}} |}{B \cdot Q_{\text{შე}}} \quad (3-49)$$

$$\Delta \eta_{\text{ო. გად.}} = \frac{D | (1-x) \cdot r + (i_{\text{გად.}} - i'') |}{B \cdot Q_{\text{შე}}} \quad (3-50)$$

$$\Delta \eta_{\text{წყ. გა.}} = \frac{D (i'_{\text{წყ. გა.}} - i_{\text{საქ. წყ.}})}{B \cdot Q_{\text{შე}}} \quad (3-51)$$

საქვებზე დანადგარის მ. ქ. კ.-ის (3-48) გამოსახულებაში უკანასკნელი ტოლობებიდან მ. ქ. კ.-ის მნიშვნელობების ჩასმით მივიღებთ:

$$\eta_{\text{საქ. ე.}} = \frac{D (i_{\text{გად.}} - i_{\text{საქ. წყ.}})}{B \cdot Q_{\text{შე}}} \quad (3-52)$$

სათბობის ორთქლოვნება შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$H = \frac{D}{B} = \frac{Q_{\text{შე}}^0 \cdot \eta_{\text{საქ. ე.}}}{i_{\text{გად.}} - i_{\text{საქ. წყ.}}} \cdot \frac{\text{კვ. ორთქლი}}{\text{კვ. სათბობი}} \quad (3-53)$$

სათბობის ორთქლოვნება ნორმალური ორთქლის მიხედვით, რომლის პირობითი სითბოშემცველობა იღება 640 კკალ/კვ, გაიანგარიშება ფორმულით

$$H_{\text{ნორმ.}} = H \frac{i_{\text{გად.}} - i_{\text{საქ. წყ.}}}{640} \cdot \frac{\text{კვ. ორთქლი}}{\text{კვ. სათბობი}} \quad (3-54)$$

(3-53) ტოლობიდან შეიძლება განისაზღვროს სათბობის საათური ხარჯი

$$B = \frac{D}{H} \text{ კვ/სთ.}$$

$$B = \frac{D (i_{გაფ.} - i_{საქ. წყ.})}{Q_{შფ}^3 \cdot \eta_{საქ. დ.}} \quad \text{კგ/სთ.} \quad (3-55)$$

საქრევი წყლის ხარჯის მიედევლობაში მიღებით სათბობის საათური ხარჯი გაანგარიშება ფორმულით

$$B = \frac{D (i_{გაფ.} - i_{საქ. წყ.}) + D_{საქ.} (i' - i_{საქ. წყ.})}{Q_{შფ}^3 \cdot \eta_{საქ. დ.}} \quad \text{კგ/სთ.} \quad (3-56)$$

თ ა ვ ი 3-5

საცმცხლეს სიმჩის სითბური ბალანსი

3-15. წვის თეორიული ძემპერატურა და საცმცხლეს მ. დ. დ.

საცეცხლეში სათბობის წვის თეორიული ტემპერატურა ეწოდება იმ მაქსიმალურ ტემპერატურას, რომელიც ექნებოდა საცეცხლეს აირებს, საცეცხლეში სითბოს დანაკარგების გათვალისწინებით, რომ საცეცხლეში აღვილი არ ჰქონდეს სითბოს გაერელებას გამოსხივებით.

თუ მხედველობაში არ მივიღებთ სათბობის მიერ საცეცხლეში შეტანილ ფიზიკურ სითბოს, სათბობის წვის თეორიული ტემპერატურა შეიძლება განისაზღვროს საცეცხლეს სივრცის სითბური ბალანსის განტოლებიდან:

$$Q_{შფ}^3 \cdot \eta_{საქ.} + \alpha_{საქ.} \cdot V^0 \cdot c_3 \cdot t_3 = V_0 \cdot c'_3 \cdot t_0 \quad (3-57)$$

სადაც $\eta_{საქ.}$ არის საცეცხლეს მ. ქ. კ.;

$\alpha_{საქ.}$ — საცეცხლეში ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტი;

t_0 °C — სათბობის წვის თეორიული ტემპერატურა.

(3-57) განტოლების მარცხენა მხარე წარმოადგენს სათბობის მიერ წვის დროს გამოყოფილ სითბოსა და ჰაერის მიერ შეტანილ სითბოს ჯამს, ხოლო ამ განტოლების მარჯვენა მხარე წარმოადგენს სათბობის დაწვის აირადი ნაწარმის სითბოშემცველობას — ენტალპიას.

მაშასადამე, სათბობის წვის თეორიული ტემპერატურა შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$t_0 = \frac{Q_{შფ}^3 \eta_{საქ.} + \alpha_{საქ.} \cdot V^0 \cdot c_3 \cdot t_3}{V_0 \cdot c'_3} \quad \text{°C.} \quad (3-58)$$

საცეცხლეს მ. ქ. კ.-ის მნიშვნელობა $\%$ -ით შეიძლება განისაზღვროს ტოლობიდან

$$\eta_{საქ.} = 100 - (q_3 + q_4 + q_{6საქ.}) \%, \quad (3-59)$$

სადაც $q_{6საქ.}$ არის საცეცხლეს მიერ სითბოს დანაკარგი გარემომცველ არეში.

საცეცხლეში სათბობის წვის თეორიული ტემპერატურის განსაზღვრა შეიძლება I დიაგრამით, სადაც I კკალ/კგ არის საცეცხლე აირების სითბოშემცველობა (ენტალპია) და t °C — აირების ტემპერატურა (I დიაგრამა სახელმძღვანელოში მოცემული არ არის).

წინა პარაგრაფში (3--58) ფორმულით განსაზღვრულ იქნა წვის თეორიული ტემპერატურა $t_0^{\circ}\text{C}$. მაგრამ უმეტეს შემთხვევებში სათბობის დაწვის შედეგად მიღებული სითბო $Q_{\text{გამოს.}}$ კვალ/კვ მთლიანად არ იხარჯება საცეცხლეს აირების გათბობაზე. ვინაიდან სათბობის დაწვის შედეგად მიღებული სითბოს ნაწილი $Q_{\text{გამოს.}}$ გამოსხივებით გადაეცემა ხურების იმ ზედაპირებს, რომლებიც გადაღივებული არიან სითბოს გამოსხივების არეში.

საცეცხლეში გამოსხივებით გადაცემული სითბოს რაოდენობისა და საცეცხლეში სათბობის დაწვის შედეგად გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის ფარდობას

$$\frac{Q_{\text{გამოს.}}}{B \cdot Q_{\text{წვ.}} \cdot \eta_{\text{საც.}}}$$

საცეცხლეს პირდაპირი გაცემის კოეფიციენტი ეწოდება. თუ საცეცხლეს სიერციდან გამომავალ აირთა ტემპერატურას აღვნიშნავთ $t_{\text{საც.}}$ $^{\circ}\text{C}$ და სითბოს პირდაპირი გაცემის კოეფიციენტს μ -ით, მაშინ საცეცხლედან გამოსვლისას აირების ტემპერატურა, სითბური გაანჯარივების დროს შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$t_{\text{საც.}} = t_0 (1 - \mu), \quad (3-60)$$

საცეცხლეს მ. ქ. მნიშვნელობა იცვლება ზღვრებში 0,90—0,96, ხოლო სითბოს პირდაპირი გაცემის კოეფიციენტი კი — 0,15—0,50.

ახალი საცეცხლეს დაპროექტების დროს გაანჯარივებას ახდენენ $t_{\text{საც.}}$ მიხედვით. თუ შერჩეულია აირის ტემპერატურა საცეცხლეს ბოლოს $t_{\text{საც.}}$, მაშინ ეფექტური რადიაციული ხურების ზედაპირი შეიძლება განისაზღვროს პროფ. ა. მ. გურვიჩის ფორმულით:

$$H_h = \frac{\mu \cdot B \cdot Q_{\text{წვ.}} \cdot \eta_{\text{საც.}}}{4,96 \cdot 10^{-8} \cdot z \cdot T_0^3 \cdot T_{\text{საც.}}} \sqrt{\left(\frac{T_0}{T_{\text{საც.}}} - 1\right)^3} \text{ მ}^2. \quad (3-61)$$

(3-61) ფორმულაში ϵ არის საცეცხლეს გამოსხივების პირობითი სიშავის ხარისხი, რომლის სადრედის მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\epsilon = \frac{0,2\chi}{1 + \frac{1-a}{n} \cdot \psi \cdot \chi}, \quad (3-62)$$

სადაც ψ არის საცეცხლეს ეკრანილების ხარისხი;

a —ალის სიშავის ხარისხი;

χ —საცეცხლეს ხურების ზედაპირის გაქუქვიანების კოეფიციენტი.

საცეცხლეს ეკრანილების ხარისხი გაანჯარივება ფორმულით:

$$\psi = \frac{H_h}{F_{\text{მთ.}}}, \quad (3-63)$$

სადაც H_h მ² არის რადიაციული ხურების ზედაპირების შეჯამებული ფართობი;

$F_{\text{მთ.}}$ მ²—საცეცხლეს კედლების შეჯამებული ფართობი.

საცეცხლეს კედლების შეჯამებული ფართობი შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$F_{\text{მთ.}} \approx 6 \sqrt{\frac{a}{V_{\text{საც.}}}} \text{ მ}^2, \quad (3-64)$$

სადაც $V_{\text{საც.}}$ მ³ არის საცეცხლეს მოცულობა.

* საკითხის დეტალურად შესწავლისათვის იხილეთ: „Теплообмен в топках паровых котлов“. Гурвич А. М. 1950 г.

საცემსლემები

3-17. საცემსლემებში წვის პროცესის ზომადი დახასიათება

ქებაბარეგატის ერთ-ერთ ძირითად მდგენელ ელემენტს წარმოადგენს საცეცხლე. საცეცხლეში მიმდინარეობს სათბობის წვისა და სითბური ენერჯის მიღების პროცესი ცხელი აირების სახით.

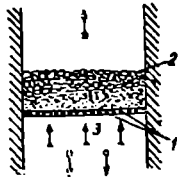
საცეცხლეებს კონსტრუქცია დამოკიდებულია სათბობის სახეზე (ნატები მყარი სათბობი, მტვრისებრი, თხევადი და აირადი სათბობი), სათბობის ფიზიკურ-ქიმიურ მახასიათებლებზე (დაწვრის სითბო, საწვავი ელემენტებისა და ბალასტის შედგენილობა, ნა-ტრისა და წილის მახასიათებელი და სხვ.), საცეცხლეს გადაღილებაზე (შიგა, ქვედა და გარეთ გამოტანილი), საცეცხლეს მომსახურების ხერხზე (ხელით, ნაბეჯად მექანიკური, მთლიანად მექანიკური), სათბობით საცეცხლეს კვების პრინციპზე (შრისებრი საცეცხლეები, საცეცხლეები დახრილ ცხაურაზე სათბობის ქვემოთ განუწყვეტელი ჩამოცურებით, საცეცხლეები პარიოზონტალურად მოძრავი შრის კვალდაკვალ განუწყვეტელი კვებით, საცეცხლეები შრის ქვეშ სათბობის მიწოდებით, საცეცხლეები მტვრისებრი ან აირად მდგომარეობაში სათბობის მიწოდებით).

საცეცხლეები სათბობის დაწვის ხერხის მიხედვით იყოფა ორ ჯგუფად — შრისებრი და კამერული საცეცხლეები. აგრეთვე ეწყობა კომბინირებული: კამერულ-შრისებრი საცეცხლეები და საცეცხლეები სათბობის შერეული დაწვით. შრისებრი საცეცხლეებში სათბობის დაწვის პროცესი მიმდინარეობს ცეცხლრიკების ცხაურაზე შრეში, ხოლო კამერული აქროლადებისა — საცეცხლეს კამერაში.

კამერულ საცეცხლეებში წვის პროცესი მხოლოდ საცეცხლეს კამერაში მიმდინარეობს.

აეროდინამიკური თვალსაზრისით კამერულ საცეცხლეებს იხილავენ ჩირაღდნული და გრიგლისებრი წვით. სათბობის შრისებრი ხერხით წვის სქემა მოცემულია ნაკ. 3-6-ზე.

შრისებრი საცეცხლეებში სათბობად გამოიყენება მხოლოდ მყარი სათბობები. საცეცხლეს კონსტრუქციის სახის მიხედვით სათბობის შრე ძვეს ცეცხლრიკების ცხაურაზე უძრავად ან მცირე სიჩქარით გადაადგილდება. სათბობის წვისათვის საჭირო პირველადი ჰაერი მიეწოდება ცეცხლრიკების ცხაურას ქვემოთ და ცეცხლრიკების ნახერცების ან მათ შორის დარჩენილი ღრეობის საშუალებით შეაღწევს სათბობის შრეში და საცეცხლეს კამერაში.



ნაკ. 3-6. სათბობის შრისებრი ხერხით წვის სქემა

1-ცეცხლრიკების ცხაურა; 2-სათბობი, 3-ჰაერი, 4-დაწვის აირადი ნაწარმი, 5-მთავარი ნაწილი.

ნაკ. 3-7-ზე წარმოდგენილია შედარებით უფრო მეტად გავრცელებული საცეცხლეების კლასიფიკაცია სათბობის შრეში წვით.

საცეცხლეები შრისებრი წვით პირობით შეიძლება დაიყოს სამ ჯგუფად: პირველ ჯგუფში შედიან საცეცხლეები სათბობის უძრავი შრით (ნაკ. 3-7,ა).

მეორე ჯგუფში გაერთიანებულია შრისებრი საცეცხლეები, რომლებშიც სათბობი თანდათან გადაადგილდება ცხაურაზე. ამ ჯგუფში შედიან საცეცხლეები დახრილი ცხაურებით, რომლებშიც სათბობი თავისი სიმძიმის გამო თანდათან ჩაცურდება ქვემოთ.

ასეთებია საცეცხლეები დახრილი ბრტყელი ცხურათი და საცეცხლეები დახრილი საფეხურებიანი ცხურათი (ნაკ. 3-7, ბ).

ამ ჯგუფის სხვა კონსტრუქციებში შედიან საცეცხლეები, რომელთა ცხურებზე ადგილი აქვს სათბობის იძულებით გადაადგილებას. ასეთ კონსტრუქციებს მიეკუთვნებიან:

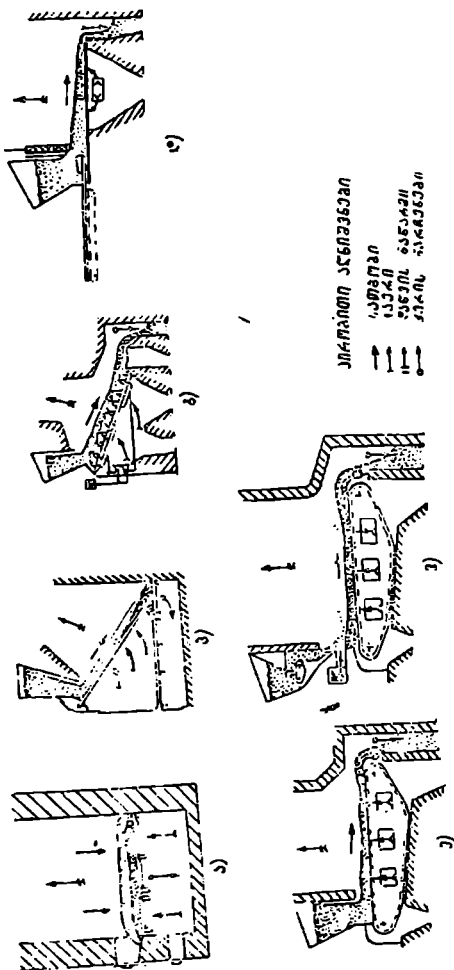
საცეცხლე დახრილ-გადასაბიძგი ცხურათი (ნაკ. 3-7, გ) და საცეცხლე საჩხრეკი თამსით (ნაკ. 3-7, დ).

მესამე ჯგუფს მიეკუთვნებიან საცეცხლეები, რომლებშიაც სათბობი გადაადგილება ცხურასთან ერთად. ასეთ საცეცხლეებში სათბობი იგიძირიდან იყრება მცირე სიწორაყით მოძრავ უსასრულო ჯაჭვურ ცეცხლრიკებიან ცხურაზე. ჯაჭვური ცხურას მოძრაობისას მასზე დაყრილი სათბობი თანდათან გაივლის წვის ყველა ფაზას. სათბობის მიწოდება ხეიმირიდან ჯაჭვურ ცხურაზე შეიძლება განიორციელდეს სათბობის სიმძიმის ძალით (ნაკ. 3-7, ე), ან სპეციალური ჩამყრელის საშუალებით (ნაკ. 3-7, ვ).

ჩირალნული ხერხით წვა, რომლის სქემა მოცემულია ნაკ. 3-8-ზე, ხასიათდება სათბობის, ჰაერის ნაკადისა და დაწვის ნაწარმის განუწყვეტელი მოძრაობით საცეცხლეს კამერაში.

აირად სათბობებს წვავენ კამერულ საცეცხლეებში მისი ყოველგვარი წინასწარი მოშაღების გარეშე.

თხევადი სათბობი ფრქვევანების საშუალებით გაიდრქვევა მცირე ნაწილაკებად, რომ წვეთები არ გამოცვივდნენ ნაკადიდან და მოასწ-



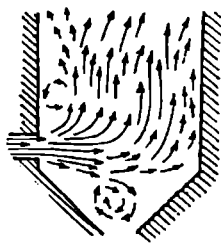
ნაკ. 3-7. შრისებრი საცეცხლეების კლასიფიკაცია.

ა-საცეცხლე სათბობის უძრავი შრით, ბ-საცეცხლე დახრილი ცხურათი, გ-საცეცხლე ფარული-გადასაბიძგი ცხურათი, დ-საცეცხლე საჩხრეკი თამსით, ე-საცეცხლე ჯაჭვური ცხურათი, ვ-საცეცხლე ჩამყრელ-შრისებრი წვი.

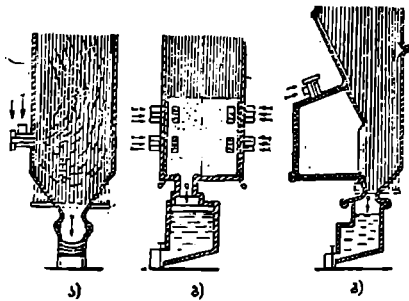
რონ დაწვა დროს იმ მცირე მონაკვეთში, რომლის განმავლობაში იმყოფებიან კამერაში. როდესაც მყარი სათბობი იწვის ჩირალნული ხერხით, სათბობს გაატარებენ სპეციალურ წისკვილებში და მიიღებენ ნახშირის მტერს, რომლის (60-90)% ნაწილაკებს აქვს

ზომები 90 მიკრონზე ნაკლები. ნახშირის მტვერი ჰაერის ნაკადთან ერთად მიეწოდება საცეცხლეს კამერაში.

მყარი სათბობების ჩირაღდნული ხერხით წვის საცეცხლებს მის კამერიდან ნაც-რისა და წილის გაცლის ორგანიზაციის მიხედვით არჩევენ: საცეცხლებს მშრალი წილის



ნაქ. 3—8. სათბობის ჩირაღ-
დნული ხერხით წვის სქემა.



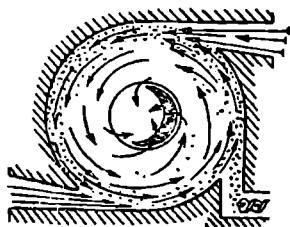
ნაქ. 3—9. ჩირაღდნული საცეცხლებები მყარი სათბობისა-
თვის.

ა—საცეცხლე მშრალი წილის მოვლებით, ბ—ერთავეჯიანის
საცეცხლე თხევადი წილის მოცილებით, გ—ორკამერიანი საცეცხლე
თხევადი წილის მოცილებით.

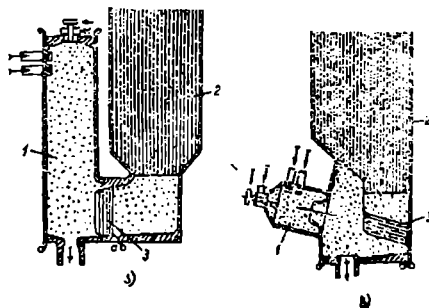
მოცილებით და ერთ—ან ორკამერიან საცეცხლებს თხევადი წილის მოცილებით. ჩირაღ-
დნული საცეცხლებები მყარი სათბობის დაწვისათვის ნაჩვენებია ნაქ. 3—9 ზე.

მყარი სათბობის გრივლისებრი ხერხით წვა ეწყობება ჰაერის გრივლის ტრანსპორ-
ტირების უნარს. ამ ხერხით მყარი სათბობის წვის სქემა მოცემულია ნაქ. 3—10 ზე.

წვის კამერაში იქმნება ჰაერის დამყარებული გრივლისებრი მოძრაობა, რო-



ნაქ. 3—10. მყარი სათბობის
გრივლისებრი ხერხით წვის სქემა.



ნაქ. 3—11. ციკლონური საცეცხლების სქემები.

ა—ფერტალიზატორი წინა საცეცხლეთი, ბ—ჰორიზონტალური წინა საცე-
ცხლეთი, 1—წვის კამერა, 2—გაგრივლის კამერა, 3—წი-
ლის შეგროვების წალღების კოშა.

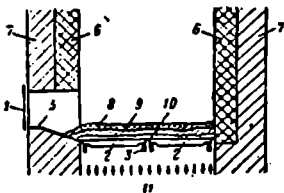
მელთანაც ერთად იძულებით მოძრაობს სათბობიც. წვის კამერის პერიფერიებზე ცენ-
ტრიდანული ძალებით ვატუორცნილი სათბობის ნაწილაკები ასწრებენ თითქმის მთლი-
ანად დაწვას.

მყარი სათბობის გრივლისებრი ხერხით დაწვის საცეცხლებები ატარებენ ციკლო-
ნური საცეცხლების სახელწოდებას.

სამამულო თბოენერგეტიკა იყენებს ძირითადად ორი ტიპის ციკლონურ საცდელს: ვერტიკალური წინა საცეცხლეთი და ჰორიზონტალური წინა საცეცხლეთი. ციკლონური საცეცხლებების სქემები მოცემულია ნაქ. 3—11-ზე.

3-18. ხაშხაშები ხათბობის შრისხაზი ხარხით ფრისათვის

საცეცხლები ხელმომსახურებით გამოიყენება მყარი სახის სათბობების დაწვისათვის. ნაქ. 3—12-ზე მოცემულია ქვანახშირის დაწვისათვის გამოყენებული ხელმომსახურების საცეცხლის მოწყობილობისა და მუშაობის სქემა.



ნაქ. 3—12. ხელმომსახურების საცეცხლეს მოწყობილობისა და მუშაობის სქემა: 1—ჩასატორავი კარები, 2—კოჭური ცეცხლრიცხვი, 3—საყრდენი ძეგლები, 4—საცეცხლეს სივრცე, 5—საჩრდილი დილა, 6—ცეცხლგამძლე აგურის ამოხაზი, 7—საცეცხლეს შემოყარვითი საწინააღმდეგო აგურისაგან, 8—ახლად შეყრილი ნახშირის შრე, 9—ანთებული კოქსის შრე, 10—წილის ბალიში, 11—ქირველიანი ჰაერის მიწოდება შრეში.

საცეცხლეს ჰორიზონტალური ან დახრილი ცხაურა შედგება საყრდენ ძეგლებზე დაყრდნობილ თუჯის კოჭური ცეცხლრიცხვისაგან. საცეცხლეს შიგა ზედაპირი ამოგებულია ცეცხლგამძლე აგურით. ჩასატორავი კარებიდან სათბობის ახალი და ახალი ულუფა იყრება ცეცხლმომკიდებელ შრეზე. ასეთი საცეცხლების ცხაურები თუჯის კოჭური ან ფილური ცეცხლრიცხვისაგან შედგება, მათი ტიპები ნაჩვენებია ნაქ. 3—13-ზე.

კოჭური ცეცხლრიცხვისაგან შემდგარ ცხაურაში ძალიან გადის ცეცხლრიცხვს შორის დარჩენილ ღრეჩოებში ან ფილური ცეცხლრიცხვის შემთავებაში მის ტანში არსებულ ხვრეტებში. ცეცხლრიცხვის ცხაურას ღრეჩოები და ხვრეტები ქვემოთკენ თანდათან ფართოვდებიან, რამეთუ ში არ გაიჩიროს ნაცარი ან სათბობის ჩაცვივული მცირე ზომის ნატეხები.

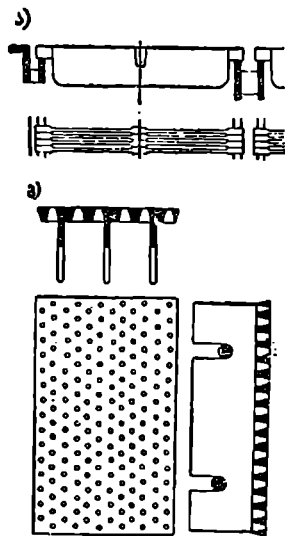
კოჭურ ცეცხლრიცხვს ძირითადად იყენებენ მსხვილნატეხებიანი სათბობის ქვანახშირის, ანთრაციტის, შენის, ნაქერი ტორფის და სხვ. დასაწვავად, ხოლო ფილური ცეცხლრიცხვს იყენებენ უმეტესად ანთრაციტისა და ნახშირის წვრილმანის დასაწვავად.

ხელმომსახურების დროს საცეცხლეს ცხაურას სიგრძე აიღება დაახლოებით 1,8—2,2 მ-მდე, ხოლო სიგანე ერთ ჩასატორავ კარზე 0,8—1,0 მეტრამდე.

ცხაურას სიგრძისა და სიგანის ნაზრავს ცხაურას ფართობს უწოდებენ და აღნიშნავენ R მ²-ით. ცხაურას ხვრეტებისა და ღრეჩოების ფართობს უწოდებენ ცხაურას ცოცხალ ფართობს.

დაბალი ხარისხის სათბობებს, როგორცაა მჭრანახშირი, ახასიათებს აქროლადების დიდი რაოდენობით გამოყოფა, უხვნაცრიანობა, დიდი ტენიანობა და დაწვის სითბოს მცირე სიდიდე, ამიტომ წყის პროცენტის მდგრადობისათვის საჭიროა შრეში სითბოს დიდი მარაგი. ასეთი ნახშირის დაწვისას ცხაურაზე დიდძალი ნაცარი და წილა გროვდება. მათი სქელი შრის წინააღმდეგობის გადარსახავად საჭირო ხდება ქვესაბერიდან ჰაერის შებერვის მოწყობა.

საცეცხლეს სიგრძეში აქროლადებისა და წარტაცებული წვრილმანის დაწვისათვის საჭირო ხდება დიდი მოცულობისა და დიდი სიმძლავის საცეცხლებების მოწყობა. ასეთ



ნაქ. 3—13. საცეცხლის ცეცხლრიცხვის ტიპები: ა—კოჭური ცეცხლრიცხვი და ბ—ფილური ცეცხლრიცხვი.

შემთხვევაში საცეცხლეებს სათბობის წვის სარკეს ზემოთ უკეთებენ თაღებს, რომლებიც ამცირებენ შრის მიერ სითბოს პირდაპირი გამოსხივებით ვაცემას და ზრდიან ნრეში ტემპერატურას. თაღები აგრეთვე ხელს უწყობენ აქროლადების წვას, ახდენენ რა მეორად ჰაერთან მათ კარგ შერევას.

ნაცარი იყრება წილის ხეიმირაში საყირავებელი ცეცხლიკების საშუალებით. საცეცხლეში მისაწოდებელი მურა ნახშირის ნატეაების ზომა სასურველია არ აღემატებოდეს 50 მმ-ს.

წყალშილა ორთქლის ქებაის ხელმომსახურების ტიპური საცეცხლე მოსკოვსქევედ მურა ნახშირის დასაწევადა წარმოდგენილია ნაქ. 3—14-ზე.

ნაქ. 3—14-დან ჩანს, რომ ცხაურა საცეცხლეს ჩასატვირთავი ხერეტის მიმართ გადავილებულია ქევემოთ, რაც აადვილებს სათბობის ჩატვირთვას და საცეცხლის სიგრძის გადიდების საშუალებას იძლევა.

შეშისა და წარმოების სხვა ნარჩენების დასაწევადა იყენებენ საცეცხლეებს კიდე უფრო მეტად ჩალრპავებული ცეცხლიკებიანი ცხაურათი, რადგან მათი დაწვა შესაძლებელია სქელ შრეში.

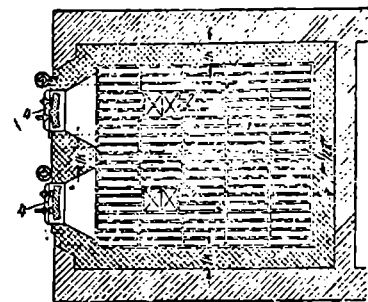
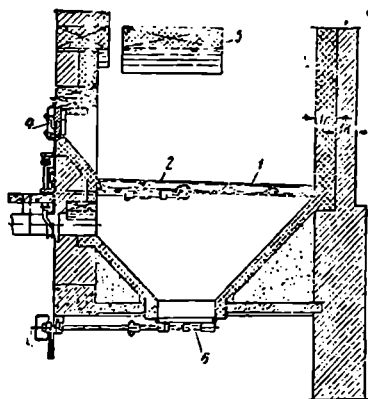
ნახევრად მექანიკურ საცეცხლეებს მიეკუთვნებიან შეშისა და ტორფის დასაწევი შახტური საცეცხლეები, საცეცხლეები თვითჩამყრელებით ნატეი ნახშირის დასაწევადა და საცეცხლეები სახრავი თამასით.

ნაქ. 3—15-ზე ნაჩვენებია ტორფის დასაწევი შახტური საცეცხლე. ამ საცეცხლეში ტორფის ჩატვირთვა წარმოებს ხეიმირიდან დიდი ულუფებით, შემდეგ სათბობი თავის წონის ძალით დაბრილ ცხაურაზე ნელნელა ცოკავს ქევემოთქვენ. შახტის სიმაღლე 2 მეტრამდე აღწევს. შახტური საცეცხლეს ცხაურა შედგება ორი წყება დაბრილი და ორი წყება ჰორიზონტალური კოკური ცეცხლიკებისაგან. დაბრილ ცეცხლიკებზე ხდება სათბობის შეშრობა და წვა, ხოლო ჰორიზონტალურ ცეცხლიკებზე კი წვის დაბოლოება.

ზოგიერთი ცეცხლიკის ბოლოები დაყრდნობილია წყლით გასაცივებელ მილებზე. ჰაერის მიწოდება ხდება ცალ-ცალკე ზონების მიხედვით.

შეშისათვის გამოსაყენებელი შახტური საცეცხლეები, მცირედ განსხვავდებიან ტორფის შახტურ საცეცხლესაგან.

ხეტყის დამზადებისა და ხის დამამუშავებელ წარმოებათა და სოფლის მეურნეობის ნარჩენების (ნაფოტი, ბურბუშელა, ნახერბი, ჩენჩო და სხვ.) დასაწევადა იყენებენ შახტურ



ნაქ. 3—14. მოსკოვსქევედ მურა ნახშირის საცეცხლე საყირავებელი ცეცხლიკებიანი ცხაურათი:

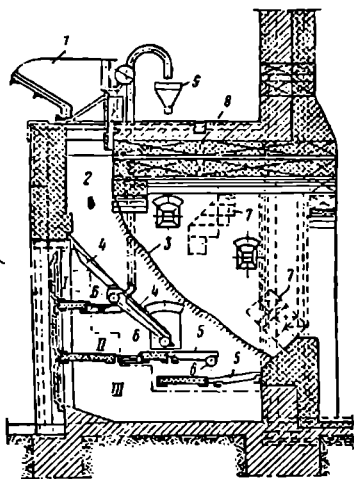
- 1-კოჭური ცეცხლიკება, 2-საყირავებელი ცეცხლიკები, წილს ჩამოსაცივანა,
- 3-ხეიმირა ნატრისა და წილისათვის, 4-ჩასატვირთი კარება,
- 5-სათბობის შრის გადაშფრავი თაღი, 6-მიხერი.

საცეცხლეებს დახრილი საფეხურებიანი ცხურათი. საცეცხლე დახრილსაფეხურებიანი ცხურათი ნაჩვენებია ნაკ. 3—16-ზე.

საერთოდ ასეთი ტიპის საცეცხლეების უარყოფითი მხარეა სათბობის ქვემოთკენ თანაბრად ჩამოკოცების მიღწევის სიმძნელე, განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში, როდესაც

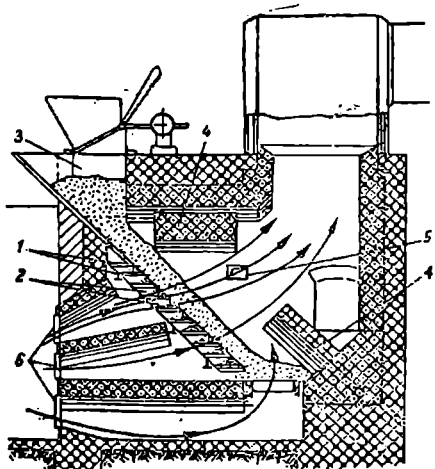
სათბობი შეიცავს დიდი რაოდენობით წიდის წარმომქმნელ ნაქარს. საცეცხლეები დახრილ-საფეხურებიანი ცხურათი გამოყენებას პოულობენ, როგორც გარდამს მიდგმული ან ქვედა საცეცხლეები, ცეცხლმილიანი და კვამლსაწვავ მილებიანი ორთქლის ქვაბებისათვის (ორთქლმავლის, ლოკომობილის და სხვ.). ნაკ. 3—16-ზე ნაჩვენებია დახრილ საფეხურებიანი ცხურათი აღჭურვილი საცეცხლეს გამოყენება, როგორც ქვედა საცეცხლესი ორთქლმავლის ან ლოკომობილის ქვაბისათვის.

ნაკ. 3—17-ზე ნაჩვენებია ნახევრად შექანიკური საცეცხლე თვითნაყურელით. ხვიშირიდან როგორც ქვანახშირები (უმთავ



ნაკ. 3—15 შახტური საცეცხლე ტორფისათვის:

1—ბუნირა ნაპერი ტორფის ჩასატყობავად, 2—შახტა შრე-ზე ნაქვრი ტორფის მისაწოდებლად, 3—წვის სარკე, 4—დაბრალი კოლბრი ცეცხლრიცხვი, 5—პორიზატორული ცეცხლრიცხვი, 6—საფრთხი მილაკი, 7—აგურის დაპატებებითი თაღები, 8—ბერეტი ფრენჯორფის ჩასაყვლად, 9—ცეცხლრიცხვიანი ცხურაჲს სარკეჲნი მილაკის გაპაციუებული წვლის ჩაოსაშვებო, I, II და III—ზოგბეა ცხურას სიგრძეზე ჰაერის მიწოდების რეგულირებისათვის.

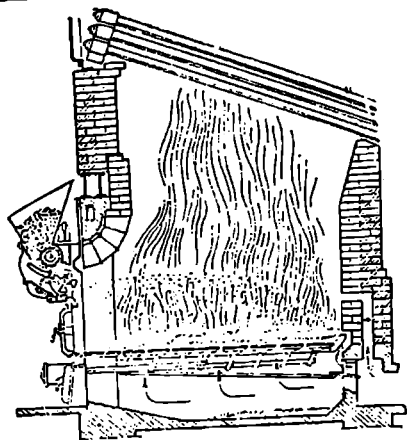


ნაკ. 3—16. საცეცხლე ნახერხის, ბურბუშელას, ჩენჩოს და სხვ. მსგავსი სათბობებისათვის.

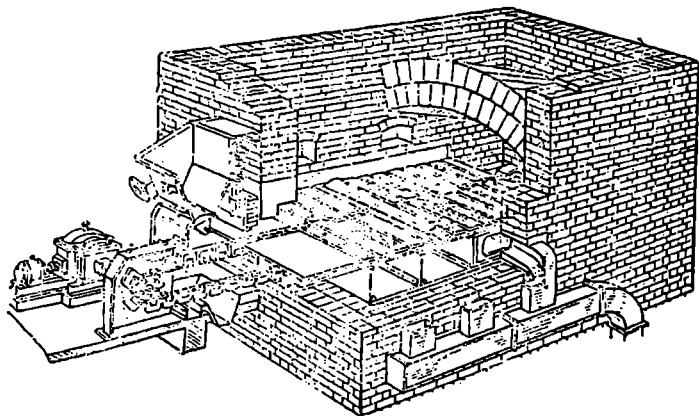
1—საფეხურებიანი ცეცხლრიცხვი, 2—ვკრითები ჰაერისათვის, 3—სათბობის მიწებები ხახა, 4—სარეკლი თაღი, 5—კარბეა ჰაერისათვის, 6—კარბეა ჰაერისა და ნაცისათვის.

რესად შეცხობადი), ისე ყველა სახის მურა ნახშირები ბედება მიმწოდებელზე და შემდგომ კი სწრაფად მბრუნავ (400—500 ბრ/წთ) თვითნაყურელის როტორის ნიჩბებზე. უქანასქნელი კი თავისი ნიჩბების საშუალებით ნახშირის ნატეხებს შეტყორცნის საყირავებული ცეცხლრიცხვისაგან შემდგარ ცხურაზე. შეყრილი ნახშირის წვირილმანი კი უმეტესად საცეცხლეს სივრცეში შეწონილ მდგომარეობაში იწვის.

ნახშირი ხვიშირაში მიწოდებამდე წინასწარ უნდა დახარისხდეს თანაბარზომიერი ნატეხების მიხედვით.



ნაქ. 3--17 ნახევრად მექანიკური
საცეცხლე თვითნაშვრულით.



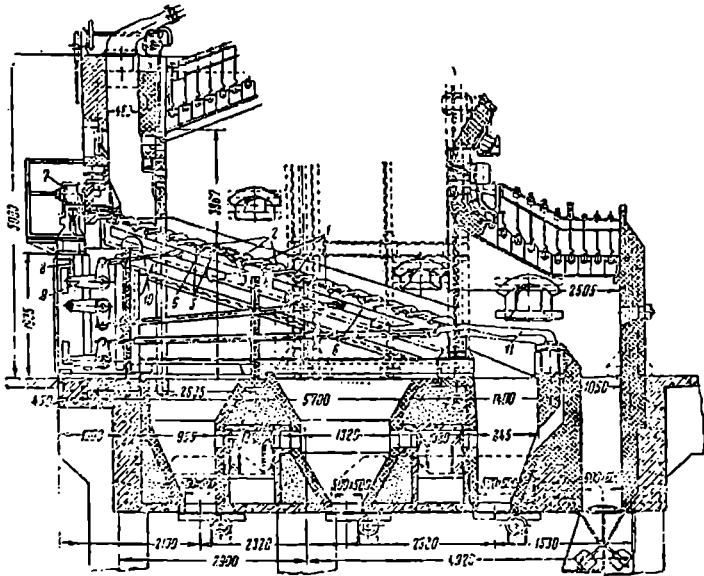
ნაქ. 3-18. საცეცხლე საჩრბეო თანასიო.

ნაკ. 3—16-ზე ნაჩვენებია საცეცხლე საჩრები თამასით. ასეთ საცეცხლეებში სათბობის მიწოდების, გაჩრების, ნაქრისა და წილის მოცილების პროცესების მექანიზაცია განხორციელებულია საჩრები თამასის საშუალებით.

საჩრები თამასიანი საცეცხლეს ცხურა შედგება მცირე ცოცხალკეთიანი (10—15%) ფილური ცეცხრიკებისაგან. სამწახნაოვანი მოძრავი თამასა თავისი შუა ნაწილით მიმაგრებულია უსასრულო ჯაჭვზე. ჯაჭვი დაცულია უშუალოდ ცეცხლის ზემოქმედებისაგან და ასრულებს უკუქვედა-გადატანით მოძრაობას. უსასრულო ჯაჭვი, რომელზედაც მიმაგრებულია თამასა, მოძრაობაში მოდის ელექტროენერჯის საშუალებით. თამასას შეუძლია გადაადგილება როგორც ცხურას მთელ სიგრძეზე, ისე მის ნაწილზე. საერთოდ ასეთ საცეცხლეებს საჩრები თამასით იყენებენ 35%-მდე ტენის მქონე მურა ნახშირებისათვის და, აგრეთვე, წესობადი ნახშირების დასაწვავად.

თუ მურა ნახშირების ტენიანობა აღემატება 35%-ს, საჭიროა ცხელი ჰაერის (200—400°C) შებერვის გამოყენება. ასეთი საცეცხლეები გამოიყენება სამრეწველო თბონერგეტიკაში. სწორად დაპროექტების შემთხვევაში საცეცხლეს შეუძლია მომსახურება გაუწიოს ქვაბაგრეტებს ორთქლმწარმოებლობით 4 დან 20 ტ/სთ მდე.

მექანიკურ შრისებრ საცეცხლეებში პროცესები შედარებით მექანიზებულია, რაც დიდ გავლენას ახდენს საქაბე დანადგარის ეკონომიურობაზე.



ნაკ. 3—19. საცეცხლე დახრილი გადასამიდგებელი ცხურათი

- 1—პირაქი ცეცხრიკები, 2—უძრავი ცეცხრიკები, 3—უძრავი ცეცხრიკების საყდენები, 4—უძრავი ჩარჩო, 5—პირაქი ცეცხრიკების საყდენები, 6—პირაქი ურეები, 7—სერვომოტორი, 8—ბარბაცა, 9—ბერეტორი, 10—წყა, 11—ცეცხრიკები წილისათვის.

სარკავშირში დიდი გავრცელება მოიპოვა მექანიკურ შრისებრ საცეცხლეებიდან საცეცხლემ დახრილი გადასამიდგებელი ცხურათი. აღნიშნული საცეცხლეები გამოიყენება დიდტენიანი და ნაკარუვი ადგილობრივი სათბობების (მურა ხაზირებისა და ფიქლის) დასაწვავად.

ნაკ. 3—19-ზე ნაჩვენებია საცეცხლე დაბრილი გადასაბიძგი ცხურათი მუ-
რა ნახშირების დასაწვავად. ხვიშირიდან სათბობი მიეწოდება ცხურაზე და შემდგომ
მასზე გადაადგილდება მოძრავი ცეცხლრიცების უკუქცევა-გადატანით მოძრაობის შე-
დეგად.

ცეცხლრიცების ბიძგით უკუქცევა-გადატანით მოძრაობის შედეგად სათბო-
ბის კარგი წერევა ხდება, რაც მის შენობას აჩქარებს და წვის პროცესს აძლიერებს.

ასევე საცეცხლეს ძირითადი ელემენტებია შენობი შატა, საფეხურებიანი ცხა-
ურა და ცეცხლრიცები სათბობის დაწვის დასამთავრებლად.

საცეცხლეს წინა და უკანა ნაწილი გადახურულია ეცეცხლგამძლე აკურის თაღებით.
ჰაერის მიწოდება განხორციელებულია ზონებად.

მიუხედავად იმისა, რომ საცეცხლე პროცესები სრულყოფილია, კონსტრუქციის
სირთულის გამო უკანასკნელ დროს მიმართავენ სხვა, უფრო გამარტივებულ კონსტ-
რუქციების საცეცხლეების გამოყენებას.

მექანიკურმა საცეცხლეებმა ჯაჭვური მოძრავი ცხურათი
ფართო გამოყენება ჰპოვეს საშუალო სიმძლავრის საჭეპბე დანადგარებში.

აღნიშნული საცეცხლეები გამოსა-
ყენებელია ახორციელების, არაშეცო-
ბადი ალიანი ქვანახშირების, მურა ნახ-
შირების და საშუალო ტენიანობის ტორ-
ფის დასაწვავად.

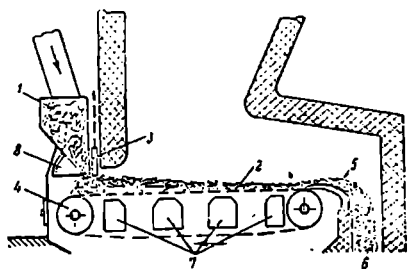
ნაკ. 3—20-ზე ნაჩვენებია ჯაჭვუ-
რი მოძრავი ცხურათი აღჭურ-
ვილი საცეცხლეს ხელი. როგორც სა-
ცეცხლეს დედიდან ჩანს, სათბობი ხვი-
შირიდა 1 მიეწოდება ჯაჭვურ ცხურა-
ზე 2. შიბერთ 3 წარმოებს სათბობის
შრის სისქის რეგულირება მოძრავ ჯა-
ჭვურ ცხურაზე.

ჯაჭვურ ცხურას ბოლოში მოთა-
ვებულია წიდის საფხეკი 5, რომლის მიერ აფხევილი წიდა იყრება სპეციალურ
ხვიშირაში.

წვის საფხეკის სავირო ჰაერის მიწოდება ეწყობა ზონების 7 მიხედვით, წვის პროც-
სის სტადიების შესაბამისად. საცეცხლეში წვის პროცესს ნორმალურად ჩატარებ-სათ-
ვის ჯაჭვური ცხურას მოძრაობის სიჩქარე რეგულირდება 2 დან 30 ზ/ს-მდე. სიჩქარის
რეგულირება ხდება ელექტროძრავის ბრუნთა რიცხვის ცვლით (მულტიპლიკატორის პირო-
ბებში). რეგულირდება სათბობის მიწოდებაც ხვიშირაზე. სავირო ხდება აგრეთვე სათ-
ბობის დახარისხება ზომების მიხედვით ცხურაზე გაშიშვლებული ადგილების თავიდან
ასაცილებლად. სათბობის ტენიანობა არ უნდა აღემატებოდეს 20%-ს, ხოლო ნაკრიბა-
ნობა უნდა იყოს აგრეთვე არაუმეტესი 20%-ისა.

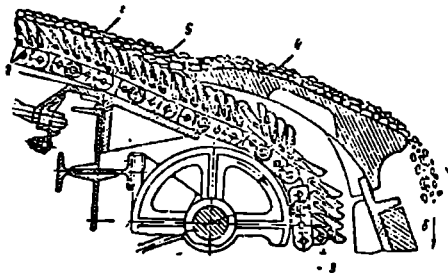
უკანასკნელ ხანებში ჯაჭვურ საცეცხლეებში იყენებენ უცეცხლად ცეცხლრიცებს (ნაკ.
3—21), რომლებიც იცავენ სათბობის წვრილმანს ჩაცეცხლსაგან.

ნაკ. 3—22 ზე მოცემულია პროფ. მაკარევის კონსტრუქციის საცეცხლე ფრენტორ-
ფის დამატებით ნაჭერი ტორფის დასაწვავად. საცეცხლეს აქვს შატი. რომელიც საცე-
ცხლეს სივრცეიდან განცალკევებულია წყლით გათივებული ლრუტანიანი ორი წყება კო-



ნაკ. 3—20. ჯაჭვური მოძრავი-ცხურათი
საცეცხლე, საერთო ხელი.

ქებით. ქვედა ლრუტანიანი კოპი ამავ დროს გამოყენებულია ცხურაზე საბოძის სისქის რეგულირებისათვის. შახტაში საბოძის სისქე არ უნდა აღემატებოდეს 0,8 მ ს. შედარებით გამომშრალი ტორფის შემთხვევაში საბოძის სისქე შახტაში უფრო მეტი იღება. თუ ტენშემცველობა აღემატება 35%-ს, მაინც აუცილებლად გამოყენებული უნდა იქნეს ცხელი ჰაერის (200—250°C) შებერვა.

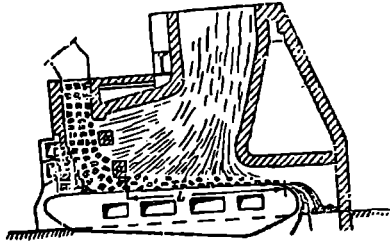


ნაკ. 3—21. ჯაჭვური ეზურას უცეცხვანი ცეცხლოვანი და წილის ამფიკი.
1—სეკონდა ჯაჭვური ცხურის ზედაპირი, 2—სეკონდა, 3—ნაშონაკეობის მიცალვა, 4—წილის ამფიკი.

აზრდება შახტში ვერტიკალური შრის წინააღმდეგობა და უარესდება ტორფის მუშაობის პირობები.

პროფ. მაკარევის საცეცხლეები ეწყობა 10-დან 200 ტ/სთ-მდე

ნაკ. 3—22. პროფ. მაკარევის შახტურ-ჯაჭვური საცეცხლე.



ორთქლმწარმოებლობის ორთქლის ქვაბებისათვის.

3—19, ძამარული საცეცხლეები (მბარისმბრი საბოძის დაწვისათვის)

კამერულ საცეცხლეებში ნახშირის, ტორფისა და სხვა მყარი საბოძის მტერისებრ მდგომარეობაში დაწვას, საბოძის სხვა წესით დაწვასთან შედარებით, მთელი რიგი უპირატესობა აქვს; დაწვისას შეიძლება გამოყენებულ იქნეს დაბალი ხარისხის ნაცარ უხვი და დიდტენიანი მურა ნახშირები; წვის პროცესი შედარებით სრულყოფილია და მიმდინარეობს ჰაერის მკირე სიჭარბით; გაადვილებულია საცეცხლეს მუშაობის სწრაფი რეგულირების შესაძლებლობა, შეუზღუდველია საცეცხლეს სიმძლავრე.

ნახშირის მტერის მოშადების ძირითადი ოპერაციებია: დამსხვრევა, გაშრობა და დაფქვა.

ნახშირის წინასწარ დამსხვრევა ხდება მაშინ, როდესაც ნატეხები მსხვილი ზომისაა. საბოძის წვირლ ნატეხებად დამსხვრევა ხდება ლილვაკებიანი და ჩაქუჩებიანი ტიპის სამსხვრეველებში. საბოძის წინასწარ დამსხვრევის აქვს შემდეგი მიზანი: გააადვილებს საფქვავე წისქვილების მუშაობას და დააჩქარებს მალალტენიანი საბოძების გაშრობას

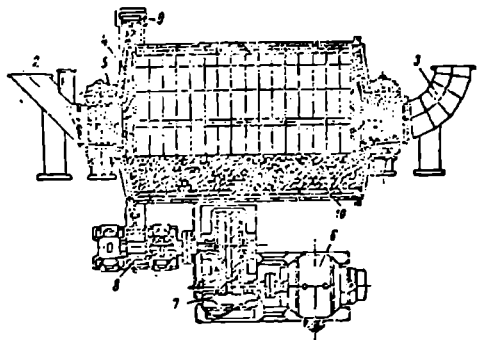
რობის პროცესს. ნახშირის კარბი ტენიანობა უკიდურესად ახდენს წისქვილების მუშაობას.

საბოლოო დასაფქველად არსებობს სხვადასხვა კონსტრუქციის წისქვილები, რომელთა შორის სსრ კავშირში დიდი გავრცელება ჰპოვეს ლენინგრადის ლითონის ქარხნის (ЛМЗ) დოლისებრი ბურთებიანმა წისქვილებმა.

ნაქ. 3-23-ზე ნაჩვენებია დოლისებრი ბურთებიანი წისქვილის სქემა. წისქვილს აქვს მბრუნავი ფოლადის დოლი, რომელიც შიგა შირიდან მოპირკეთებულია ტალღოვანი ჯაგუნითანი ფილით. დოლის მთელი მოცულობის 33%-მდე უკავია 30 - 50 მმ დიამეტრის მქონე ფოლადის ბურთებს. დოლის ბრუნვა რიცხვი რეგულირდება ზღვრებში 18 ± 25 ბრ/წთ.

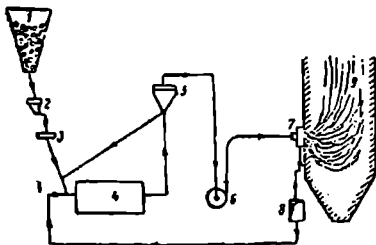
სატაყების შიგა ნაწილი, რომელზედაც დაყრდნობილია დოლი (ხაზა), არის ღრუ. დამსხვრეული ნახშირა და მასთან ერთად ცხელი ჰაერი ან აირები მიეწოდება დოლში მიღველიდან 2, ხოლო წისქვილში დაფუკილი ნახშირის მტკერი წარიტაცება ჰაერის ნაკადით უკანა მიღველიდან.

ჰაერის ნაკადის მოძიარობის სიჩქარე დოლში იღება ზღვრებში $1 \pm 1,2$ მ/წმ. წისქვილის დოლიდან ნახშირას მტკრიანი ჰაერი მიეწოდება სებაოატორში, ხოლო წარტა-



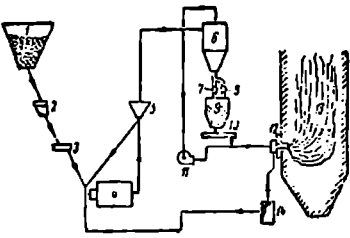
ნაქ. 3-23. ЛМЗ-ის დოლისებრი ბურთებიანი წისქვილის სქემა.

- 1-ფოლადის დოლი, 2-ნახშირი/წიფუნავი პილავი, 3-ნახშირის მტკრიანი/წიფუნავი პილავი, 4-ტრისული ცხელი, 5-საფოლადი საყარა, 6-ელექტროძილა, 7-ტექტურა, 8-წიფუნავი გრადი, 9-სხილა გვარჯიში, 10-დოლის ზედაპირი.



ნაქ. 3-24. მტკრის დამზადების ინდივიდუალური სისტემის სქემა:

- 1-დაზარებული ტენიანი ნახშირის ხეივრა, 2-საწორი, 3-მკვებავი, 4-წისქვილი, 5-სებაოატორი, 6-წისქვილის ვერტიკალური, 7-საწიფუნავი, 8-სხილა ჰაერის გაანაწილებელი კოლოფი, 9-სატყბელი კაშხრა.



ნაქ 3-25. შედარებით მცირე დაზარებული მტკრის დამზადების სქემა:

- 1-ტენიანი ნახშირის ხეივრა, 2-საწორი, 3-მკვებავი, 4-წისქვილი, 5-სებაოატორი, 6-სატყბელი, 7-საწიფუნავი, 8-წიფუნავი, 9-სტრის შედარებით ხეივრა, 10-საწიფუნავი მობი, 11-სებაოატორი, 12-საწიფუნავი, 13-სატყბელი კაშხრა, 14-სხილა ჰაერის გაანაწილებელი კოლოფი.

ცებული ნახშირის შედარებით მსხვილი ნაწილაკები უკან ჩამოეწევა დოლში. ფრეზული ტორფისა და მურა ნახშირების დასაფქველად უკანასკნელ ხანებში უძეტესად იყენებენ ნახშირის წისქვილებს.

ნახშირის მტერის დამზადებისათვის არჩევენ ორ სისტემას: 1—ინდივიდუალურს და 2—მტერის შუალედური ხვიმირით.

მტერის დამზადების ინდივიდუალური სისტემის სქემა ნაჩვენებია ნაკ. 3—24-ზე, ხოლო შუალედური ხვიმირით ნაკ. 3—35-ზე.

მტერის დამზადების სისტემათა მუშაობის სქემა ადვილი წარმოსადგენია (3—24) და (3—25) ნაკეთების ქვემოთ მოცემულ სქემათა მდგენელი ელემენტების დასახელებით.

მტერის დამზადების ინდივიდუალური სისტემა შედარებით მარტივი მოწყობილობისაა, მაგრამ აუცილებელი პირობაა ქვაბაგრეგატისა და წისქვილის მწარმოებლობათა მკაცრად თანადობა, რაც ექსპლოატაციის პირობებში არსებით ნაკლს წარმოადგენს.

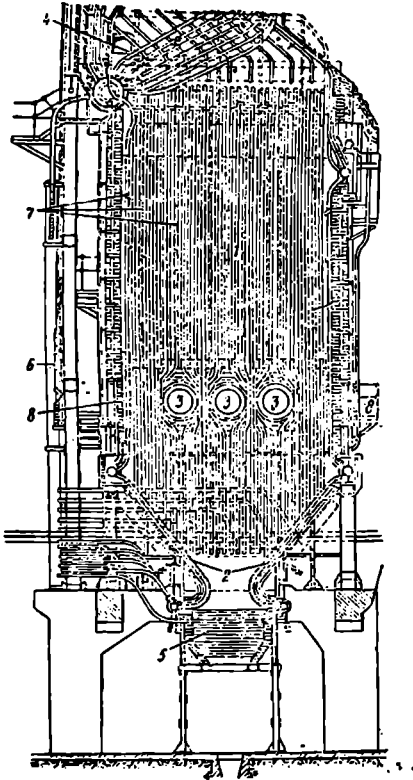
შუალედური ხვიმირით ნახშირის მტერის დამზადების სისტემამ სსრ კავშირში დიდი გავრცელება ჰპოვა. შუალედურ ხვიმირაში დაგროვებული მტერის მარაგი 4—6 საათის განმავლობაში საცეცხლის მუშაობის საშუალებას იძლევა.

საცეცხლეს კამერა, რომლის გვერდით კედლებზე გაადგილებულია სანთურები, წარმოადგენილია ნაკ. 3—26-ზე. კამერის მოპირდაპირე კედლებში გაადგილებული სანთურები ნახშირის მტერს აწვდიან შემხედრი ნაკადით საცეცხლს სივრცეში მტერისა და ჰაერის ერთმანეთში უკეთ შერევისათვის. როგორც ნაკვთიდან ჩანს, საცეცხლე მთლიანად ეკრანირებულია.

კამერული საცეცხლეებიდან დიდი გავრცელება მოიპოვა შახტურ წისქვილიან საცეცხლებმა, ფრეზტორების საცეცხლებმა, შერწყმვის სწევმატიკურმა საცეცხლემ და სხვ.

3—20. ციკლონური საცმსხლიში

როგორც 3—17 პარაგრაფში იყო აღნიშნული, გრივალისებრი ხერხით წვა ემყარება ჰაერის გრივალის ტრანსპორტირების უნარს. გრივალისებრი ხერხით წვის ანუ ციკლონურ საცეცხლებში შესაძლებელია არა მარტო ნახშირის მტერის დაწვა, არამედ შედარებით მსხვილად დამსხვრეული ნახშირის დაწვაც. დამსხვრეული ნახშირის ნატეხების ზომების სიდიდე დამოკიდებულია გრივალეების ბრუნთა ინ-



ნაკ. 3—26. საცეცხლე გვერდით კედლებზე სანთურების გაადგილებით.

1—გეანირებული საცეცხლე კამერა, 2—ცივი ძაბრა, 3—სანთურები, 4—ორბრუნოვანი საფლავიანი შიდა კონა, 5—ხვიმირა წვილისათვის, 6—ვარტიალურა შიდა კონის კვანძისათვის, 7—ორბრუნოვანი წვილის სახერხე მოწყობილობა, 8—შაქტის ამსუბა სარტყლი.

ტენსიობაზე, რომელიც პირობადებულია ტანგენციალურად მიწოდებული ჰაერის გამოღინების სიჩქარეებზე.

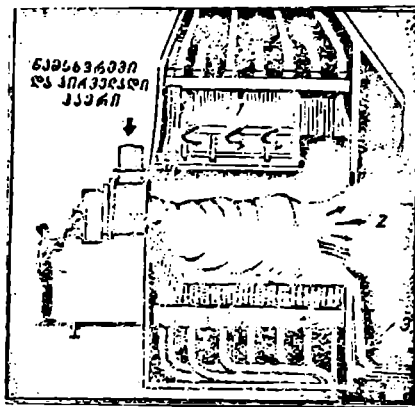
ნაკ. 3—27-ზე ნაჩვენებია ჰორიზონტალური ციკლონური წინა საცეცხლე.

ჩირალდნული წვით მომუშავე საცეცხლეებში მცირე აქროლადებიანი სათბობების მტერის ნაწილაკების ზომები არ უნდა აღემატებოდეს 100 მიკრონს.

წვის მალალრეაქციული სათბობების შემთხვევაში მტერის ნაწილაკების ზომები დასაშვებია ცრტათი მეთი. მაგრამ, თუ მტერის ნაწილაკებს აქვს ზომა 0,5 მმ-ზე მეტი, შესაძლოა ნაწილაკების გამოცივინა ჩირალდნიდან დაუწყველ მდგომარეობაში.

ციკლონურ საცეცხლეებში შესაძლებელია ნახშირის ნამსავერეების (5—6 მმ და მეტი სიდიდის) დაწვა. სათბობის ნატეხები ციკლონში ბრუნავენ მანამ, სანამ არ დაიწვებიან მთლიანად ან სანამ გარეხედაპირული ნაწილები არ შემოეწვებათ ისე, რომ აირების ნაკადი ვერ შეძლებს მათ გატანას გასასვლელი ყლიდან.

ჰორიზონტალურ ციკლონურ წინასაცეცხლეებში პირველადი ჰაერის შედინებია სიჩქარე აღწევს 120 მ/წმ, რაც აპირობებს ჰაერის გრიგალის ინტენსიურ ბრუნვას. მაგრამ ასეთი სიჩქარით ჰაერის შედინება მოითხოვს ჰაერის გაღებულ წნევას. ჰორიზონტალური ციკლონური წინასაცეცხლეების გარდა, აგრეთვე გამოიყენება ვერტიკალური ციკლონური წინასაცეცხლეები.



ნაკ. 3—27. ჰორიზონტალური ციკლონური წინასაცეცხლე.

1—მუთადი ჰაერის მიწოდება, 2—დაწვის ნაწარმის გასვლა საცეცხლეში, 3—თვავადი წილის ჩაფინავა.

3-21. საციცხლეები თხევადი და აირადი სათბობებისათვის

საბჭოთა კავშირის კომუნისტური პარტიის რიგგარეშე XXI ყრილობის დადგენილებათა საფუძველზე, ამჟამად თხევადმა სათბობმა მასშტის სახით და აირის სათბობმა, განსაკუთრებით ბუნებრივი აირების სახით, თბოენერგეტიკაში ფართო გამოყენება პოვა.

საქებზე დანადგარები, რომლებშიაც სათბობად გამოიყენება თხევადი და აირადი სათბობი, შედარებით მარტივია თავისი მოწყობილობით; უფრო იაფი ჯდება როგორც მისი მშენებლობა, ისე ექსპლუატაცია.

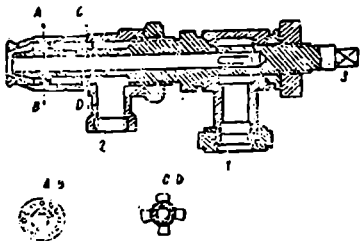
თავიდან აცილებულია სათბობის მომზადების, მფრინავ ნაქრის დამკერი და ნაქრის მოსაცილებელ მოწყობილობათა დადგმა. მიღწეულია საცეცხლეების მოქნილი მუშაობა დატვირთვის ფართო დიაპაზონებში. გამარტივებულია საცეცხლეს მუშა პროცესების მექანიზაცია და ავტომატიზაცია. აღილი არა აქვს მფრინავი ნაქრით კონვექციური ხურების ზედაპირების გაცვეთას და გაქუქყინებას.

ასეთი სახის სათბობის დაწვისას მიღწეულია შედარებით დიდი ეკონომიურობა; საცეცხლე მუშაობს ჰაერის დაბალი სიჭარბის კოეფიციენტით და მაღალი მ. ქ. კოეფიციენტით. აღილი არა აქვს სითბოს დანაკარგებს წილის, ნაქრისა და მექანიკურად უსრულო წვის სახით.

თხევად სათბობად საქებად დანადგარების საცეცხლეებში, როგორც წესი, გამოიყენება, ნეთი-ბის გაღამუშავების ნარჩენი—მაზუთი. თხევად სათბობის დაწვის პროცესი საცეცხლე კამერებში ხორციელდება ფრქვევანების საშუალებით. საცეცხლის კამერაში ფრქვევანით შეფრქვეული თხევადი სათბობის მცირე ზომის წვეთები შეტალ სწრაფად ორთქლდებიან და ჰაერთან კარგი შერევით მთლიანად იწვევებიან.

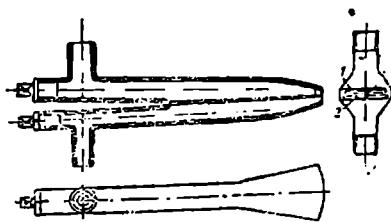
მაზუთისათვის გამოიყენება ფრქვევანები ორთქლით (იშვიათად შეკუმშული ჰაერით) გაფრქვევით და მექანიკური. უკანასკნელში გაფრქვევა ხორციელდება მაზუთზე მექანიკური ზეკმედებით.

ნაკ. 3—28-ზე ნაჩვენებია შუბოვის ორთქლის მრგვალი, სოლო ნაკ. 3—29-ზე ბრტყელი ფრქვევანა.



ნაკ. 3—28. შუბოვის სისტემის ორთქლის მრგვალი ფრქვევანა.

1—ნახულის შესასვლელი, 2—ორთქლის შესასვლელი, 3—კვადრატი ორთქლის გამოსასვლელი ღრუ-ჩაპიდის რეგულირებისათვის.



ნაკ. 3—29. ორთქლის ბრტყელი ფრქვევანა.

1—მაზუთის გამოსასვლელი, 2—ორთქლის გამოსასვლელი.

ნაკ. 3—28-ზე ნაჩვენები შუბოვის მრგვალი ფრქვევანა მუშაობს შემდეგნაირად: ამოღებულ ადგილზე მდებარე ავზიდან მაზუთი თვითღინებით შედის ფრქვევანას მაზუთის შესასვლელ მილულში (1) და იქიდან შპინდელის შიგა არაში, რომელსაც ბოლოზე მრგვალი ფორმის ხერტი აქვს. ორთქლი მილულიდან (2) შედის შპინდელის ირგვლივ კონცენტრირებულ სიერცეში, რომელიც რგოლური ხერტის მსგავსია. ორთქლი რგოლური ხერტიდან გამოდივებისას ახლოს გაივლის ხერტიდან შპინდელის ბოლოსთან, თან წარიტაცებს მაზუთის წვეთებს და შეაფრქვევს საცეცხლის კამერაში. ფრქვევანიდან ორთქლის ჰაელის გამოდივების სიჩქარე 300—350 მ/წმ-ს აღწევს, ხოლო მაზუთის ჰაელის გამოდივებისა—1,2 მ/წმ-ს.

კლოგრაში მაზუთის გაფრქვევაზე ფრქვევანა ხარჯავს დაახლოებით 0,3—0,6 კვ ორთქლს, რაც ორთქლის ქვაბის ორთქლმწარმოებლობის 3—5% -ს შეადგენს. ორთქლის ფრქვევანების მწარმოებლობა შეზღუდულია და მისი მაქსიმუმი 400 კვ/სთ. შეკუმშული ჰაერით მაზუთის გაფრქვევა იმავე პრინციპზეა დამუარებული, რაზედაც ორთქლის ფრქვევანა, მაგრამ საქვაზე ავრევა-ბუების საცეცხლებში ეს პრინციპი იშვიათადაა გამოყენებული, ვინაიდან შეკუმშული ჰაერის მისაღებად საჭიროა კომპრესორი.

ტიპობრივი მექანიკური ფრქვევანა ნაჩვენებია ნაკ. 3—30-ზე. ასეთ ფრქვევანებში მაზუთი მიეწოდება 10—12 ატმ წნევის ქვეშ.

მაზუთი გაივლის რა დამაგრილებელ საყელურს, ფრქვევანას ნახერტიდან გამოდინდება დიდი სიჩქარით, რაც აპირობებს მის წმინდა გაფრქვევას.

მექანიკური ფრქვევანის გამოყენებისას აუცილებელ პირობას წარმოადგენს მახუ-
თის 70--80°C ტემპერატურამდე შეთბობა მისი სიბლანტის შემკირების მიზნით.

თხევადი სათბობის დაწესათვის საჭიროა საცეცხლეს კამერას ჰქონდეს სათანადო
მოკულობა და კონფიგურაცია. აგრეთვე დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ფრქვევანას შერ-
ჩევას და მისი დაყენების სისწორეს.

აირადი სათბობის დაწვის
პროცესი შეიძლება განხორციელდეს სა-
მი შეთოდით:

ა) წინასწარ მომზადებული აირისა და
ჰაერის ერთგვაროვანი (ჰომოგენური) ნარე-
ვი მიეწოდება სანთურას საშუალებით საცე-
ცხლეს კამერაში. ასეთ შემთხვევაში წვის
პროცესი საცეცხლეს კამერაში მიმდინარეობს
ჰაერის მულმივი სიკვარბის კოფორციენტის
დროს;

ბ) ნარევის (აირი--ჰაერი) წვა მიმდ-
ნარეობს მის წარმოქმნასთან ერთდროულად.
აღნიშნულს აქვს ადგილი, როდესაც წვის
პროცესი მიმდინარეობს მაღალი ტემპერა-
ტურების დროს და სათბობის წვის სიჩქარე
ნარევის წარმოქმნის სიჩქარის ტოლი იქნება. განხილულ შემთხვევაში ნარევის ძირითად
წარმოქმნელად განიხილება სანთურას აპ:რადი. ნარევის წარმოქმნის სიჩქარის რეგუ-
ლირების შესაძლებლობა აპირებებს მის ფართო გამოყენებას საქებაზე დანადგარებში;

გ) სანთურას აპარატში ადგილი აქვს აირის შერევას წვისათვის საჭირო ჰაერის
ნაწილთან, ე. წ. პირველად ჰაერთან, ხოლო დანარჩენი ჰაერი, ე. წ. მეორად ჰაერი
მთლიანად მიეწოდება სანთურას გამოსასვლელთან, საიდანაც გამოდის პირველადი ნა-
ოვეი. ნარევის საჭირო ტურბულიზაცია მიიღწევა პირველადი ნარევისა და მეორადი ჰა-
ერის ნაკადთა ურთიერთგადაკვეთით, რაც ხორციელდება ხრახნული ჩასადგმელების ან
სხვა რაიმე კონსტრუქციული მოწყობილობების გამოყენებით.

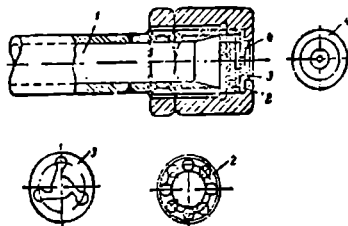
აირადი სათბობების მრავალრიცხოვანი ტიპის სანთურები წარმოადგენენ აირის სა-
ცეცხლეების ძირითად ელემენტებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ სათბობის სრულ და
ეკონომიურ დაწვას.

სანთურები მათში მიწოდებული საწვავი აირის წნევის ზიხედვით შეიძლება დაიყოს
სამ ჯგუფად:

- ა) დაბალი წნევის 100 მმ წყ. სე.,
- ბ) საშუალო წნევის 0,5--0,6 ატმ, და
- გ) მაღალი წნევის 2 ატმ და მეტი.

კონსტრუქციული შესრულების სახის მიხედვით ფართო გავრცელება ჰპოვეს შემ-
დგემა სანთურებმა: რგოლურმა, მილმა მილში და მრავალჭკვიტეებიანმა და სხვ. უნდა
აღინიშნოს, რომ ამჟამად მიმდინარეობს დიდი სამეცნიერო და კონსტრუქციული მუშა-
ობა სანთურების გაუმჯობესებელი ტიპების შექმნაზე.

ნაკ. 3--31-ზე ნაჩვენებია რგოლური სანთურა, რომელიც თავისი კონსტრუქციის მი-
ხედვით მეტად მარტივია და შესრულებულია აირის რგოლური ხვიშირის სახით; ამ
უკანასკნელს აქვს ხვრეტები დიამეტრით $d=3-6$ მმ. საცეცხლში მისაწოდებელი ჰაერი
წინასწარ გაივლის კონუსურ ან ცილინდრულ რეგისტრში, სადაც ის განიცდის დარბ-

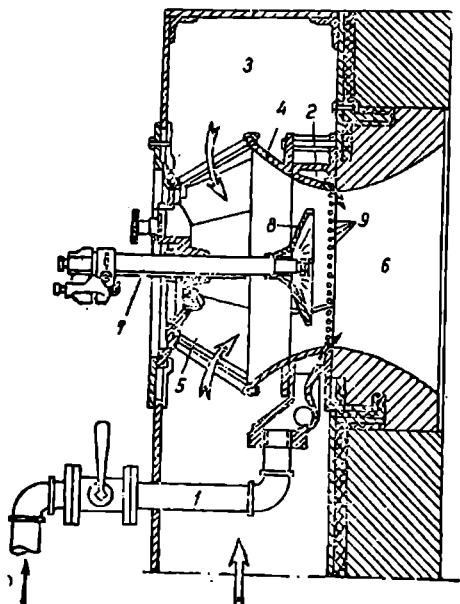


ნაკ. 3--30. ტოპობრივი ნექანიკური
ფრქვევა.

1--ცენტრალური ანბა მახულისათვის, 2--განახრავილებელი
საველური, 3--დაპარირებული საველური, 4--გაქანს-
ვლელი საველური მრგვალი ხვრეტით.

გაღებას. შემდეგ რეგისტრიდან დაგრივალეზული ჰაერი გაივლის აირის რგოლურ ხე-
მირას, რომლის პერიფერიაზე განლაგებული მცირე დიამეტრის ხერტებიდან ჰაერს წვრი-
ლი ჰაელენის სახით შეერევა აირი და საცეცხლეში შეედინება გამზადებული ნარევი.

რგოლურ სანთურებს შეუძლიათ იმუშაონ აირის ნებისმიერი წნევის დროს, მათი



ნაქ. 3—31. აირის რგოლური სანთურა.

1—აირაჟი სათბობის ნიჟოდეზა, 2—აირის რგოლური ხეშირა, 3—ჰაერის
უეიზრა, 4—ჰაერის რეგისტრი, 5—ჰაერის რეგისტრის სამრუნი დამაგ-
რაჯალეზული ნიჟბე, 6—სანთურას ამრაზურა, 7—მაზუთის ფრქვევანა,
8—კონუსი, 9—ხერტები აირის გამოსასვლელად.

დამზადება შეიძლება ნებისმიერი
მწარმოებლობის. აირისა და მა-
ზუთის შერეული დაწვისათვის სან-
თურას ლერძის გასწვრივ დამაგ-
რებულია მაზუთის ფრქვევანა 7
დამცველი კონუსით 8, რომელიც
მაზუთის ჩირაღდანს იცავს ჰე-
რით ვაცივებისაგან.

აირის რგოლური ხეშირის
ხერტებიდან 9 გამოძვალი აირის
გამოღინების სიჩქარე აიღება მცი-
რე მწარმოებლობის სანთურები-
სათვის არანაკლებ 30 მ/წმ-ისა,
ხოლო დიდი მწარმოებლობის სან-
თურებში 100 მ/წმ-ს აღწევს.

სანთურებს არ ახასიათებთ
დიდი წინაღობანი და ჰაერის შე-
დარებით დაბალი სიჭარბის კოე-
ფიციენტის ($\alpha=1,1$) დროს უზ-
რუნველყოფენ სათბობის სრული
წვის პროცესს.

მილი მილში ტიპის
სანთურები არსებობენ სხვა-
დასხვა კონსტრუქციისა, მათ
შორის აღსანიშნავია „БПК“-ს,
„ВТИ“-ს და მოსენერგოს სისტე-
მის სანთურები. აღნიშნული სან-
თურები წარმატებით გამოიყენე-
ბიან საშუალო და დიდი მწარმო-

ებლობის საქებზე დანადგარებში; ისინი თავისი საექსპლოატაციო და ეკონომიური მაჩ-
ვენებლებით არ ჩამოუვარდებიან აირის რგოლურ სანთურებს.

ნაქ. 3—32. ზე ნაჩვენებია „БПК“-ს სასტემის აირის სანთურა.

ასეთ სანთურებში აირი მიეწოდება ცენტრალური მილის 3 საშუალებით, რომლის
ბოლოზე ირგვლივ განლაგებულია პერიტეები აირის ჰაელის გამოღინებისათვის.

პერიტეებიდან გამოღინებული აირის ჰაელის მიმართულება მილის ზედპირის მარ-
თობულია; ლოკოინისებრ მიმწოდებელში მიღებული გრივალისებრი ჰაერი მიეწოდება
გარე მილით, რის შედეგად ადგილი აქვს აირის მიხაწოდებელი ცენტრალური მილის 3
ირგვლივ ჰაერის ნაქადის ბრუნვას.

აღწერილი სანთურა შეიძლება აგრეთვე გამოყენებულ იქნეს აირისა და მზუთის ერთად დაწვისათვის.

სანთურას ნწარმოებლობა აირის მიხედვით არ აღემატება 1500—2000 ნმ³/სთ.

ვ-22. საცეცხლემზის ნორმები და მახასიათებელი პარამეტრები

საცეცხლეს სიმძლავრე განისაზღვრება ერთი საათის განმავლობაში საცეცხლეში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობით:

$$Q_{\text{სა.}} = B \cdot Q_{\text{შ.}}^{\text{გ}}, \quad \text{კკალ/სთ,} \quad (3-65)$$

სადაც B კგ/სთ არის სათბობის საათური ხარჯი;

$Q_{\text{შ.}}^{\text{გ}}$ კკალ/კგ—სათბობის მუშა უძაბლესი დაწვის სითბო.

წვის სარკე ეწოდება საცეცხლეში სათბობის შრის წვის ზედაპირს. წვის სარკის ზედაპირს ფართობი, რომელიც აღინიშნება $R_{\text{წ.}} \text{ მ}^2$, შეიძლება შესამჩნევად განსხვავდებოდეს ცეცხლრიკების ცხურას გეომეტრიული (პორიზონტალური) ზომებისაგან $R \text{ მ}^2$.

წვის სარკის ხილული სითბური დაძაბულობა ეწოდება საცეცხლეში ერთი საათის განმავლობაში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის $Q_{\text{სა.}}$ შეფარდებას წვის სარკის ზედაპირთან $R_{\text{წ.}}$, ე. ი.

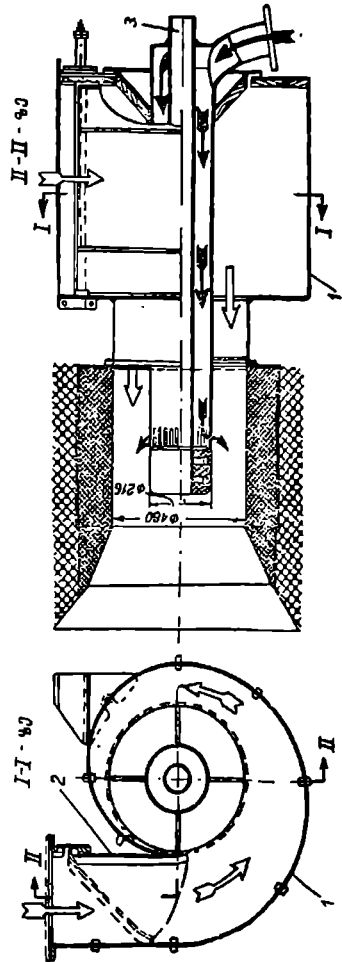
$$\frac{Q_{\text{სა.}}}{R_{\text{წ.}}} = \frac{B \cdot Q_{\text{შ.}}^{\text{გ}}}{R_{\text{წ.}}}, \quad \text{კკალ/მ}^2 \text{ სთ.} \quad (3-66)$$

საცეცხლეს სივრცის ხილული სითბური დაძაბულობა ეწოდება საცეცხლეში ერთი საათის განმავლობაში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის $Q_{\text{სა.}}$ შეფარდებას საცეცხლეს სივრცის მოცულობასთან $V_{\text{სა.}}$, ე. ი.

$$\frac{Q_{\text{სა.}}}{V_{\text{სა.}}} = \frac{B \cdot Q_{\text{შ.}}^{\text{გ}}}{V_{\text{სა.}}}, \quad \text{კკალ/მ}^3 \text{ სთ.} \quad (3-67)$$

შრისებრი საცეცხლეებისათვის ხილული სითბური დაძაბულობანი $\frac{Q_{\text{სა.}}}{R_{\text{წ.}}}$ და

$\frac{Q_{\text{სა.}}}{V_{\text{სა.}}}$ წარმოადგენენ პირობით მახასიათებლებს, განსხვავებულს ნამდვილ სითბურ დაძა-



ნაკ. 3—32. БИЛ სიტემის აირის სანთურა.

1—ქვერის ლაყვიანსებრი მისწავებელი; 2—აბჯრი, მ—ცენტრალური შილი. თუ არი ისრები აღნიშნულია წიწვებზე, ხალ მათი აკონი მარჯვნივ.

ბულობებისაგან. როგორც ცნობილია, შრისებრ საცეცხლეებში $Q_{\text{სა.}}-ს$ ნაწილი $Q_{\text{ზ.}}$ გა-
 სიოყოფა წრეში წვის დროს, ხოლო მეორე ნაწილი $Q_{\text{კ}}$ კი — საცეცხლეს კამერაში, ე. ი.
 $Q_{\text{სა.}} = Q_{\text{კ}} + Q_{\text{ზ.}}$ კვალ/სთ. აღნიშნულის მხედველობაში მიღებით საცეცხლე სარკის
 ნამდვილი სითბური დაძაბულობა გამოისახება სიდიდით $\frac{Q_{\text{ზ.}}}{R_{\text{ფ.ს.}}}$ კვალ/მ² სთ, ხოლო საცეც-

ხლე კამერის სიგრძის ნამდვილი სითბური დაძაბულობა კი გამოისახება სიდიდით
 $\frac{Q_{\text{კ.}}}{F_{\text{სა.}}}$ კვალ/მ² სთ.

ვინაიდან ჯერჯერობით არ არსებობს $Q_{\text{ზ.}}$ და $Q_{\text{კ.}}$ სიდიდეთა ცალ-ცალკე განსაზ-
 ლერის პრაქტიკული მეთოდები, სითბურ გაანგარიშებათა დროს სარგებლობენ ხილული
 სითბური დაძაბულობების პირობითი მნიშვნელობებით.

საბოლოო ხარისხით აღნიშნული წესით წვის შემთხვევაში საცეცხლეს მუშა-
 ბის ინტენსიურობა ხასიათდება საცეცხლე კამერის სითბური დაძაბულობით.

ამგაზად ტექნიკას დიდი რაოდენობით გააჩნია საცეცხლების სითბური დაძაბულო-
 ბათა დასაშვები სიდიდეების ექსპერიმენტული მონაცემები, ყველა სახის საბოლოოსათვის
 და მათი წვის სხვადასხვა ხერხისათვის.

ამგაზად საცეცხლეების გაანგარიშებებისა და პროექტირების დროს სარგებლობენ
 „СКТИ“-სა და „ВТИ“-ს გაერთიანებული დაწესებულებული ნორმებით.*

თ ა ვ ი 3-7

ორთქლის ქვაბების ძირითადი ტიპები

3-23. ძირითადი ცნებანი

ორთქლის ქვაბი წარმოადგენს განსაზღვრული კონფიგურაციის დახშულ ლითონის
 ქურქულს; მისი დანიშნულებაა წარმოქმნას გარკვეული პარამეტრების მქონე ტენი-
 ანი ნაჯერი ორთქლი.

ქვაბში მოთავსებულია ტენიანი ნაჯერი ორთქლის მისაღები საქვაბე წყალი; მისი
 ხურების ზედაპირი იმყოფება საცეცხლეს ცხელ აირებთან შეხებაში, ე. ი. ორთქლის
 ქვაბი წარმოადგენს საქვაბე დანადგარის ძირითად თბოგადაცემს.

ორთქლის ქვაბების მთავარ მახასიათებელ პარამეტრებად ითვლება მისი ორთქლ-
 მწარმოებლობა D კგ/სთ და მიღებული ტენიანი ნაჯერი ორთქლის წნევა p კგ/სმ² ($p_{\text{კ}}$),
 ხოლო ორთქლგადაშურების არსებობის შემთხვევაში დამატებით ორთქლის გადახურე-
 ბის ტემპერატურა $t'_{\text{გა.ს.}}$.

ორთქლის ქვაბების დაჯგუფებას ახდენენ უმთავრესად ორთქლმწარმოებლობის, ორთ-
 ქლის წნევისა და მისი გადახურების ტემპერატურის მიხედვით. ამასთან ერთად მიღე-
 ბულია ორთქლის ქვაბების დაჯგუფება მასში წყლის ცირკულაციის მიხედვით.

ორთქლმწარმოებლობის მიხედვით არჩევენ მკირე, საშუალო და დიდი ორთქლმწარ-
 მოებლობის ქვაბებს.

წყლის ცირკულაციის მიხედვით ქვაბების დაჯგუფებისას იხილავენ ქვაბებს ბუნებ-
 რივი და იძულებითი ცირკულაციით.

1. ო რ თ ქ ლ ის ქ ვ ა ბ ე ბ ი ბ უ ნ ე ბ რ ი ვ ი ც ი რ კ უ ლ ა ც ი ი თ :

ა. აირმიღებიანი ქვაბები,

ბ. თარაზული წყალმილა კამერებიანი და სექციებიანი ქვაბები,

გ. შეუღლი წყალმილა ქვაბები, ქვაბის დოლებზე სადღებელი მილების უშუალოდ
 მიერთებით.

* „Нормативный метод теплового расчета котельных агрегатов“. Госэнергоиздат, 1937 г.

11. ორთქლის ქვაბები იძულებითი ცირკულაციით:

დ. ქვაბები მრავალჯერადი ცირკულაციით,

ე. პირდაპირი დინების ქვაბები.

ორთქლის ქვაბის საიმედო და უსაშიშრო მუშაობისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს მასში წყლის ცირკულაციას. ცირკულაციის დანიშნულებაა ქვაბში წყლისა და ორთქლის განუწყვეტელი მოძრაობის შექმნა იურების ზედაპირებიდან სითბოს ინტენსიური არჩენის მიზნით.

წყლის ცირკულაციის დროს, მოძრაობაზე მყოფი საქვაბე წყალი ხურების ზედაპირს აცლის ორთქლისა და აირის ბუშტულებს, რაც ხელს უწყობს სითბოს გავრცელებას კონვექციის საშუალებით და, აგრეთვე, იცავს ლიჯონის კვდლებს ქიმიური ამოკმისაგან (კოროზიისაგან).

ქვაბში წყლის ცირკულაცია ხელს უწყობს აგრეთვე საქვაბე წყლიდან გამოყოფილი ნალექის წარცხვას და მათ არჩენებას ქვედა დოლში, ან საქუქეში, საიდანაც ისინი არინდებიან გაქრევის დროს.

ბუნებრივი ცირკულაციის დროს წყლის მოძრაობა აღიძვრება საქვაბე წყლის მასაში ხვედრითი წონების სივარობის ხარჯზე. ხოლო იძულებითი ცირკულაციის დროს ტუმბოს ზექმედებით.

ქვაბის საცირკულაციო კონტურში მიწოდებულ წყლის რაოდენობას თუ აღვნიშნავთ G კგ-ით, ხოლო მიღებული ორთქლის რაოდენობას — D კგ-ით, მაშინ ცირკულაციის ჯერადობა ტოლი იქნება:

$$n = \frac{G}{D} \frac{\text{კგ. წყალი}}{\text{კგ. ორთქლი}}$$

n ცირკულაციის ჯერადობა გვიჩვენებს, თუ რამდენჯერ უნდა შემოუაროს საცირკულაციო კონტურს 1 კგ წყალმა, რომ ის მთლიანად ორთქლად იქცეს.

ცირკულაციის ჯერადობა საცირკულაციო ქვაბებში იღება 50 მ-დე და მეტიც.

პირდაპირი დინების ქვაბებში ცირკულაციის ჯერადობა ერთი ტოლია, ე. ი. ქვაბის საცირკულაციო კონტურში მიწოდებული წყალი 100%-ით ორთქლდება კონტურში ერთხელ გავლის დროს.

ორთქლის ქვაბის სითბური გაანგარიშების დროს, როდესაც მოცემულია მისი ორთქლმწარმოებლობა D კგ/სთ. ისაზღვრება ხურების ზედაპირის $H_{\text{კ}}$ მ სიღღე და მისი დაძაბულობა K კგ/მ² სთ.

ქვაბის ხურების ზედაპირის დაძაბულობა ისაზღვრება ტოლობით

$$K = \frac{D}{H_{\text{კ}}} \text{ კგ/მ}^2 \text{ სთ.}$$

ორთქლის ქვაბის ხურების ზედაპირი ეწოდება ქვაბის ამ ზედაპირს, რომელიც ერთი მხრიდან საცეცხლეს ცხელი აირებითაა შემოგარებული, მეორე მხრიდან კი იმყოფება საქვაბე წყალთან შეხებაში.

ორთქლის ქვაბები კონსტრუქციული გაფორმების მიხედვით არსებობს სხვადასხვა ტიპის.

ზოგიერთი მათგანი განხილული იქნება შემდეგ პარაგრაფში.

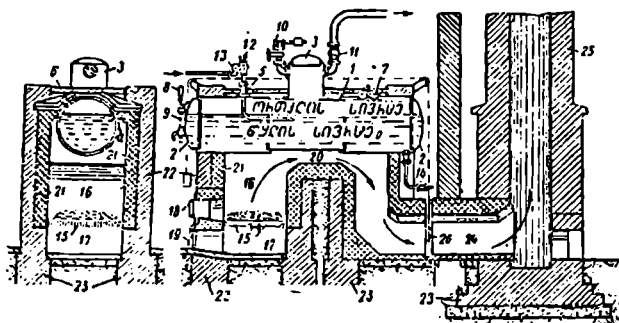
3—24. ქვაბები წყლის დიდი მოცულობით

ცილინდრული ქვაბები წარმოადგენენ ორთქლის ქვაბების განვითარების საწყის კონსტრუქციას.

ცილინდრული მარტივი ქვაბები შედგებიან ურთიერთ შორის დამოკლებული მთელი რიგი ფურცლოვანი რკინის რკალებისაგან და ორი ნახევრად სფერული ან ოღნავ ამოზნექილი ძროებისაგან.

ნაკ. 3—33-ზე ნაჩვენებია მარტივი ცილინდრული ქვაბი. აღნიშნული ტიპის ქვაბების დადებით მხარეს წარმოადგენს კონსტრუქციის სიმარტივე, გასუფთავებისა და რემონ-

ტის - მოხერხებულობა, სითბოს დიდი აკუმულაცია, დიდი წყალტევადობის გამო საქმარისი სიმწრალის ხარისხის ორთქლის მიღების უზრუნველყოფა. უკანასკნელი პირობადებულია აორთქლების სარკის დიდი ზედაპირით.

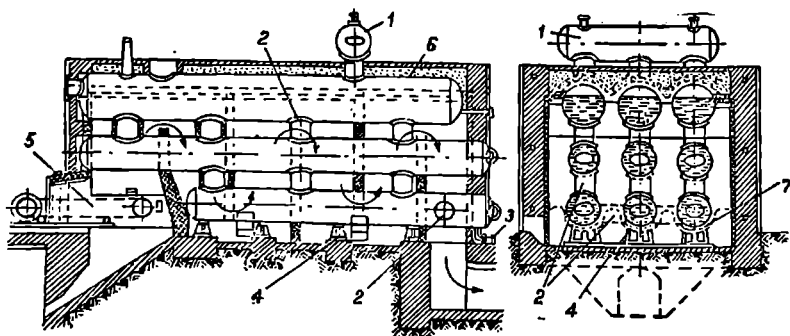


ნაქ. 3—33. მარტივი ცილინდრული ქვაბი.

1—ქაბის დოზი, 2—ქვაბის ძროები, 3—ორთქლსარკი, 4—ორთქლსადენი, 5—შეკვებიანი ხაზის მილუკი, 6—საყრდენი თავები, 7—საძრომის ხედი, 8—მანომეტრი, 9—წყალსაბოში მინა, 10—დასაცვლი საბეჭედი, 11—ორთქლსაქმარის სარკე, 12—საქმარისი სარკის ცხაურა, 13—საქმარისი ცხაურა, 14—საქმარისი ცხაურის საფარი, 15—საქმარისი ცხაურის საფარი, 16—საქმარისი ცხაურის საფარი, 17—საქმარისი ცხაურის საფარი, 18—საქმარისი ცხაურის საფარი, 19—საქმარისი ცხაურის საფარი, 20—საქმარისი ცხაურის საფარი, 21—ქვაბის შუიკრების ცესტაგამფლ აპონაგები, 22—ქვაბის უკანაფარის პირდაფარვა, 23—საძირკველი, 24—აღობი, 25—საქმარისი მილი, 26—საქმარისი მილი, 27—საქმარისი მილი.

ხარჯი, მცირე ორთქლმწარმოებლობა, ხურების ზედაპირის შეზღუდულობა, არაუმეტესი 20—25 მ² და, რაც მთავარია, სითბოს გამოყენების მ. ქ. კოეფიციენტის სიმცირე. ამგვარად ორთქლის მისაღებად მარტივი ცილინდრული ქვაბები არ გამოიყენება. არის შემთხვევები, როდესაც მარტივი ცილინდრულ ქვაბებს კომუნალურ მეურნეობაში იყენებენ, როგორც წყალსათბობ ქვაბებს.

ბატარეული ქვაბების შექმნა გამოწვეული იყო ხურების ზედაპირის შემდგომი გადიდების სურვილით.



ნაქ. 3—34. ბატარეული ქვაბი.

1—ორთქლსარკი, 2—საქმარისი ცხაურის მილი, 3—საქმარისი მილი, 4—საქმარისი ცხაურის მილი, 5—საქმარისი ცხაურის მილი, 6—საქმარისი ცხაურის მილი, 7—საქმარისი ცხაურის მილი.

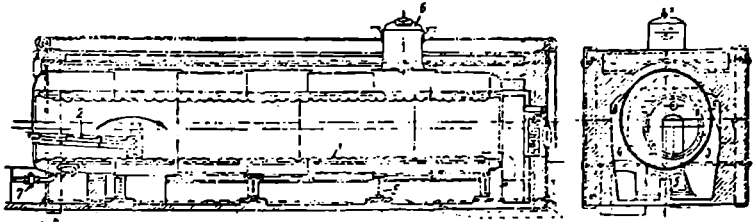
რამდენიმე მარტივი ცილინდრული ქვაბის შეერთებას ერთ სისტემად ბატარეული ქვაბი ეწოდება.

ბატარეული ქვაბის კონსტრუქცია უფრო გადიდებული გაბარიტული ზომებისაა. ასეთი ქვაბები იგებოდა ხურების ზედაპირით 180 მ²-მდე. ქვაბების მაქსიმალური ორთქლმწარმოებლობა აღწევდა 4,5 ტ/სთ-ს, რაც დაახლოებით 5—6-ჯერ მეტი იყო მარტივი ცილინდრული ქვაბების ორთქლმწარმოებლობაზე.

ნაქ. 3—34-ზე ნაჩვენებია ბატარეული ქვაბი. ასეთი ქვაბების ნაკლოვანებებს წარმოადგენს მათი მდგენელი დოლების არათანაბარი გათბობა, რაც აპირობებს არათანაბარ თერმულ დეფორმაციებს და, აგრეთვე, აორთქლების სარკის შემციოების გამო დაბალი სიმშრალის ხარისხის ტენიანი ნაჯერი ორთქლის მიღებას.

როგორც ექსპლოატაციის მხრივ მოუხერხებელი და ეკონომიურად არახელსაყრელი, აღნიშნული ქვაბები მოხსნილ იქნენ წარმოებიდან.

ცეცხლშილა ცილინდრული ქვაბები წარმოადგენენ ცილინდრულ ქვაბებს დანატებითი ხურების ზედაპირით, რომელიც შესრულებულია წყლის სივრცეში ქვაბის გასწვრივ გამავალი დიდი დიამეტრის ერთი, ორი და ძლიერ იზოთად სამი მილის სახით.



ნაქ. 3—35. ერთცეცხლშილა ცილინდრული ქვაბი.

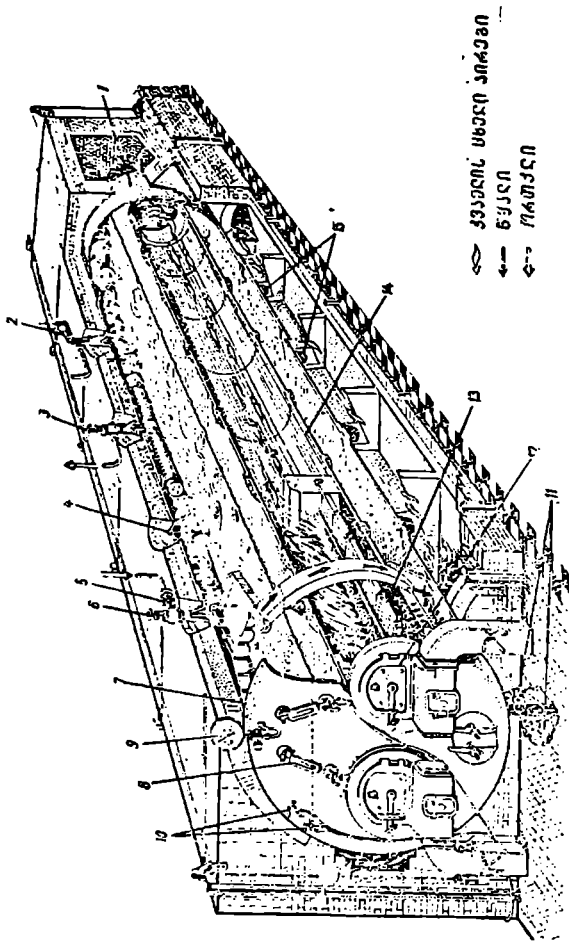
1—ბაღისივარი ცეცხლშილა, 2—შიგა საცეცხლე, 3—გეორჯ აირსავალი, 4—მესამე აირსავალი, 5—საგა-
მები, 6—ორთქლსამართბი, 7—ჩამოსაშვები რეაქტები, 8—ცეცხლის ხაზი.

ნაქ. 3—35-ზე ნაჩვენებია ერთცეცხლშილა ცილინდრული ქვაბი, რომლის საცეცხლე, როგორც შიგა საცეცხლე, მოთავსებულია თვით ცეცხლშილის წინა ნაწილში.

როგორც ნაქ. 3—35-დან ჩანს, ცეცხლშილი ქვაბში მოთავსებულია ექსცენტრიკულად, რაც აპირობებს წყლის შედარებით კარგ ბუნებრივ ცირკულაციას ხვედრითი წონების სხვაობის ხარჯზე. ერთცეცხლშილა ცილინდრული ქვაბებში სითბოს უკეთ გამოყენების მიზნით აწყობენ სამ აირსავალს: აირები საცეცხლედან (პირველი აირსავალი) ცეცხლშილის საშუალებით მიემართებიან ქვაბის ფრონტიდან მისი უკანა ძროსაკენ, შემდგომ შემობრუნდებიან რა, მიემართებიან ისევ ქვაბის ფრონტისაკენ ქვაბის მარცხენა მხარის (გეორჯ აირსასვლელი) შეხებთ. საბოლოოდ ისევ შემობრუნდებიან, მოვლენ ქვაბის მარჯვენა მხარესთან შეხებაში და წარიმართებიან (მესამე აირსავალი) ქვაბის ბოლოსკენ აღიბეჭევი გასასვლელად.

ქვაბის ორთქლის სივრცის შემომზღუდველი ლითონის ზედაპირები ცხელ აირებთან შეხებაში არ იმყოფებიან, ვინაიდან წყლის ორთქლი სითბოს კუდი გამტარია, ცილინდრულ და მის მსგავს ქვაბებში ცეცხლის ხაზი მ ყოველთვის მოთავსებულია ქვაბში წყლის უდაბლესი დონის ქვემოთ, როგორც მინიმუმი 100 მმ-ით. საცეცხლეს ცხელი აირებით ქვაბის კედლების შემოგარების ზედა საზღვარს ცეცხლის ხაზს უწოდებენ.

ერთცეცხლშია ქვაბებს, რომლებიც წინათ ფართოდ იყენენ გამოყენებულნი, აქამდე არ დაუკარგავთ თავისი მნიშვნელობა მცირე დანადგარებისათვის. ერთცეცხლშია ცილინდრული ქვაბები იგებოდა ხურების ზედაპირით $H_{\text{კვ.}} = 15-70$ მ. ორთქლის წნევას ქვაბში 10-12 ატმ მეტს არ იღებენ, ვინაიდან ქვაბი ძლიერ მძიმე გამოდის, მაგალითად, თუ ორთქლის წნევას გავზრდით 18 ატმ-მდე, ქვაბის წონა დაახლოებით ორჯერ გაიზრდება.



ნაკ. 3-36 ორცეცხლშია ცილინდრული ქვაბი.

- 1-ქვაბის ფილა, 2-დამცელი ხარკელები, 3-მაჯარი საცერტ ვენტალი, 4-ხაჩობა დაფლავებისათვის, 5-შეტყულო საჩქელო, 6-საცერტო ფრტული მკვებავ ხაზზე, 7-ქაბის ბოი, 8-წელის დონის საბაზა გიზა, 9-პაილეთრი, 10-წელის დონის საკონტროლო თვანება, 11-ჩამოსაღები ვენტოლები, 12-საცეცხლეს კარები, 13-საცეცხლავებთან ცხაფრა, 14-ცეცხლშია, 15-საყოფენი ცეცხლები.

ქვაბის სიგრძე იღება ზღვრებში 4150-11000 მმ-მდე, ხოლო ცილინდრული დილის დიამეტრი 1170-2300 მმ-მდე.

სათბობის ხარისხისა და მისი წვის ინტენსივობის მიხედვით. ქვაბის ხურების ზედაპირის დაძაბულობა იღება

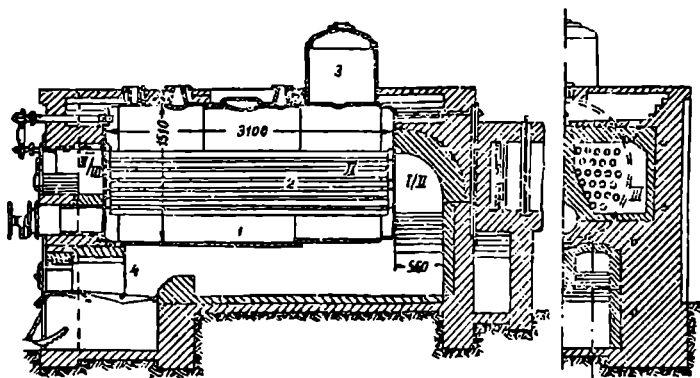
$$K = \frac{D}{H_{\text{კვ.}}} = 20 - 30 \frac{\text{კვ. ორთქლი}}{\text{მ}^2 \text{ სთ}}$$

ნაკ. 3—36-ზე ნაჩვენებია ორცეხლმილა ცილინდრული ქვაბი. ასეთი ქვაბები იგებოდა ხურების ზედაპირით $H_{\text{კვ.}} = 50-140$ მ.

ქვაბის ცილინდრული ნაწილის სიგრძე იღება ზღვრებში 7000-დან 11800 მმ-მდე. ასეთი ქვაბების ცეცხლმილები შედგენილია შენადული გლუკველიანი ან ტალღოვანი რკალებისაგან. ცეცხლმილების ტალღოვნობა იმავე გაბარიტების დროს 8—12%-ით მეტი ხურების ზედაპირის მიღების საშუალებას იძლევა.

განხილულ ქვაბებში ორთქლის წნევა იღება აგრეთვე 10—12 ატკ. მაქსიმალური ორთქლმწარმოებლობა მიიღება 3—3,5 ტ/სთ, ხურების ზედაპირის დაძაბულობის $K = 20-30$ კვ/მ² სთ დროს. ცეცხლმილა ქვაბების შემდგომ განვითარებას წარმოადგენს აირმილებიანი ქვაბების შემოღება, რომლებშიაც ქვაბის ხურების ზედაპირი მნიშვნელოვნად გაიზარდა მილთა რაოდენობის გაზრდისა და მათი დიამეტრის მნიშვნელოვანი შემცირებისას.

ქვაბები კვანლსაწვავი მილებით წარმოადგენენ ცილინდრულ ქვაბებს, რომლებშიაც ცეცხლმილების ნაცვლად მოთავსებულია დიდი რაოდენობის მცირე-დიამეტრიანი აირის მილები. ეს მილები გარედან წყლით არიან შემოგარებული, ხოლო მათ შიგნით ცხელი აირები გადიან. აირის მილები, კვამლსაწვავ მილებად წოდებული,



ნაკ. 3—37. ორთქლის ქვაბი კვამლსაწვავი მილებით.

1—დოლი, 2—კვამლსაწვავი მილები, 3—ორთქლსაზრობი, 4—საცეცხლე, 5, 6 და 7—აირსაღვები.

ჩატეცილი არიან ქვაბის წინა და უკანა ძროების საამისოდ გაცემებულ ხერცებში. კვამლსაწვავი მილების გარეთა დიამეტრები მიღებულია 45—100 მმ მდე, მათი რაოდენობა კი აღწევს 100 და მეტს. საცეცხლეში სათბობის დაწვის შედეგად მიღებული ცხელი აირები მიემართებიან მილებში წერილი ქველების სახით, რის შედეგად უფრო ინტენსიურად გადასცემს სათბობი ხურების ზედაპირს.

ნაკ. 3—37-ზე ნაჩვენებია კვამლსაწვავი მილებიანი ორთქლის ქვაბი.

საცეცხლე 4 გაადგილებულია ქვაბის წინა ნაწილის ქვემოთ. საცეცხლე აირები პირველ რიგში შეიხებებიან ქვაბის ქვედა ნაწილს, შემდეგ შემობრუნდებიან ქვაბის ბოლოს და კვამლსაწვავი მილების საშუალებით მიემართებიან ქვაბის წინა ძროსაკენ; ამ უკანას-

კნელიდან გამოსვლისას აირის ნაკადი განშტოვდება ორ ნაკადად და გვერდითი აირსა-
ვლენით წარმოადგენს ქვების ბოლოსაკენ ალიბუქში შესასვლელად.

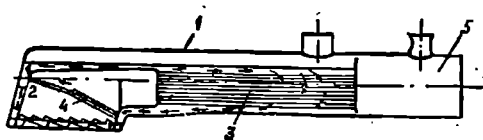
კვამლსაწვავილებიანი ქვაბები იგებოდა ხურების ზედაპირით $H_{კვ} = 25 \pm 150$ სმ,
ხურების ზედაპირის დაძაბულობა შეადგენდა $K = 10-15$ კგ/მ² სთ.

კვამლსაწვავილებიანი ქვაბის წმინდა სახე ექსპლოატაციაში საიმედო არ აღმოჩ-
ნდა, კვამლსაწვავი მილების ქვაბის ძროსთან შეერთების ადგილებში წყლის გამოყოფის
გამო, რაც გამოწვეული იყო მილებისა და ქვაბის ძროს ლითონების არათანაბარი გათ-
ბობის შედეგად. ამიტომ ასეთი კონსტრუქციის ქვაბები ამჟამად გამოიყენებიან მხოლოდ
როგორც ქვაბები—უტილიზატორები, რომლებიც სამარწყველო ლუმელების წარმავალი
აირების სითბოს ხარჯზე მუშაობენ. ასეთ ქვაბებში ორთქლის დასაშვები წნევა არ აღე-
მატება 20 ატმ.

კომბინირებული ქვაბების სახესხვაობას წარმოადგენენ ორთქლმავლის,
ლოკომობილებისა და გემების ქვაბები. მათ ჯგუფს აგრეთვე მიეკუთვნება მცირე ორთქლ-
მწარმოებლობის შეეული ცილინდრული ქვაბები.

კომბინირებული ქვაბების დამაასიათებელია კვამლსაწვავი და საცეცხლე მილების
ან კვამლსაწვავი და საცეცხლე კოლოფის კომბინაცია ერთ საერთო კორპუსში. ასეთი
კონსტრუქციის ქვაბებს არ უყვთდება შემოკირვა შიგა აირსასვლელების არსებობის გა-
მო. ქვაბის კონსტრუქცია შედარებით კომპაქტურია და ექსპლოატაციისათვის მოხერხე-
ბული.

ორთქლმავლის ქვაბი წარმოადგენს კომბინირებულ ქვაბს; მისი ხურების ზე-
დაპირი შექმნილია კვამლსაწვავი მილებისა და საცეცხლე კოლოფის კომბინაციით ერთ
საერთო კორპუსში. ორთქლმავლის ქვაბებს აქვთ საქმარისად დიდი ზომის კომპაქტური



ნაკ. 3-38. ორთქლმავლის ქვაბი.

შუალეხითაც, ამიტომ ის იძლევა დაახლოებით ქვაბის ორთქლმწარმოებლობის 40-50%-ს.
ცდების საშუალებით დადგებილია, რომ საცეცხლე კოლოფის ხურების ზედაპირის და-
ძაბულობა 6-10-ჯერ მეტია, ვიდრე კვამლსაწვავი მილების ხურების ზედაპირების და-
ძაბულობა.

ნაკ. 3-38-ზე ნაჩვენებია ორთქლმავლის ქვაბი, რომელიც შედგება: კორპუ-
სისაგან 1, საცეცხლე კოლოფისაგან 2, რომელშიც მოთავსებულია საცეცხლე, კვამლსაწ-
ვავი მილებისაგან 3 და საციკულაციო მილებისაგან 4.

კვამლსაწვავი მილების ნაწილი მზადდება გაღივებული დიამეტრის მი-
ლებისაგან, მათში ორთქლგადამიურებლების გასაადვილებლად. ორთქლმავლის ქვაბების
ხურების ზედაპირი აღწევს 300 მ²-მდე, ხოლო ორთქლმწარმოებლობა 15-18 ტ/სთ. კონ-
სტრუქციულ თავისებულებათა გამო ორთქლის წნევა ქვაბში არ იღება 17-20 ატ ზე-
მეტი, ხოლო ორთქლის გადახურების ტემპერატურა იღება 400 °C-მდე.

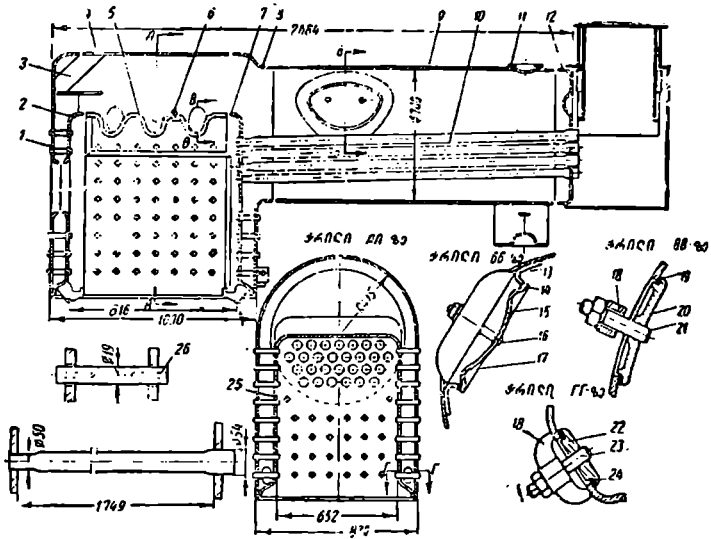
ორთქლმავლის ქვაბები რკინიგზის ტრანსპორტიდან ჩამოწერის შემდეგ ფართო გა-
მოყენებას პოულობს როგორც სტაციონარული ქვაბები საწარმო-გათბობის დანიშნულე-
ბისათვის, მიუხედავად მათი ორთქლმწარმოებლობის შემცირებისა. დაბალი ხარისხისა და

წარმოების სხვადასხვა ნარჩენის სათბობად გამოყენებისას ასეთ ქვაბებს სტაციონარულ მდგომარეობაში ექსპლოატაციის დროს უწყობენ გარეთ გამოტანილ საცეცხლე მოწყობილობას.

ლოკომობილის ქვაბები მზადდება ორი სახის როგორც სტაციონარული, ისე გადასადგილებელი ლოკომობილებისათვის. გადასადგილებელი ლოკომობილებისათვის გამოყენებულია კვამლსაწვავიმილებიანი ორთქლმავლის ტიპის ქვაბები შიგა საცეცხლებით.

ასეთი ტიპის გადასადგილებელი ლოკომობილის „П—38“ ორთქლის ქვაბი ნაჩვენებია ნაკ. 3—39-ზე.

სტაციონარული ლოკომობილებისათვის გამოყენებულია აირმილებიანი ქვაბები, რომლის მილთა სისტემით, რომელიც წარმოადგენს ცეცხლმილის (რომელშიაც მოთავსებულია ზიგას-ცეცხლე) და კვამლსაწვავი მილების კომბინაცია.



ნაკ. 3—39, გადასადგილებელი ლოკომობილის П—38 ორთქლის ქვაბი.

1-შებლის ფურცელი, 2-უკანა ფურცელი, 3-კონტროლის, 4-შიხლის ფურცელი, 5-საცეცხლეს კარი, 6-ადვილდრობადი საცობი, 7-საცეცხლე ცხაურა, 8-სატაი ფურცელი, 9-ჩაღი, 10-კვამლსაწვავი მილი, 11-მილტუბი, 12-სამილე ცხაურა, 13-საძირის რგოლი, 14, 15, 24-შუასადგებუ, 16-საძირის სახურავი, 18-საძირის კანკი, 17-საძირზე საბრუნავი კავი, 18-საძირის ჩანალი, 20-გვერდითი საძირის სახურავი, 21 და 23-საძირის კანკები, 22-უბოფრი საძირის სახურავი, 23-გვერდის ფურცელი, 24-სახურა.

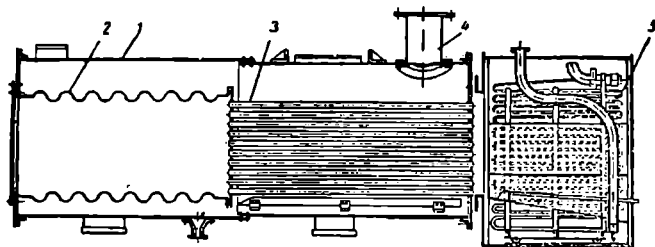
კვამლსაწვავი მილთა კონისა და ერთი მოკლე ცეცხლმილისაგან შემდგარი მილთა სისტემა რემონტის დროს შეიძლება გამოლეულ იქნეს ქვაბიდან.

სტაციონარული ლოკომობილის ორთქლის ქვაბი ნაჩვენებია ნაკ. 3—40-ზე.

20. ზოგადი თბოტექნიკა.

ლოკომობილების ორთქლის ქვაბებში ორთქლის წნევა აიღება 13—15 ატა-მდე. სამაშულო წარმოების უდიდესი სტაციონარული СК ტიპის ლოკომობილის ქვაბის ხურების ზედაპირი დაახლოებით 130 მ²-ია, მისი ხანგრძლივი მაქსიმალური ორთქლ-მწარმოებლობა არის 4,8 ტ/სთ.

საერთოდ, ლოკომობილის ორთქლის ქვაბების მ. ქ. კ-ის სიდიდე იცვლება ზღვრებ-ში 60—70%. ხურების ფართობის დაძაბულობა 20—30 კგ/მ²სთ.



ნაკ. 3—40. სტაციონარული СК ტიპის ლოკომობილის ორთქლის ქვაბი. 1-ქვაბის ცილინდრული კორპუსი, 2-ცეცხლშილი, 3-ეკაჟისაქავი მილები, 4-ორთქლსაწრობი, 5-ორთქლ-გადაბუფებელი.

მცირე ორთქლმწარმოებლობის შვეული ცილინდრული ორთქლის ქვაბები აკრთევი მიეკუთვნებიან კომბინირებული ორთქლის ქვაბებს. შვეული ცილინდრული ორთქლის ქვაბები არსებობს სხვადასხვა ტიპის. შვეული ცილინდრული ქვაბების ერთ-ერთ ტიპს წარმოადგენს ვ. გ. შუხოვის სისტემის ქვაბი.

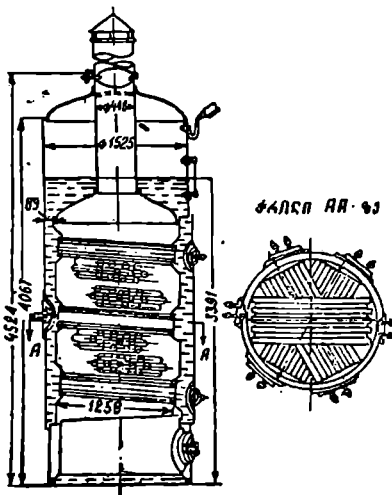
ნაკ. 3—41-ზე ნაჩვენებია შუხოვის სისტემის შვეული ქვაბი, რომელშიაც მოცემულია შვეული ცეცხლშილისა და სადუღებელი მილების კომბინირება.

შუხოვის სისტემის ქვაბები იგებოდა ხურების ზედაპირით 10—35 მ²-მდე, ორთქლის წნევით 8 ატკ.

შუხოვ-სარაფის შვეული ცილინდრული ქვაბები წარმოადგენენ შუხოვის ორიგინალური ქვაბის მოდიფიკაციას. შუხოვ-სარაფის სისტემის ქვაბებში, შედარებით შუხოვის სისტემის ქვაბთან, გადიდებულია საცეცხლეს მოცულობა და უფრო კომპაქტურადაა გაადგილებული კონვექციური ხურების ზედაპირის მილები.

ნაკ. 3—42-ზე ნაჩვენებია შუხოვ-სარაფის სისტემის შვეული ცილინდრული ორთქლის ქვაბი.

შუხოვ-სარაფის შვეული ცილინდრული ორთქლის ქვაბები იგება ორთქლმწარმოებლობით 200—1000 კგ/სთ-მდე, ორთქლის წნევით 8 ატკ. შუხოვ-სარაფის ქვაბებს, შუხოვის ქვაბ-



ნაკ. 3—41. შუხოვის სისტემის შვეული ცილინდრული ქვაბი.

თან შედარებით აქვს უფრო მაღალი მ. კ. კ., ქვაბის ნაკლები მოცულობა და საერთო წონა.

ნაკ. 3—42. შუბოვ-სარაფის სისტემის შვეული ცილინდრული ორთქლის ქვაბი.

3—25. წყალშილა ძვაბები

ორთქლის ძრავების განვითარებამ მოითხოვა გადიდებული წნევის ორთქლზე გადასვლა და შედარებით მეტი ორთქლმწარმოებლობის ორთქლის ქვაბების აგება. ლითონის ხარჯისა, ქვაბების დასადგმელი შენობის ფართობისა და მოცულობის შემცირების მიზნით საჭირო იყო ხურების ზედაპირების დაძაბულობის გადიდება, რომელიც წინათ შედარებით მცირე იყო. ახალი ტიპის ქვაბების ძიების შედეგად შეიქმნა ე. წ. წყალშილა ქვაბები, რომლებიც მეტად გაერყელნენ.

წყალშილა ქვაბებში სადღეღებელი მიღების სისტემა, რომლის ზედაპირი წარმოადგენს ქვაბის ძირითადი ხურების ზედაპირს, სავსეა წყლით და შემოგარებულია ცხელი აირებით.

წყლის სადღეღებელი მიღების დახრილობის მიხედვით არჩევენ ჰორიზონტალურ და შვეულ წყალშილა ქვაბებს.

ჰორიზონტალური წყალშილა ქვაბები

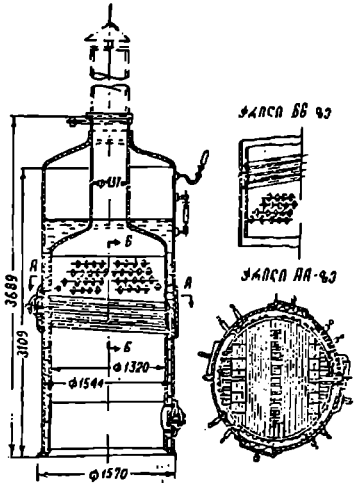
ჰორიზონტალური წყალშილა ქვაბები ეწოდება ისეთ ქვაბებს, რომელთა სადღეღებელი მიღები განლაგებული არიან ჰორიზონტალურად, ან ჰორიზონტალურ სიბრტყესთან ადგენენ მცირე დახრის კუთხეს (არანაკლები 10—15° და არაუმეტესი 25°-სა).

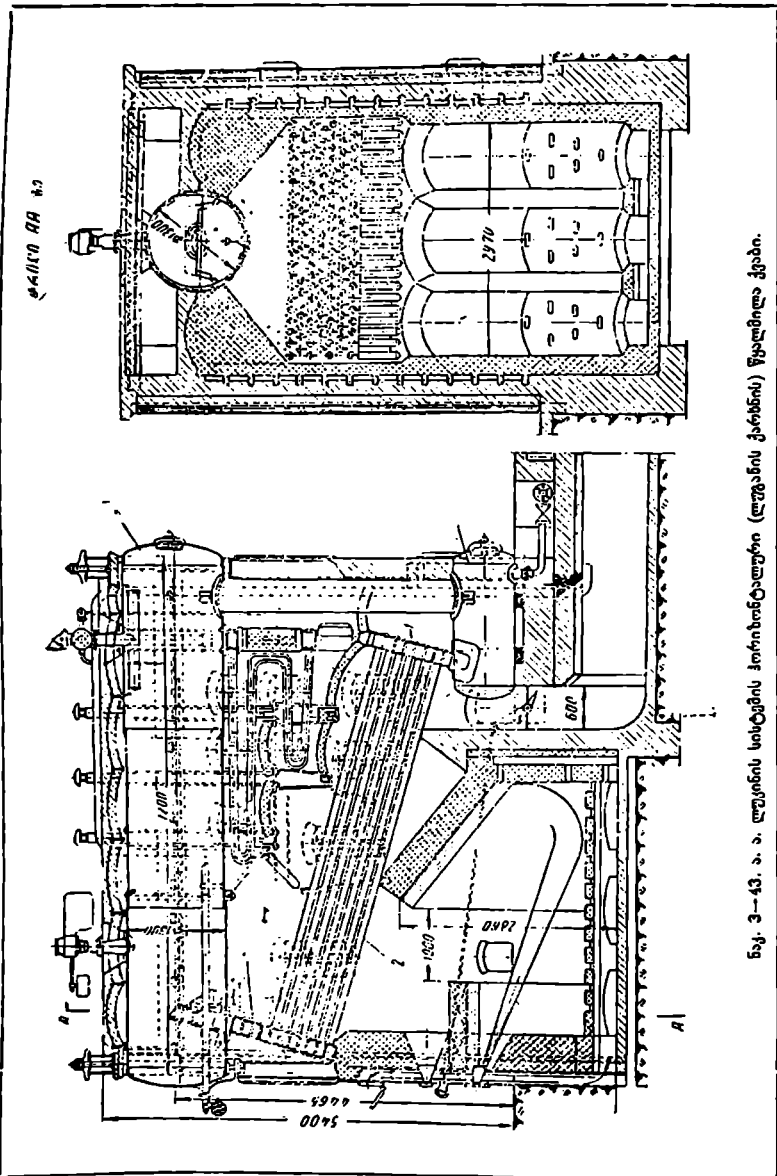
ჰორიზონტალური წყალშილა ქვაბები სადღეღებელი მიღების ერთმანეთთან მიერთების ხერხის მიხედვით იყოფა მთლიან კამერებიან და სექციებიან ქვაბებად.

ნაკ. 3—43-ზე ნაჩვენებია ა. ა. ლუკინის სისტემის ჰორიზონტალური (ლუგანის ქარხნის) წყალშილა ქვაბი, რომელიც შედგება ორი ბრტყელკედლიანი კამერისაგან 1, ამ კამერების შიგა კედლებში ჩატკეცილი სწორი სადღეღებელი მიღებისაგან 2, საქუქუსაგან 3, დასახელებული ვლემენტებისაგან მექანიკურად ერთი მთლიანი წყლისსაიკიკულაციო სისტემის შემქმნელი ჰორიზონტალური დოლისაგან 4, კამერების გარე და შიგა კედლების დამაკავშირებელი ანკერქანჭიკებისაგან, რომლებიც საჭიროა კონსტრუქციისათვის სიხისტის მისანიჭებლად.

ლუგანის ქარხანა უშვებდა ქვაბებს 81-დან 344 მ³ ხურების ზედაპირით და 8—15 ატ მდე წნევისათვის.

ორკამერიანი ჰორიზონტალური წყალშილა ქვაბების ძირითად უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ორთქლის წნევის გადიდების შეზღუდულობა კამერების ბრტყელი კედლების გამო.



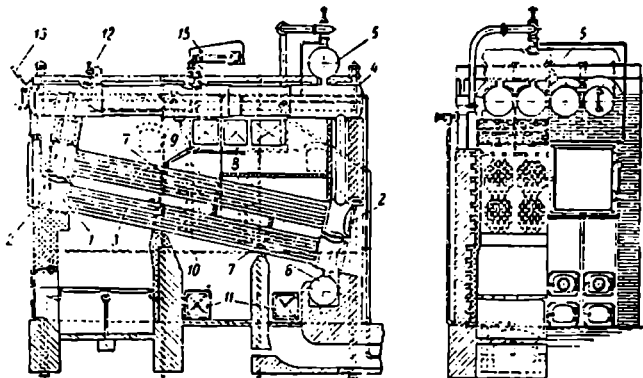


ნაკ. 3-43. ა. ა. ლუციანის სისტემის ჰორიზონტალური (ლუციანის კარბნის) წყალმილა კვაბი.

აღნიშნული ქვაბები ამაჟამად მოხსნილია წარმოებიდან. ჰორიზონტალური წყალში-
ლა ქვაბების შემდგომ განვითარებას წარმოადგენდა ვ. გ. შუხოვის სისტემის ჰორიზონ-
ტალური ქვაბი, რომელიც პირველად აგებულ იქნა 1891 წელს.

შუხოვის სისტემის წყალშილა ქვაბი ნაჩვენებია ნაკ. 3—44-ზე.

შუხოვის ქვაბების აწყობა ხდება ცალკეული ელემენტებისაგან, რომელთაგან ყოვე-
ლი შედგება ზედა სიგარძივი (ან განივი) დოლისა 4 და მასზე მიერთებული მილოვანი
ბატარეისაგან.



ნაკ. 3—44. ვ. გ. შუხოვის სისტემის ჰორიზონტალური წყალშილა ქვაბი.

1-ცილინდრული კამერები (კოლექტორები—თაყვი), 2-კამერების საძროხები, 3-სადღებელი მილუბი, 4-დო-
ლი, 5-ორჯქლასარობი, 6-საბუყუ, 7-ტბრები, 8-ორთქლადამზრებელი, 9-აირის სადტი, 10-შემოტრე-
ვის ფანჯრები, 11-საძროხები, 12-მკვებავი სარქველი, 13-მანომეტრი, 14-წყლის დონის საზოპა მინა,
15-დამცველი სარქველი.

ბატარეა შედგება სადღებელი მილების ორი კონისაგან, 28 მილით თითოეულში;
კონაში მილების გაადგილება ჰადრაკულია. ამ ქვაბებში ბრტყელკედლიანი კამერები შეც-
ვლილია 640 მმ დიამეტრიანი ცილინდრული კამერებით—კოლექტორებით (თაყვებით),
რაც ორთქლის წნევის რამდენიმედ გადიღების საშუალებას იძლევა. ელემენტების რაო-
დენობით რეგულირდება ხურების ზედაპირის სიღიდე.

ნორმალური ტიპის ქვაბები იგება ხურების ზედაპირით 20—760 მ², წყლის გადი-
ღებული მოცულობით 150—450 მ³, ხოლო განივი დოლის შემთხვევაში 338—772 მ³.
ნაკ. 3—44-ზე ნაჩვენებში შუხოვის სისტემის ნორმალურ ქვაბს აქვს ზედა დოლებთან
მიერთებული ორთქლსაშრობი და, აგრეთვე, ქვაბის ყველა ბატარეისთან მიერთებული
ერთი საქუყუე.

ნორმალური ქვაბების შემთხვევაში ხურების ზედაპირის დაძაბულობა იღება
 $K=18-25$ კგ/მ²სთ.

ნორმალური ტიპის ქვაბების მოდიფიკაციას წარმოადგენს ქვაბები დიდდიამეტრი-
ანი ზედა დოლებით, რომლებზედაც მიერთებულია ჰადრაკულად გაადგილებული სადღ-
ლებელი მილების გაორკეცებული რაოდენობის კონები.

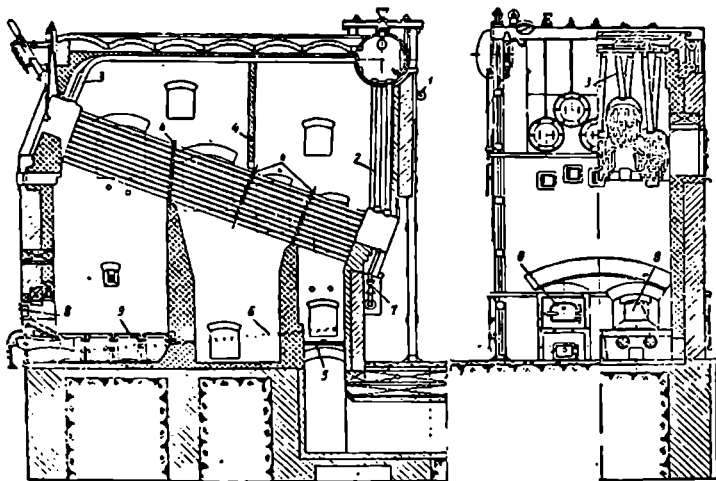
საზღვაო ფლოტის გემების ორთქლძალური დანადგარებისათვის იგებოდა გადიღე
ბული ორთქლმწარმოებლობის ორთქლის ქვაბები.

შუხოვის სისტემის ნორმალური ტიპის ქვაბებს ჰქონდათ სერიოზული ნაკლოვანე-

ბანი: კონსტრუქციის თერმული სიხისტე, მიღების მკიდრო გაადგილება, რაც მათი გარე ზედაპირების გასუფთავებას აძნელებს და სხვ.

1937 წლიდან დაიწყო მოსკოვის ქარხანა „პაროსტროი“-ს მიერ ამ ქვაბის ახალი მოდიფიკაციის შუხოვ ბერლინის შედუღებული ქვაბების გამოშვება, რომელიც ნაჩვენებია ნაქ. 3—45-ზე.

შუხოვის ორიგინალური ქვაბის მოდერნიზაციის დროს მიზნად იყო დასახული მისი კონსტრუქციის დადებითი მახასიათებლების შენარჩუნება და უარყოფითი მხარეების თავიდან აცილება, წყლის ცირკულაციის გაუმჯობესებით. შუხოვ-ბერლინის ქვაბში მიღებულია სექციების ქადრაკულად ერთრიგის გაადგილება და სადუღებელ მილთა კონაში 28 მილის ნაცვლად 24 მილის ჩამაგრება.



ნაქ. 3—45. შუხოვ-ბერლინის ჰორიზონტალური წყალმილა ქვაბი.

1-მკვებავი ხაზი, 2-ჩამოსაშვები მილები, 3-სარიჩი მილები, 4-ტიხრები, 5-შიხერი, 6-შიხერის დისტანსიური აპარატი, 7-გაქრვის სარქველი, 8-საბოხის ჩასატეხთავი კარები, 9-ცეცხლრიცხვის ცხურა, 10-საცეცხლეს სივრცე.

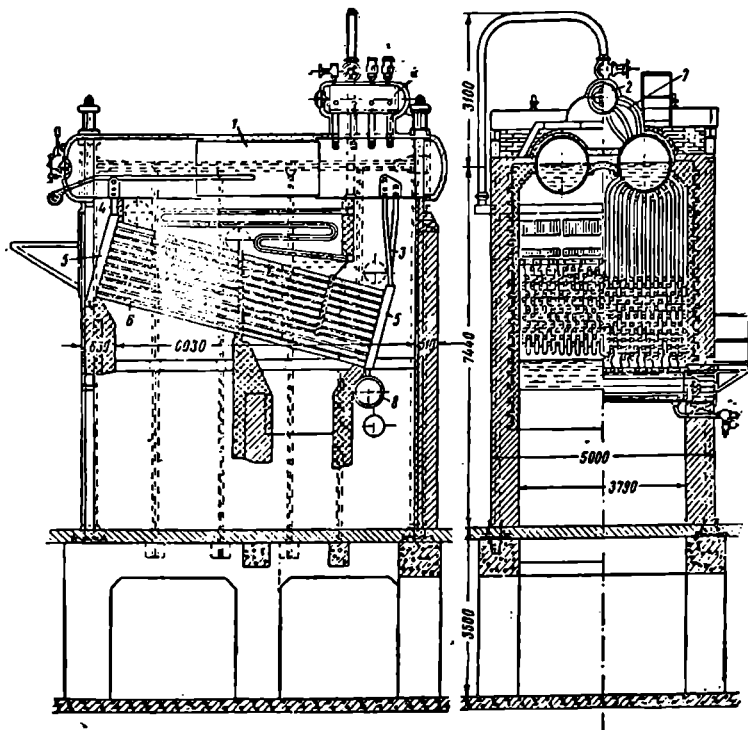
შუხოვ-ბერლინის ქვაბების ექსპლოატაციის დროს გამოირკვა, რომ მიუხედავად იმისა, რომ ცოტათი გადიდდა ხურების ზედაპირის დაძაბულობა, შუხოვის ნორმალური ქვაბების უარყოფითი მხარეების უმეტესობა შენარჩუნებულ იქნა, ხოლო ქვაბის გაბარიტული ზომები კი—ცოტათი გაზრდილი. აღნიშნულის შედეგად ამ ქვაბების წარმოება შეწყვეტილი იქნა.

ქვაბის გაბარიტული ზომების შენარჩუნებით ორთქლის წნევისა და ხურების ზედაპირის გასადიდებლად 1897 წლიდან დაწყებულ იქნა სექციებიანი ჰორიზონტალურ-წყალმილა ქვაბების გამოშვება, რომელიც ნაჩვენებია ნაქ. 3—46-ზე.

სექციებიანი ქვაბების დაყოფა ხდება ზედა დოლის სივრცეში და განივ გაადგილების მიხედვით. ქვაბს, რომელსაც აქვს დოლის სივრცეში გაადგილება, ეწოდება ნორმალური ან საქარხნო-საფაბრიკო ტიპის, ხოლო დოლის განივი გაადგილების შემთხვევაში—საზღვაო ტიპის ქვაბი.

ნორმალური ტიპის ქვაბებში დოღების რაოდენობას იღებენ ერთს ან ორს, ქვაბის სიმძლავრის მიხედვით. სექციების რაოდენობას იღებენ 14-დან 18-მდე.

სსრ კავშირში გამოშვებული ქვაბების ხურების ზედაპირი აიღება 200 მ² ერთი დოლის შემთხვევაში, ხოლო 515 მ² ორი დოლის შემთხვევაში.



ნაკ. 3—46. ნორმალური ტიპის სექციებიანი ბორბონტალური წყალმილა ქვაბი.

1-ქვაბის დოლი, 2-ორთქლსაშრობი, 3-სექციებიან კაშვებში წყლის მისაყვანი მილები, 4-ორთქლის სა-
რინი მილები; 5-სექციური კლანკილა კაშვება, 6-საფულაველი მილები, 7-დოლისა და ორთქლსაშრო-
ბის შენაერთებელი მილები, 8-საბუჯა.

საზღვაო ტიპის სექციებიან ქვაბს აქვს ერთი განივი დოლი ხურების ზედაპირით 300—1400 მ².

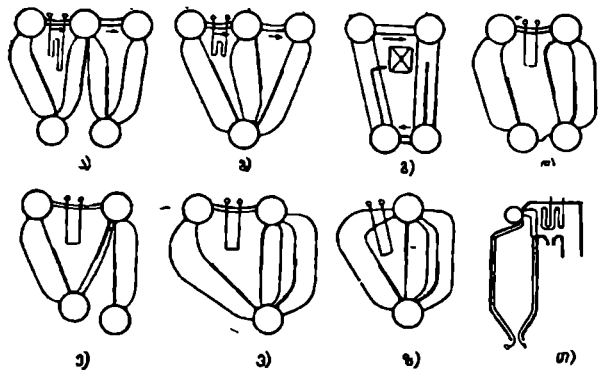
**შვეული წყალმილა ქვაბები, ქვაბების დოლებთან ხადულებელი მილების
უშუალო მიერთებით**

სახალხო მეურნეობის განვითარებამ მოითხოვა შედარებით დიდი ორთქლმწარმო-
ებლობის ქვაბაგრეგატების შექმნის აუცილებლობა.

ასეთ ქვაბებს მიეკუთვნებიან შვეული წყალმილა ქვაბები. შვეული წყალმილა ქვაბ-
ბის თანამედროვე კონსტრუქციები გამოიყენება როგორც ენერგეტიკული ორთქლის

ქვაბები და, აგრეთვე, ფართოდ არიან გამოყენებული როგორც მრეწველობაში, ისე რკინიგზასა და წყლის ტრანსპორტზე.

შვეულ წყალშია ქვაბებს აქვთ მთელი რიგი დადებითი მხარეები: საქვაბებს ფართობის რაციონალურად გამოყენება, შევული მიმართულებით საცეცხლეს განვითარება, წყლის გაუმჯობესებული ცირკულაცია, მაღალი ორთქლმწარმოებლობა, უსაფრთხო საიმედო მუშაობა და სხვ.



შვეული წყალში-
ლა დოლებიანი ორ-
თქლის ქვაბები წყლის
ცირკულაციის მიხე-
დვით იყოფა ორ
ჯგუფად: მრავალ-
ჯერადი -- ძირითადად
ბუნებრივი და იშვია-
თად იძულებითი ცირ-
კულაციით და პირდა-
პირი დინების.

სადუღებელი მილე-
ბის მიხედვით არჩევენ
სწორ- და მოლუნულ-
მილებიან შვეულ წყალ-
შილა ქვაბებს.

შვეული წყალშილა
ქვაბების განვითარების
სქემა დოლების რაო-
დენობის თანდათან შე-

ნაქ. 3—47. შვეული წყალშილა ორთქლის ქვაბების განვითარების სქემა.
ა და ბ-ველი სისტემის მრავალდოლიანი ქვაბები, გ-ლდანის ქარხნის სწორსადუღ-
ლებელ მილებიანი ქვაბი, დ-ლენინგრადის ლითონების ქარხნის (ЛМЗ) ქვაბი, ე-ЛМЗ-ს
სისტემის უ-სებრი სამდოლიანი ქვაბი, ვ-სტერლინგის სისტემის სამდოლიანი
ქვაბი, ზ-ორდოლიანი სამილითაქონიანი ქვაბი, თ-ერდოლიანი ქვაბი.

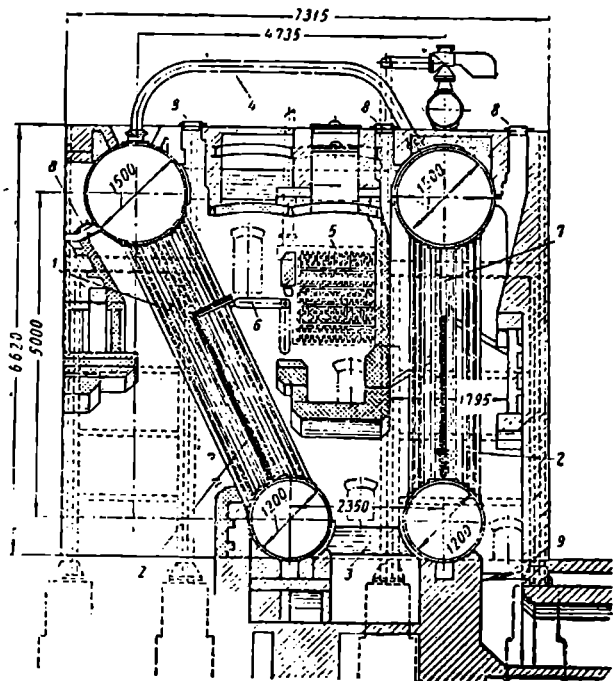
მცირების მიხედვით მოცემულია ნაქ. 3—47-ზე. სწორსადუღებელმილებიან ქვაბებს აგებ-
დნენ როგორც ორ-, ისე ოთხდოლიანს. ასეთ ქვაბებში სწორი სადუღებელი მილების
მიერთება დოლებთან ხორციელდებოდა საფეხურებიანი დატვიფრული ფილების საშუ-
ალებით.

ნაქ. 3—48-ზე წარმოდგენილია ლუგანის ქარხნის სწორსადუღებელმილებიანი
ოთხდოლიანი ქვაბი. ქვაბის ზედა და ქვედა დოლები ერთმანეთთან შეერთებულია გადი-
ლებული დიამეტრიანი მილებით; სადუღებელი მილების 1 და 7 კონებთან ერთად მიღებუ-
ლია წყლის საცირკულაციო ჩაქეტილი სისტემა. ზედა დოლების საორთქლე სივრცეები
ერთმანეთთან შეერთებულია ორთქლის გადასადინებელი მილთა 4.

ასეთ ქვაბებს გააჩნდა რიგი უარყოფითი მხარეებისა. დატვიფრული ფილა, რომე-
ლიც დამზადებისათვის რთულია, ამცირებდა ქვაბის დოლების სიმტკიცეს და ზღუდავ-
და ორთქლის წნევის გადიდების საშუალებას 17—18 ატმ ზევით. კონსტრუქციის სიხის-
ტისა და არაერთნაირი სითბური გაფართოების გამო ადგილი ჰქონდა წყლის გამოყოფ-
ვას მილების მიერთების ადგილებში. სადუღებელი მილების აირების მიერ სივრცეები გარ-
შემოგარების გამო შემცირებული იყო თბოგადაცემის ინტენსივობა, რის შედეგად შედა-
რებით გაზარდილი იყო ბურების ზედაპირის სიდიდე. აღნიშნულ ნაკლოვანებათა გამო ეს
ქვაბები მოხსნილ იქნა წარმოებიდან. სწორსადუღებელმილებიანი შვეულწყალში-
ლა ქვაბებთან ერთად პირველად ოქტომბრის რევოლუციამდელ რუსეთში პროფ. კირ-
შის პროექტით დაწყებულ იქნა მოლუნული სადუღებელმილებიანი ქვაბების გამოშვე-
ბა. მოლუნული სადუღებელი მილები საშუალებას იძლეოდნენ დოლები დამზადებულიყო

დატვიფრული საფეხურებიანი ფილების გარეშე და კონსტრუქციას მისცემოდა შედარებით მეტი ელასტიურობა.

ლენინგრადის ლითონების ქარხნის მიერ გამოშვებულ იქნა ლუგანის სწორმილებიანი ოთხდოლიანი ქვების (ნაქ. 3 - 47, გ) ნაცელად მოლონულშილებიანი ოთხდოლიანი ქვა-



ნაქ. 3—48. ოთხდოლიანი შევული წყალშილა ქვაბი (ლუგანის ქარხნის).

1-სადღებელი მილების წინა კონა, 2-აირების მიმართულებას მიმეწო ტიბები, 3-ქვედა დოლბის შემართებელი მილი, 4-ორბაქლგადსადირგებელი მილა, 5-ორბაქლგადამრეზებელი, 6-ორბაქლგადამრეზებლის აირსავალი გამაჯალი აირის რაოდენობას სარეგულაციო საცეტი, 7-სადღებელი მილების უკანა კონა, 8-საძრომები სადღებელი მილების შეცლისათვის, 9-მხებრაი.

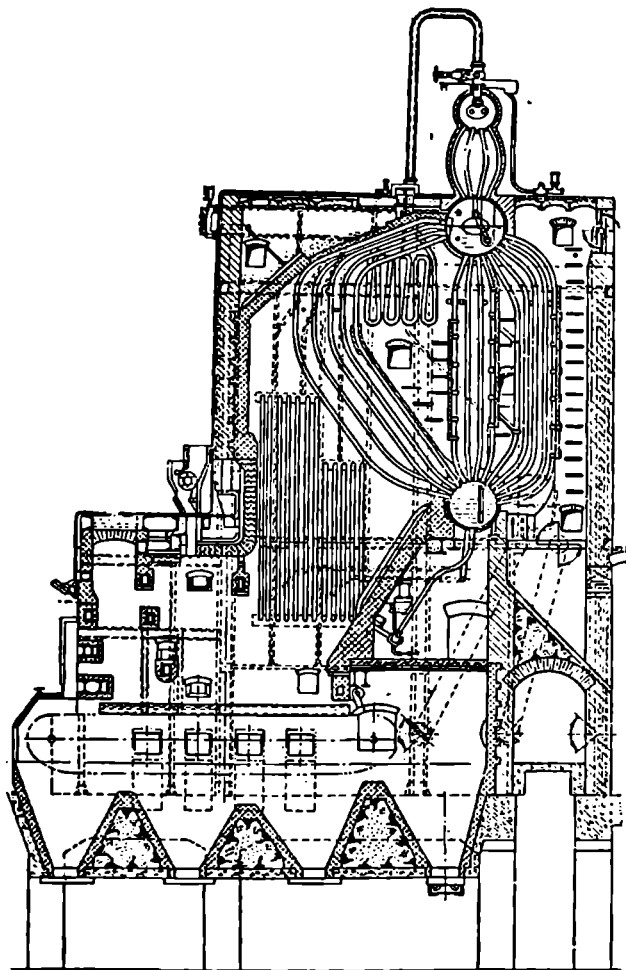
ბები (ნაქ. 3—48), რითაც შეიქმნა ორბაქლის წნევის 32—37 ატმ-მდე გადიდების შესაძლებლობა.

ქვაბთშენებლობის განვითარების შედეგად დაიწყო ორდოლიანი ქვაბების გამოშვება შედარებით გაუმჯობესებული წყლის ცირკულაციით; ამ ტიპის H31—450 მარკის ქვაბი მოცემულია ნაქ. 3—49-ზე.

ქვაბის ხურების ზედაიარია 450 მ², ორბაქლმწარმოებლობა 25—30 ტ/სთ, 22 ატმ წნევის დროს.

ასეთი ტიპის ქვაბების უპირატესობა გამოისახებოდა ერთეულ პროდუქტიაზე ლითონის შემცირებულ ხარჯში და წყლის უფრო ვაძლიერებულ ცირკულაციაში.

უარყოფით მხარეებად შეიძლება აღინიშნოს იგივე, რაც სამდლოიან ქვაბებში, ე. ი.

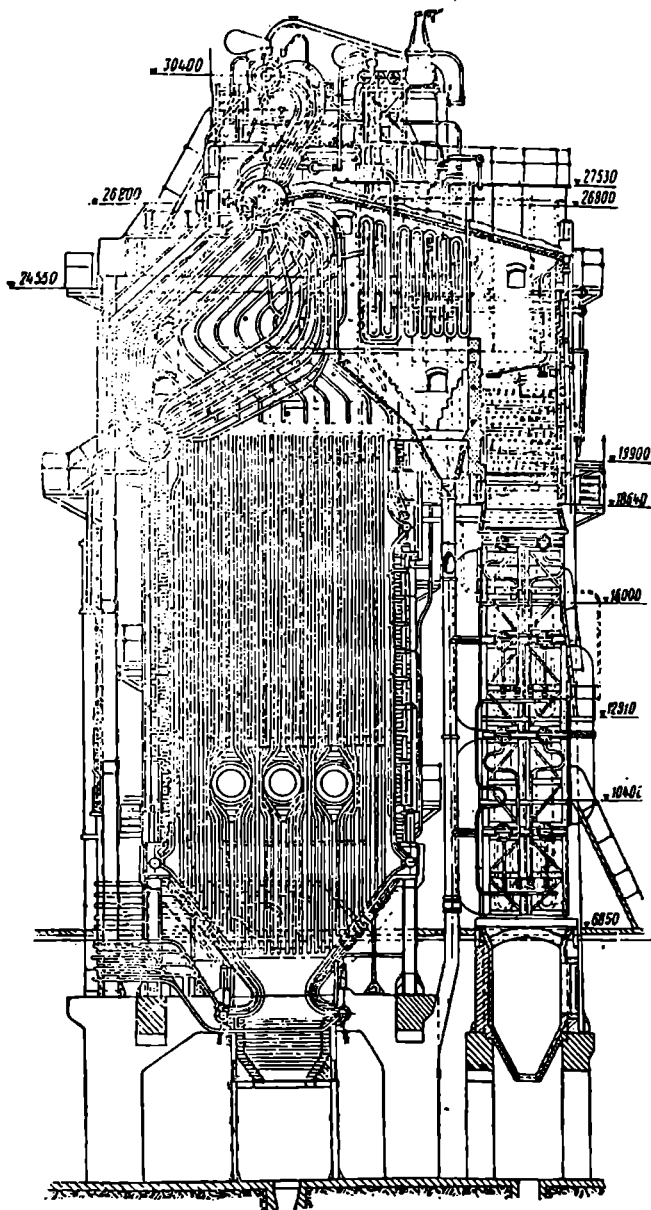


ნაკ. 3—49. НЗЛ—450 მარკის შვეული ორდოლიანი ქვაბი, ნაკერი ტორფის დასაწვავი ზებტურ-ჯაკეფურ: საციცხლითი.

ხლეს საშუალო სიმძლავრე დაახლოებით 14 მ. რადიაციული ხურების ზედაპირი მეტად განვითარებულია. ის შედგება ეკრანებისა და სადულებელი მილების კონის ზედაპირის ნაწილისაგან. სადულებელი მილების დიამეტრია 83/73 მმ, ხოლო გადაშორების 38/31 მმ,

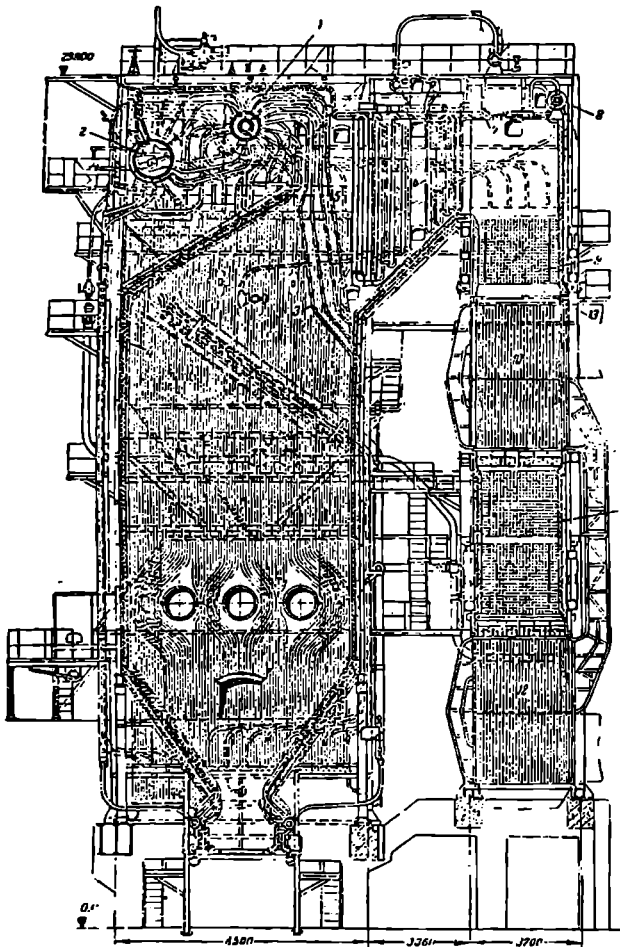
აირების სადულებელი მილების თითქმის მთელი ხურების ზედაპირის სიგრძივი შემოვარება, რითაც შემცირებულია თბოგადაცემის ინტენსიობა. ამის შემდეგ აგებულ იქნა გაუმჯობესებული კონსტრუქციის რიგი ორდოლიანი ქვაბებისა, რომელთა წარმოადგენლად ითვლება ტაგანროგის ქარხნის—ЦКТИ—ТКЗ მარკის ორდოლიანი ქვაბი 120/150 ტ/სთ ორთქლმწარმოებლობით, 35 ატმ ორთქლის წნევისა და 425 °C გადახურების ტემპერატურის დროს. განხილული კონსტრუქციის ქვაბში საციცხლის ვადამხურავი სადულებელი მილების კონა შედარებით უფრო მოლუნულია იმიტომ, რომ განივი შემოვარებით გაძლიერებულ იქნეს თბოგადაცემის ინტენსიობა.

ნაკ. 3—50-ზე მოცემულია ქვაბის კონსტრუქცია, რომელსაც აქვს ნახშირის მტერის დასაწვავი კამერული საციცხლი; ამ უკანასკნელის მოცულობაა დაახლოებით 650 მ³. საციცხ-



ნაქ. 3 - 5A.ЦКТИ-ТКЗ-ს არდოლიანი შედელი წყალმილა კვაბი (100/100 ტონ).

ქვაბს აქვს როგორც წყლის ეკონომიზერი, ისე ორთქლგადამზერებელი.



ნაკ. 3-51. შვეული ერთდოლიანი წყალმილა ტი-230-1 ქვაბი.

1-ფოლი ორთქლისაგან წყლის გამოყოფისათვის, 2-ქვაბის ძირითადი დოლი, 3-ფესტონა, 4-ფრონტის ეკრანი, 5-ორთქლგადამზერების მეორე საფეხური, 6-ორთქლგადამზერების პირველი საფეხური, 7-ორთქლის სარინი მიღები, 8-ორთქლის გამაყვანილებელი, 9-წყლის ეკონომიზერის მეორე საფეხური, 10-საგრუნთობის მეორე საფეხური, 11-წყლის ეკონომიზერის პირველი საფეხური, 12-საგრუნთობის პირველი საფეხური.

ნაკ. 3-51-ზე ნაჩვენებია ერთ-ერთი სამამულო წარმოების მაღალი წნევის ტი-230-1 ტიპის შვეული ერთდოლიანი წყალმილა ქვაბი. მისი ორთქლმწარმოებლობაა 230 ტ/სთ; ამ ქვაბიდან მიიღება 100 ატა წნევისა და 510 °C ტემპერატურაიანი გადახურებული ორ-

დაწყებული 1937 წლიდან, სსრ კავშირის ქვაბთმშენებელმა ქარხნებმა დაიწყეს შვეული წყალმილა ერთდოლიანი რადიაციული ქვაბების გამოშვება, რომელთა ორთქლმწარმოებლობა 200 ტ/სთ-ს აღწევდა, 32 ატმ წნევისა და 425 °C გადახურების ტემპერატურის დროს. ПМС-სა და ტავანროვის ქარხნის მიერ გამოშვებულ იქნა შემდეგი ტიპის ქვაბები: КО-III, КО-VI, ТКП-1, ТКП-3, ТП-150 და ТП-200.

ომის შემდგომ პერიოდში ტავანროვის ქარხნის მიერ გამოშვებულ იქნა მსგავსი ტიპის ქვაბები, რომლებიც იმდროინდელ 39 ატმ წნევისა და 450 °C გადახურების ტემპერატურაზე ორთქლს. მაგრამ ასეთი ტიპის მძლავრი ორთქლის ქვაბების შემდგომი გამოშვება შეწყვეტილი იქნა მაღალი წნევის ქვაბების გამოშვების აუცილებლობის გამო.

მაღალი წნევისა და მაღალი გადახურების ტემპერატურის მქონე წყლის ორთქლის მისაღებად იყენებენ როგორც დოლენბიანს, ისე პირდაპირი დინების ქვაბებს.

თქლი. ქვაბს აქვს ნახშირის მტერის დასაწვავი საცეცხლე სრული ეკრანირებოთ. ქვაბის ძირითადი დოლის ზემოთ მდებარეობს მცირედიამეტრიანი დოლი 1, რომელიც ვახუთ-ვნილია ორთქლისაგან წყლის გამოსაყოფად.

1953 წელს ტაგანროგის ქვაბთმშენებელი ქარხნის მიერ გამოშვებულ იქნა ზემალა-ლი წნევის პირველი ТП-240-1 ტიპის ქვაბაგრეგატი, წყლის ბუნებრივი ცირკულა-ციით. მისი ორთქლმწარმოებლობაა 240 ტ/სთ; ამ ქვაბში მიიღება 170 ატა (ქვაბის დოლ-ში 185 ატა) წნევისა და 555°C ტემპერატურიანი გადახურებული ორთქლი.

უკანასკნელ წლებში გამოშვებულია ორთქლის ისეთი ქვაბები, რომლებიც მუშაო-ბენ ბლოკური სქემით ორთქლის ტურბინებთან. ასეთი ქვაბების ორთქლმწარმოებლობაა 420 ტ/სთ, წნევა 140 ატა, როდესაც ის მუშაობს ბლოკური სქემით 100000 კვტ სიმძლავ-რის ორთქლის ტურბინთან. 640 ტ/სთ ორთქლმწარმოებლობის ქვაბი ბლოკური სქე-მით ემსახურება 200000 კვტ სიმძლავრის ორთქლის ტურბინას.

3-26. შიკრი ორთქლმწარმოებლობის ფაქტური წყალშილა მშაბები

სამაბულო ომის შემდგომ, უკანასკნელ წლებში საწარმოო-გაბოზობის საქვაბებ დანად-გარგებისათვის, შუბოვ-ბერლინის ქვაბების ნაცვლად გამოშვებულ იქნა სხვადასხვა სისტე-

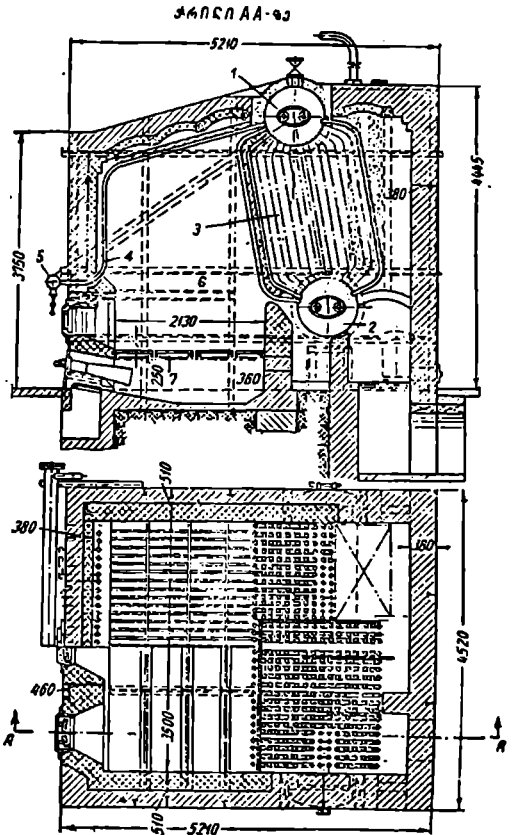
მის მცირე ორთქლმწარმოებლო-ბის ქვაბები, როგორცაა КРЛШ, ДКВ, ВЕД და სხვ.

КРЛШ-ს ქვაბი წარმო-იდგენს კუროჩკოს, რასუდოვისა და შაფრანის კონსტრუქციის შვე-ულ ორდოლიან წყალშილა ქვაბს. ასეთი ქვაბების ორთქლმწარმო-ებლობაა 2 და 4 ტ/სთ, ორ-თქლის წნევა 8 და 13 ატკ, ბუ-რების ზედაპირი 100 და 172 მ².

ნაკ. 3-52-ზე ნაჩვენებია КРЛШ-ს ქვაბი, რომელსაც მოწ-ყობილი აქვს ანთრაციტის დასა-წვავი ქვედა საცეცხლე.

ასეთი ქვაბის ბურების ზე-დაპირის დაძაბულობა იღება 25—28 კგ/მ²სთ.

წესიერი ექსპლოატაციის დროს ქვაბის მ. ქ. კ. მიიღება



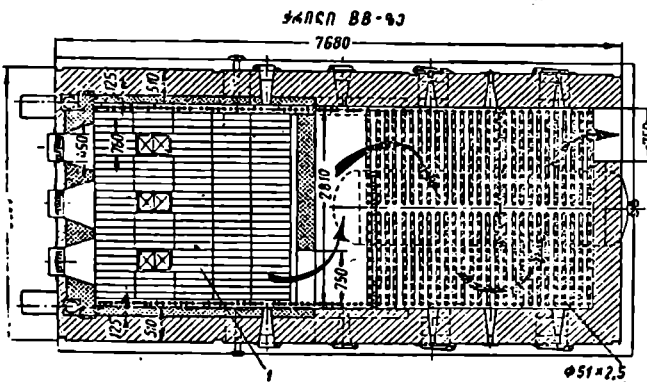
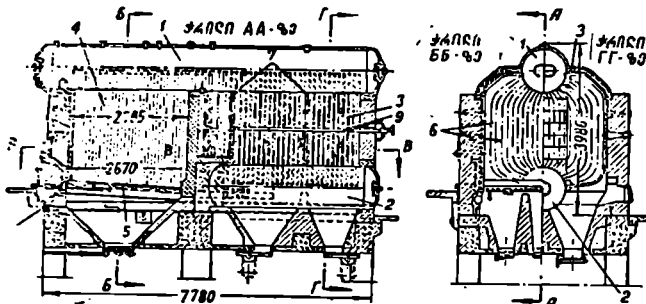
ნაკ. 3-52. КРЛШ-ს ქვაბი, ანთრაციტის ქვედა საცეცხლეთი.

1-ზედა დოლი, 2-ქვედა დოლი, 3-სადლე-ბური მიღება, 4-ეკრანის მიღები, 5-ეკრანის კოლექტორი, 6-საცეცხლე, 7-საცეცხლეს ცხარა.

67-69%. ორთქლგადახურებელი გაადგილებულია სადუღებელი მი-ღების შემდეგ.

ДКВ-ს ქვაბი წარმოად-გენს ორდოლიან შვეულ წყალშილა ქვაბს, რომელიც მზადდება ბისკის ქარხნის მიერ.

ქვაბებს 8 ატმ წნევის ორთქლისათვის აგებენ 2 ტ/სთ ორთქლმწარმოებლობით, ხოლო 4, 6, 5 და 10 ტ/სთ ორთქლმწარმოებლობისას 13 ატმ წნევის ორთქლისათვის. 2 ტ/სთ ორთქლმწარმოებლობის ქვაბი მზადდება ორთქლგადამხურებლის გარეშე. გადიდებული ორთქლმწარმოებლობის დანარჩენ ქვაბებში ეწყობა ორთქლგადამხურებელი.



ნაკ. 3—53-ზე ნაჩვენებია ДКВ-ს ქვაბი.

ВВД-ს ქვაბი წარმოადგენს დობრინის კონსტრუქციის შვეულ წყალმილა ქვაბს, რომელიც КРЛШ ქვაბის მსგავსია. ასეთი ქვაბების ორთქლმწარმოებლობაა 2; 2,5; 4 და 6,5 ტ/სთ, შესაბამისად ხურების ზედაპირებია 80; 90; 140 და 210 მ². ქვაბს აქვს ზედა და ქვედა დოლი, რომლებზეც შეერთებული არიან მოღუნული სადულეებელი მილებით. სადულეებელი მილების დიამეტრია 76/70 მმ. ორთქლის ქვაბებს, რომელთა ორთქლმწარმოებლობაა 4 ტ/სთ და მეტი, აქვთ ეკრანები.

ნაკ. 3—54-ზე ნაჩვენებია ВВД-ს შვეული წყალმილა ქვაბი.

ორთქლგადამხურებელი ეწყობა სადულეებელი მილების კონის შემდეგ, პირველი და მეორე ქვაბისაგან უკან. აირების მიერ

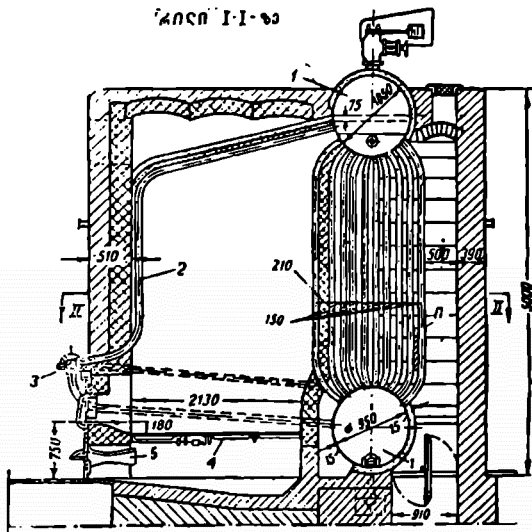
სადულეებელი მილების შემოგარება განივად ხდება სამ სვლად, ისე, როგორც КРЛШ ს ქვაბებში. ქვაბის ხურების ზედაპირის დაძაბულობაა 25—30 კგ/მ²სთ, ხოლო მისი მ. ქ. კ. სწორი ექსპლუატაციის დროს მიიღება 63—65°/o.

3—27. პირდაპირი ღინძის ძვაბები

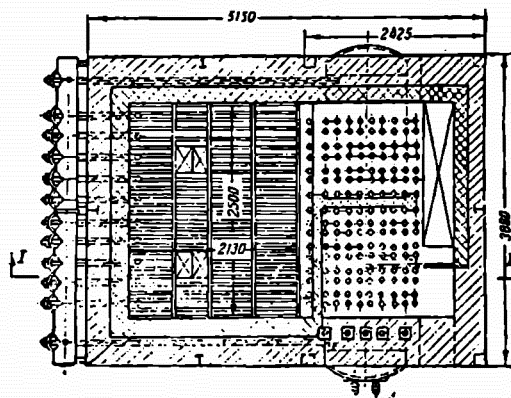
ორთქლის მაღალი წნევებისას დოლებიანი ქვაბების ძირითად უარყოფით მხარეს წარმოადგენს დოლების არსებობა. ქვაბის დოლების კედლების სისქე 100—120 ატ წნევისას აღწევს 100—110 მმ ს. ასეთ ქვაბებში დიდია ლითონის ხარჯი.

ქვაბის დოლების წონა აღწევს 1 ტონას ერთ ტონა ორთქლზე საათში, ე. ი. რამდენ ტონა ორთქლსაც იძლევა ქვაბი 1 საათში, იმდენივე წონა ექნება ქვაბის დოლებს.

ჭაჩი I-I-63



ჭაჩი II-II-63



ნაკ. 3-54. ВВД-ს ჭები.

1-ქების დოლები, 2-ეგრანი, შერაგების კოლექტორი, 4-საცეცხლეს ცხარა, 5-სერის მ-საწოდებელი.

ამიტომ ზუნებრივია, რომ არა ერთი თაობის გამოგონებლებს მოუხდებოდათ მუშაობა, რათა შეექმნათ უღალო მალალი წნევის ორთქლის ქვაბები.

1906 წელს სამხედრო ინჟინრის ვ. ე. ტაბულევიჩის მიერ პირველად აგებულ იქნა საცდელი მოდელი პირდაპირი დინების ქვაბისა, რომლის ხურების ზედაპირის დაბლაობა იყო დაახლოებით 6 კგ/მ² სთ. ქვაბში მიღებული ორთქლის წნევა აღწევდა 60 ატა.ს. იმ დროისათვის ტექნიკის დაბალი დონის გამო ასეთი ქვაბების სამრეწველო მასშტაბით გამოყენების საშუალება არ იყო. მხოლოდ 17 წლის შემდეგ პრაქტიკულად განხორციელებულ იქნა ტაბულევიჩის წინადადება.

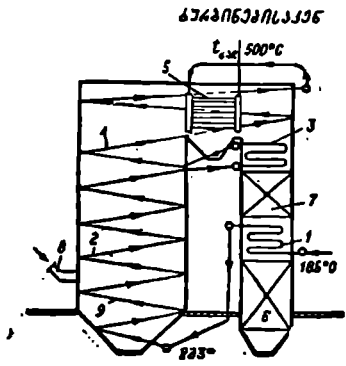
პირველი მალალი წნევის პირდაპირი დინების ბენსონის სისტემის ქვაბები, რომლებიც იძლეოდნენ დაახლოებით 230-ატა წნევის ორთქლს, აგებულ იქნენ გერმანიაში.

პირველი საბჭოური ლ. კ. რამზინის მალალი წნევის პირდაპირი დინების ქვაბი ექსპლუატაციაში შევიდა 1933 წელს ქ. მოსკოვის ერთ-ერთ აბოვლექტროცენტრალში.

ქვაბის ორთქლმწარმოებლობაა 200 ტ/სთ; ამ ქვაბში მიიღება 140 ატა წნევისა და 510 °C ტემპერატურის გადახურებული ორთქლი. 1938 წლამდე ქვაბი მუშაობდა მაზუთზე, ხოლო შემდგომ გადაყვანილ იქნა ნახშირის მტერისებრ სათბობზე.

ნაკ. 3—55-ზე ნაჩვენებია 51—СП პირდაპირი დინების ქვაბის სქემა.

წნევის ქვეშ მყოფი 185°C მდე გამთბარი წყალი ტუმბოთი მიეწოდება წყლის ეკონომიზერის კონვექციურ ნაწილში 1, აქედან 233°C-მდე გამთბარი წყალი მიეწოდება ეკონომიზერის რადიაციულ ნაწილში 9. ეკონომიზერის რადიაციული ნაწილიდან იგი გადის ქვაბის რადიაციულ ნაწილში 2, სადაც გარდაიქმნება ტენიან ნაჯერ ორთქლად (სიმშრალის ხარისხით $x = 0,70$). შემდგომ ორთქლისა და წყლის ნარევი გადადის ქვაბის კონვექციურ ნაწილში 3, ე. წ. გარდამავალ ზონაში, სადაც ხდება წყლის საბოლოო აორთქლება. უკანასკნელს თან სდევს მინადლუწარმოქმნელი მარილების გამოყოფა, ხოლო ვინაიდან ამ ზონაში აიორების ტემპერატურა დაბალია, მარილების გამოყოფა სახიფათო არ არის.



ნაკ. 3—55. მალალი წნევის პირდაპირი დინების 51—СП ქვაბის სქემა:
 1-წლის ეკონომიზერის კონვექციური ნაწილი, 2-ქვაბის ზედაპირის რადიაციული ნაწილი, 3-ქვაბის ხურების ზედაპირის კონვექციური ნაწილი, 4-ორთქლგადამხურებლის რადიაციული ნაწილი, 5-ორთქლგადამხურებლის კონვექციური ნაწილი, 6-7-პერეშემობობი, მსაწურა, 9-წლის ეკონომიზერის რადიაციული ნაწილი.

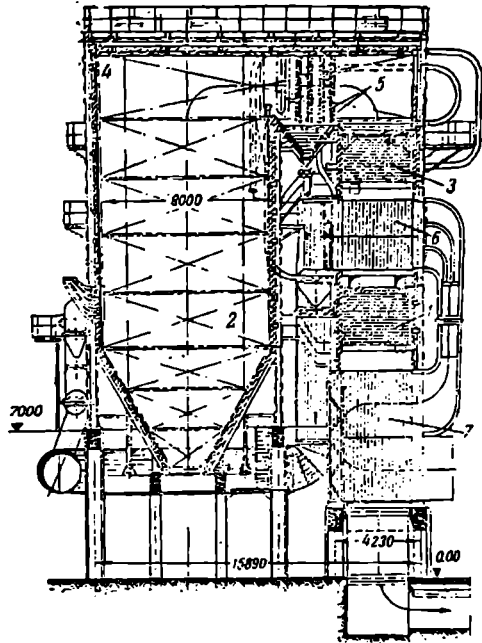
ქვაბის კონვექციური ნაწილიდან ორთქლი გადადის ორთქლგადამხურებლის რადიაციულ ნაწილში 4 და შემდგომ ორთქლგადამხურებლის კონვექციურ ნაწილში 5. უკანასკნელიდან გამოდინებული ორთქლი 140 ატა წნევისა და 500°C გადახურების ტემპერატურით მიემართება ორთქლის ტურბინისაკენ.

პერეშემობობი დაყოფილია ორ საფეხურად 6 და 7, და გაადგილებულია კონვექციურ შახტაში წყლის ეკონომიზერის ხურების ზედაპირის კონვექციური ნაწილის 1 წინ და შემდეგ. ასეთი ტიპის ქვაბების კამერული საცეცხლები მომარჯვებულია ყველა სახის ენერგეტიკული სათბობების დაწვისათვის. ასეთ საცეცხლებში ნახშირის მტერის გარდა, სათბობად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც თხევადი, ისე აირადი სათბობები.

პირდაპირი დინების ქვაბებს, დოლიან ქვაბებთან შედარებით, ერთნაირ პირობებში

ნაკლები წონა აქვთ და უფრო მოხერხებულად ხორციელდება წყლისა და სათბობის მიწოდების ერთდროული რეგულაცია.

ქვაბის განაღებვის პროცესზე იხარჯება შედარებით ნაკლები დრო, დაახლოებით 1,5—2 საათი. ამ ეტაპად დიდი რაოდენობით იგება სხვადასხვა წნევის პირდაპირი დინების ქვაბები როგორც საბჭოთა კავშირში, ისე საზღვარგარეთ.



ნაკ. 3—56. ლ. კ. რანზინის

51—CII 2:10 100

1-წყლის ეკონომიზატორი, 2-ქვედა რადიაციული ნაწილი, 3-გარდასახული ხონა, 4-ზედა რადიაციული ნაწილი, 5-კონვექციული ორთქლადანერეხული, 6-ქვედასაბოთის მცირე საფეხური, 7-სა რემპობის პირველი საფეხური.

ნაკ. 3—56-ზე ნაჩვენებია უკანასკნელ ხანებში აგებული რამზინის პირდაპირი დინების ქვაბი, 230 ტონა ორთქლმწარმოებლობით; იგი იძლევა 110 ატა წნევისა და 510°C ტემპერატურიან გადახურებულ ორთქლს.

3—28. სახელმწიფო სტანდარტი ორთქლის ძვანბნის

1947 წელს დამტკიცებული იყო სახელმწიფო სტანდარტი ГОСТ 3619—47 ორთქლის ქვაბების ძირითად პარამეტრებსა და ორთქლმწარმოებლობაზე, რომლებიც მზადდებოდნენ საბჭოთა კავშირში.

საბჭოთა კავშირის ქვაბთმშენებელი ქარხნები ამ სახელმწიფო სტანდარტით სარგებლობდნენ ახალი ორთქლის ქვაბების დამაროექტებისა და აგებისას უკანასკნელ დრომდე.

ორთქლს ქვაბების ძირითადი პარამეტრები და ორთქლმწარმოებლობა სტანდარტის ГОСТ 3619—47 მიხედვით

ორთქლის მუშა წნევა ქვაბიდან გამოსვლისას კგ/სმ ²	გადახურებული ორთქლის ტემპერატურა °C	ქვაბის ნომინალური (მაქსიმალურად ხაზრძლივი) ორთქლმწარმოებლ. ტ-ბით	საქვები წლის ტემპერატურა °C
8	ნაჯერი	0,2; 0,4; 0,7; 1 და 2	20; 50
13	ნაჯერი; 250, 300, 350	(2,5); 4; 6,5 და 10	50
(16)	(350 და 375)	12 და 20	100
(31,5)	(420)	50; 75; 150 და 200	140; 150
39	450	12; 20; 35; 50; 75 და 110	150
100	510	75; 120; 175 და 230	215

ამჟამად საბჭოთა თბოენერგეტიკოსების წინაშე დაისვა ამოცანა შემდეგ უფრო მაღალ პარამეტრებზე გადასვლის შესახებ:

140 კგ/სმ³ წნევა და 565 °C გადახურების ტემპერატურა,
180 " " " 565 °C " "
250 " " " 585 °C " " ორთქლის შუა-
ღელღური გადახურებით 535—565°C-მდე,
300—350 კგ/სმ³ წნევა და 600—650°C; ორჯერ ორთქლის
შუაღელღური გადახურებით.

თ ა შ ი 3—8

სამყაბე აზრმაბინს დამატებითი ხურმაგის ზომდაპირმეი

ორთქლდამხურებელი, წყლის ეკონომიზერი და ჰაერშემთბობი განიხილება როგორც საქვაბე აგრეგატის ძირითადი ელემენტები; მათი ხურების ზედაპირები მის დამატებით ხურების ზედაპირებს წარმოადგენენ.

დამატებითი ხურების ზედაპირების არსებობა უზრუნველყოფს საქვაბე დანადგარის მ. ქ. კ.-ის გადიდებას და სითბური პროცესების სრულყოფას.

3—28. წყლის ეკონომიზერმაგ

წყლის ეკონომიზერი წარმოადგენს მილებისაგან შემდგარი ხურების ზედაპირს რომლის დანიშნულებაა წარმავეალი აირების სითბოს ხარჯზე ქვაბის საკვები წყლის წინასწარ შეთბობა.

საკვები წყლის შეთბობის მიხედვით ეკონომიზერებს ჰყოფენ ორ ჯგუფად: არამდულარე და მდულარე. არამდულარე ეკონომიზერებში წყალი თბება დუღილის ტემპერატურაზე 30—50°C ით ნაკლებ ტემპერატურამდე, ხოლო მდულარე ეკონომიზერში წყალი მიიქვანება დუღილამდე და ნაწილობრივ (10—15%) აორთქლებამდე.

თუ წნევა არ აღემატება 22 ატმ.-ს, ეკონომიზერები მზადდება თუჯის წიბოვანი მილებისაგან, ხოლო თუ წნევა აღემატება 22 ატმ.-ს ეკონომიზერები მზადდება ფოლადის გლუვზედაპირიანი მილებისაგან.

ნაკ. 3—57-ზე ნაჩვენებია თუჯის წიბოვანი მილებისაგან შემდგარი წყლის ეკონომიზერის საერთო ხედი.

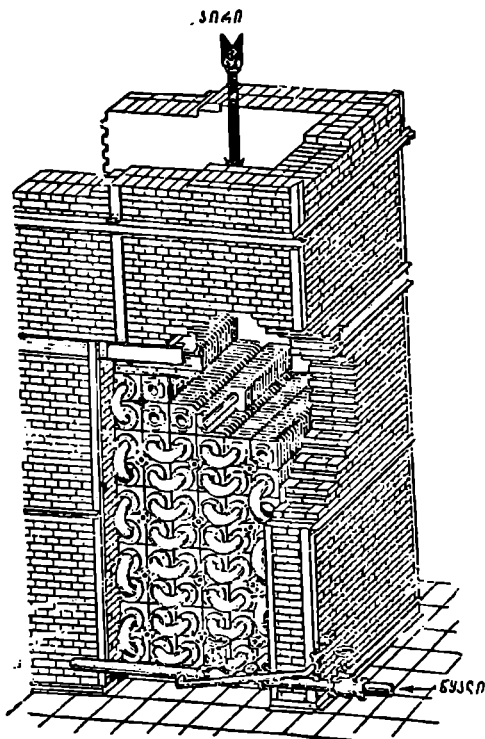
ЦКТИ და ВТИ-ს ტიპის თუჯის ეკონომიზერის წიბოვანი მილების დიამეტრია 102 მმ, ხოლო მილების სიგრძე—1990 მმ.

წიბოების ფორმა ილება როგორც კვადრატული, ისე მრგვალი. წყლის მოძრაობის სიჩქარე მილებში აილება საშუალოდ 0,4—0,5 მ/წმ. ასეთი კონსტრუქციის ეკონომიზერების უარყოფით მხარედ ჩაითვლება მცირე სიდიდის თბოგადაცემის კოეფიციენტი, წარმავეალი აირების გადინების მცირე სიჩქარეების გამო, რის შედეგად მიილება ეკონომიზერის დიდი ხურების ზედაპირი და დიდდება ეკონომიზერის გაბარიტული ზომები.

საშუალო და მაღალი წნევის ქვაბაგრევატებისათვის გამოიყენება ფოლადის კლაკ-ნილა მილებიანი ეკონომიზატორები, რომელთა მილების გარე დიამეტრი იღება 32—38 მმ. ასეთ ეკონომიზატორებში წყლის მოძრაობის სიჩქარე აიღება არანაკლებ 0,7—0,8 მ/წმ-ისა, მტერისებრ მდგომარეობაში ნაცარუხვი სათბობის დაწვისას.

წარმავალი აირების სიჩქარე ეკონომიზატორში არ უნდა აღემატებოდეს 9—10 მ/წმ, მფრინავი ნაცრის მიერ მილების ზედაპირების მექანიკური ცვეთის თავიდან ასაცილებლად. როგორც წესი, ეკონომიზატორში მიწოდებული წყლის ტემპერატურა მეტი უნდა იყოს ნამის ტემპერატურაზე, ეკონომიზატორის მილების გარე ზედაპირების კოროზიის (ამოჭმის) თავიდან ასაცილებლად.

წყლის ეკონომიზატორების გამოყენებით მიიღება სათბობის ეკონომია 5—12% მდე. წყლის ეკონომიზატორის ხურების ზედაპირი შეიძლება შედგებოდეს როგორც რადიაციული, ისე კონვექციური ზედაპირებისაგან.



ნაკ 3—57. თუჯის წიბოვანმილებიანი ეკონომიზატორის საფარო ხელი.

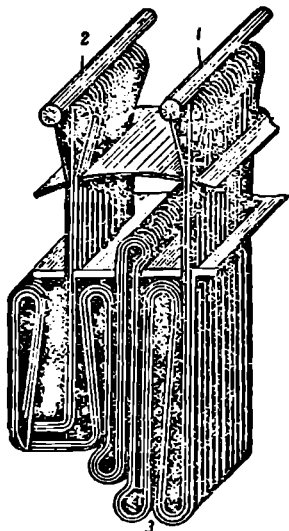
3—30. ორთქლგადაბუხარევატები

ორთქლგადაბუხარევატები ქვაბაგრევატის მოთავარი და დიდმნიშვნელოვანი ელემენტია. მასში ხდება მიწოდებული ტენიანი ხაჯერი წყლის ორთქლის გადაბუხება დაღვენილ ტემპერატურამდე.

ორთქლგადაბუხარევატის გამოყენების მნიშვნელობა თანდათან იზრდება, მაღალი წნევისა (300 ატა მდე) და მაღალი გადაბუხების ტემპერატურის (600—650 °C-მდე) ორთქლზე გადასვლასთან დაკავშირებით.

ორთქლის გადაბუხების ტემპერატურის გადიდება ზრდის ორთქლძალური დანადგარების თერმული მ. კ. კ.-ის მნიშვნელობას და ამცირებს ორთქლის ხედრით ხარჯს ორთქლის ძრავებში.

ორთქლის გადახურების ტემპერატურის 14—15°C-ით გადიდება ორთქლის ძრავებში 1%-ით ორთქლის ხარჯის შეზღუდვას იწვევს. კონსტრუქციულად ორთქლგადამხურებელი წარმოადგენს ფოლადის კლაკნილა მილებისაგან შემდგარ სისტემას, მილების დიამეტრები აიღება 40/32 და 38/32 მმ. როგორც წესი, ორთქლგადამხურებლის გაადგილება ხდება შევეულად ან თარაზულად ქვაბის საერთო შემოკირულობაში.



ნაკ. 3—58-ზე ნაჩვენებია შევეულად გასადგილებელი ორთქლგადამხურებელი.

ორთქლგადამხურებლის ხურების ზედაპირი ხშირ შემთხვევაში შედგება მხოლოდ რადიაციული ან კონვექციური ზედაპირებისაგან. ზოგიერთ შემთხვევაში აყენებენ კომბინირებულ გადამხურებლებს, სადაც ხურების ზედაპირი დაყოფილია რადიაციულ და კონვექციურ ზედაპირებად.

ნაკ. 3-59-ზე ნაჩვენებია ორთქლგადამხურებლის კლაკნილებში წარმავალი აირებისა და ორთქლის მოძრაობის სხვადასხვა სქემა.

ორთქლგადამხურებლის მილების კედლების დასაშვები ტემპერატურების შესანარჩუნებლად, რომ ადგილი არ ექნეს მილების გადაწვას კვამლის აირების მაღალი ტემპერატურების გამო, ორთქლის სიჩქარეს იღებენ საერთოდ 15—25 მ/წმ, ხოლო რადიაციულ ნაწილში კი 30 მ/წმ-მდე.

გადახურებელი ორთქლის დადგენილი მუდმივი ტემპერატურის უზრუნველსაყოფად იყენებენ

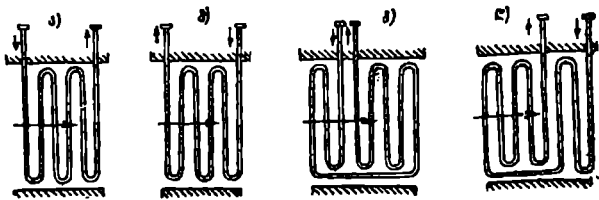
ნაკ. 3—58. საიკიდი (შეველი) ორთქლგადამხურებელი.

1-ტუნაბი ნაჯერი ორთქლის განაწილებელი კონსტრუქცია, 2-გადახურებელი ორთქლის შეკრები კოლექტორი.

კვამლის აირების ან ორთქლის მარეგულირებელ მოწყობილობებს.

საბჭოთა კავშირ.

ში მიღებულია გადახურებული ორთქლის ტემპერატურის რეგულირების შემდეგი ხერხები: ტენიანი ნაჯერი ორთქლის შერევა, კონდენსატის შესხურება, გადამხურებლის წინ აირსაკეტის დაყენება, რომელიც აირთა ნაწილს მიმართავს გადამხურებლის გვერდით აირსავალში, და ზედაპირული ორთქლგამაცივებლის გამოყენება.



ნაკ. 3—59. ორთქლგადამხურებელში წარმავალი აირებისა და ორთქლის მოძრაობის სქემა.

ა) აირისა და ორთქლის პარალელური დინება, ბ) და გ) აირისა და ორთქლის ძირადააირე დინება, დ) აირისა და ორთქლის კომბინირებული ანუ შერეული დინება.

3-31. ჰაერშემთბობები

ჰაერშემთბობებში შემთბარი ჰაერის საცეცხლეში მიწოდებისას სათბობის ნებისმიერი ხერხით დაწვის დროს უზრუნველყოფილია წვის პროცესის ინტენსივობა და მდგრადობა.

ლობა. ამასთან, ჰაერშემთბობის გამოყენება იძლევა საქვაებ დანადგარის ორთქლმწარმოებლობისა და მ. ქ. კ.-ის გაღივების საშუალებას.

ჰაერშემთბობში ჰაერის შეთბობა ხდება წარმავალი აირების სითბოს ხარჯზე. აირების ყოველ 20—25°C-ით ტემპერატურის შემცირებით საქვაებ დანადგარის მ. ქ. კ. დიდდება დაახლოებით 1% -ით.

ჰაერის შეთბობას ტემპერატურა იზღუდება საცეცხლს ტიპით და დასაწვავი სათბობის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებითა და, აგრეთვე, წარმავალი აირების ტემპერატურის შემცირების დასაშვები ტექნიკური ზღვრებით.

სათბობების შრისებრი წესით დაწვისას ჰაერის შეთბობა ხდება 200—250 C ტემპერატურამდე, ხოლო მაღალი წნევის ქაბების შემთხვევაში სათბობების ჩირაღდნული წესით დაწვის დროს კი 350—450 C ტემპერატურამდე.

ჰაერშემთბობები მზადდება ორი ტიპის: რეკუბერაციული (ფირფიტებიანი ან მილებიანი) და რეგენერაციული (მბრუნავი).

ფირფიტებიანი ჰაერშემთბობი მზადდება ფურცლოვანი ფოლადისაგან, სისქით 1,5-2,0 მმ. ფოლადის ფურცლები ზომით 2500 x 1250 მმ კომპლექტდება კუბებად, ისე რომ ფურცლებს შორის რჩება 13—24 მმ-მდე სივანის არხები კვამლის აირების გასასვლელად.

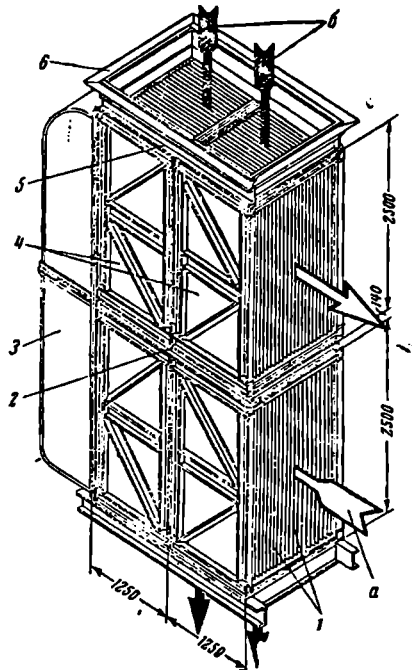
ნაქ. 3—60-ზე ნაჩვენებია ფირფიტებიანი ჰაერშემთბობის კონსტრუქციული შესრულება.

ჰაერშემთბობის ყოველ კუბში მოთავსებულია 145—308 მ² ხურების ხედაპირი. თბოგადაცემის კოეფიციენტი მიიღება $k = 10—12$ კკალ/მ² საგრად. ასეთი ტიპის ჰაერშემთბობების ექსპლოატაციის დროს ადგილი ჰქონდა მთელ რიგ ნაკლოვანებებს, როგორცაა: ფოლადის ფურცლოვანი ფირფიტების დაბრეკა, ჰაერის მიწოვა, ნაცარუხვი სათბობების დაწვისას აირის არხების გაბიღვნი მფრინავი ნაცრით და სხვ.

ყველა ამ ნაკლოვანებამ გამოიწვია ფირფიტებიანი ჰაერშემთბობების ნაცულად მიღებიანი ჰაერშემთბობების ფართოდ გამოყენება.

მიღებულია ჰაერშემთბობები მზადდება თხელკედლიანი (კედლის სისქე 1,5 მმ) მილებისაგან, რომელთა სიგრძე იღება 2—10 მ-მდე. მილების გარე დიამეტრია 41—51 მმ. მილები თავის ბოლოებით ჩატკეცილია ორ პარალელურ ბრტყელ ლითონის სამილე ცხაურაში და იქმნება გარკვეული ხურების ზედაპირიანი, მილებიანი ჰაერშემთბობის კუბი.

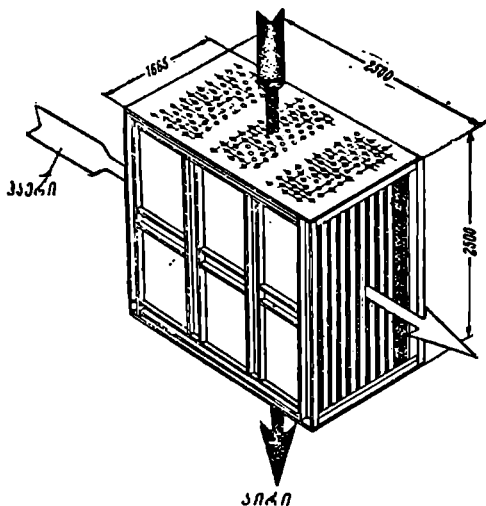
მილებიანი ჰაერშემთბობის კუბის კონსტრუქციული შესრულების საერთო ხედი მო-



ნაქ. 3—60. ფირფიტებიანი ჰაერშემთბობის კუბები.

1-ფირფიტები, 2-ფურის კარავი, 3-ჰაერის გასასვლელი კულო, 4-გარეშეშისა, 5-ჩარჩო, 6-ლიზის კონსტრუქცია.

ცემულია ნაკ. 3-61-ზე. მიღებიან ჰაერშემთბობს ფირფიტებიანთან შედარებით აქვთ უფრო მაღალი თბოგადაცემის კოეფიციენტი, $k=15-18$ კკალ/მ² სთ გრად. ექსპლოატაციის პირობებში მიღებიანი ჰაერშემთბობები აღმოჩნდა უფრო საიმედო და ხანგრძლივად მომუშავე.



რეგენერაციული (მბრუნავი) ჰაერშემთბობები ფართოდ გამოიყენება საზღვარგარეთ მაღალი წნეების მძლავრ საქვაბუდ დანადგარებში.

ნაკ. 3-61. მიღებიანი ჰაერშემთბობის უკუის საერთო ხედი.

სამამულო ქვაბთშენებლობის პრაქტიკაში ჯერჯერობით ისინი იშვიათად გამოიყენებიან.

თ ა ვ ი 3-9

საქვაბუდ დანადგარის დამხმარე მოწყობილობა

საქვაბუდ დანადგარის დამხმარე მოწყობილობას მიეკუთვნება მოწყობილობა საცეხლეში წვის პროცესისათვის საჭირო ჰაერის მისაწოდებლად და აირსაველებში წვის შესაქმნელად, მკვებავი ხელსაწყოები, სხვადასხვა დანიშნულების მილგაყვანილობა, ქვანის არმატურა, გარნიტურა და სხვ.

3-32. წიმა და ხერხა

საცეხლეში სათბობის წვის პროცესის უზრუნველსაყოფად საჭიროა ჰაერის მიწოდება და კვამლის აირების არჩენება. ქვაბაგრეგატში მოძრაობისას ჰაერი და კვამლის აირები განიცდიან როგორც ხახუნის, ისე ადგილობრივ წინალობებს. ადგილობრივი წინალობები პირობადებულია აირსაველების ფორმისა და აირების მოძრაობის მიმართულების შეცვლით, ხოლო ხახუნის წინალობანი კი დამოკიდებულია აირების მოძრაობის სიჩქარეზე და მათ ხედრით წონაზე, აირსაველების სიგრძეზე და მათი განივიკვეთის პერიმეტრზე და, აგრეთვე, აირსაველთა კედლების ზედაპირის სიმკისეზე.

ვენტილატორით ჰაერის ბერვის დროს გადალახული წინალობა ჰაერის შეთბობისა და სათბობის შრისებრი ხერხით დაწვის შემთხვევაში შედგება: ჰაერშემთბობის, ჰაერსადენებისა და სათბობის შრის წინალობებისაგან.

ჰაერის ბერვის ვენტილატორის მწარმოებლობა გაიანგარიშება ფორმულით

$$V_{\text{ავტ.}} = 1,15 \alpha_{\text{ავტ.}} \cdot B \sqrt[3]{\frac{t_1 + 273}{273}} \text{ მ}^3/\text{სთ}, \quad (3-68)$$

სადაც B კვ/სთ არის სათბობის საათური ხარჯი;

$\alpha_{\text{საქ}}$ — ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტი საცეცხლში;

ν °C — ჰაერის თეორიული ხარჯი;

t_3 °C — ჰაერის ტემპერატურა;

1,15 — ვენტილატორის მწარმოებლობის მარაგის კოეფიციენტის მნიშვნელობა.
ვენტილატორის ამძრავი ელექტროძრავის სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულით

$$N_{\text{ავტ.}} = 1,1 \frac{V_{\text{ავტ.}} \cdot \Sigma H_3}{3600 \cdot 75 \cdot 1,36 \cdot \eta_{\text{ავტ.}}} \text{ კვტ,} \quad (3-69)$$

სადაც ΣH_3 მმ წყ. სვ. არის ქვაბაგრეგატის ჰაერის ტრაქტის შეჯამებული წინაღობა;

$\eta_{\text{ავტ.}}$ — ვენტილატორის მ. ქ. კოეფიციენტი;

1,1 — ელექტროძრავის სიმძლავრის მარაგის კოეფიციენტი.

საქვებზე დანადგარებში გამოიყენება როგორც საკვამლე მილების საშუალებით შექმნილი ბუნებრივი წვევა, ისე კვამლსაწოვეებით განხორციელებული ხელოვნური წვევა. საკვამლე მილით ბუნებრივი წვევა ხორციელდება გარე ჰაერისა და მილში მყოფი კვამლის აირების ხედრითი წონების სხვაობის ხარჯზე.

საკვამლე მილის მოქმედების სქემა ნაჩვენებია ნაკ. 3—62-ზე.

ნაჩვენები სქემიდან ჩანს, რომ კვამლის აირებით სავსე საკვამლე მილი ჰაერს უკავშირდება ქვაბაგრეგატის აირსავალებით და საცეცხლით.

თუ საკვამლე მილის სიმაღლე არის H მ, მაშინ მისი საფუძვლის დონეზე ჰაერის დაწოლა იქნება:

$$p_a + H \gamma_a \text{ (კგ/მ}^2 \text{ ანუ მმ წყ. სვ.)}$$

სადაც p_a მმ წყ. სვ. არის ჰაერის ბარომეტრული წნევა საკვამლე მილის ამოსადინებელი შესართავის დონეზე;

γ_a კგ/მ³ — ატმოსფერული ჰაერის ხედრითი წონა.

მეორე მხრივ იმავე დონეზე საკვამლე მილში მყოფი კვამლის აირების დაწოლა იქნება

$$p_a + H \gamma_a \text{ (კგ/მ}^2 \text{ ანუ მმ წყ. სვ.)}$$

სადაც γ_a კგ/მ³ არის საკვამლე მილში კვამლის აირების ხედრითი წონა.

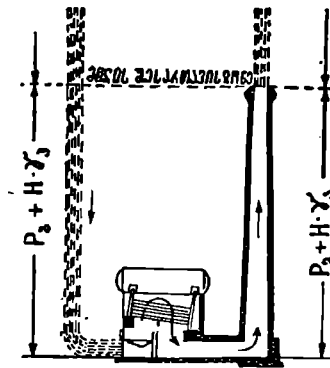
საკვამლე მილის საფუძვლის დონეზე ჰაერისა და კვამლის აირების დაწოლათა სხვაობა, შეპირობებული ხედრითი წონების სხვაობით საზღვრავს წვეას, რომლის სიდიდე განისაზღვრება ტოლობით:

$$\Delta \text{მილი} = (p_a + H \gamma_a) - (p_a + H \gamma_a) = H(\gamma_a - \gamma_a) \text{ მმ. წყ. სვ,} \quad (3-70)$$

$$\text{სადაც } \gamma_a = \gamma_a^e \frac{273}{273 + t_3} \cdot \frac{b}{760} \text{ კგ/მ}^3;$$

$$\gamma_a = \gamma_a^e \frac{273}{273 + t_{\text{საშ}}} \cdot \frac{b}{760} \text{ კგ/მ}^3.$$

ამ გამოსახულებათა (3—70) ტოლობაში ჩასმით საბოლოოდ მივიღებთ



ნაკ. 3—62. საკვამლე მილის მოქმედების სქემა.

$$S_{\text{მომ}} = H \cdot 273 \left(\frac{\gamma_3^b}{273 + t_3} - \frac{\gamma_3^a}{273 + t_3^a} \right) \frac{b}{760} \text{ მმ წყ. სვ.} \quad (3-71)$$

ამ ფორმულაში:

γ_3^a და γ_3^b არის ჰაერისა და კვამლის აირების ხვედრითი წონები ნორმალური პირობებისათვის (0°C და 760 მმ ვერცხ. წყ. სვ.),

t_3^a $^\circ\text{C}$ — აირის საშუალო ტემპერატურა საკვამლე მილში,

t_3 $^\circ\text{C}$ — ჰაერის ტემპერატურა.

b მმ ვერცხ. წყ. სვ. — ჰაერის ბარომეტრული წნევა.

როგორც (3-71) ფორმულის ანალიზიდან ჩანს, წვევა მით ძლიერია, რაც მაღალი საკვამლე მილი, მეტია კვამლის აირების ტემპერატურა და დაბალია გარე ჰაერის ტემპერატურა.

ბუნებრივი წვევის განხილვისას საკითხის გამარტივების მიზნით მხედველობაში მიღებული არ იყო თვითწვევა. საკითხის დეტალური განხილვის დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ თვითწვევა, რომელიც წარმოიქმნება იმის გამო, რომ ქვაბაგრეგატის აირსაველები საეუსეა ცხელი აირებით და ისინი მოქმედებენ როგორც შედარებით დაბალი სიმაღლის საკვამლე მილი.

თვით წვევის სიდიდის გაანგარიშება შეიძლება ფორმულით

$$S_{\text{თვით.წ.}} = h \cdot 273 \left(\frac{\gamma_3^a}{273 + t_3} - \frac{\gamma_3^b}{273 + \frac{t_3' + t_3''}{2}} \right) \text{ მმ წყ. სვ.,} \quad (3-72)$$

სადაც h მ არის ქვაბაგრეგატის აღებული აირსაველის სიმაღლე;

t_3' და t_3'' $^\circ\text{C}$ — შესაბამისად აირების ტემპერატურები აღებულ აირსაველში შესვლისა და გამოსვლის დროს.

საკვამლე მილები იგება აგურის, ფურცლოვანი რკინისა და იშვიათად რკინა-ბეტონისაგან. საკვამლე მილის სიმაღლე იღება შემდეგ ზღვრებში:

აგურის მილისათვის — $30 \div 70$ მ-მდე, რკინის მილისათვის — 40 მ-მდე და რკინაბეტონის მილისათვის $80 \div 150$ მ-მდე.

ბუნებრივი წვევის გამოყენება მეტად შეზღუდულია მცირე სიდიდის წვევის ძალის (მაქსიმუმი $30 \div 40$ მმ წყ. სვ.) გამო და საკვამლე მილში მაღალი ტემპერატურის ($200 \div 250$) $^\circ\text{C}$ კვამლის აირების შეშვების აუცილებლობით.

წვევის ძალის გაანგარიშებისას მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული ზემოაღნიშნული ყველა სახის წინაღობანი აირის ტრაქტის მიხედვით, აირის გატყევა საკვამლე მილში და საკვამლე მილის შესართავიდან აირის ამოღინების გარკვეული სიჩქარის უზრუნველყოფა.

თუ წვევის გაანგარიშებისას გამოიკრევა, რომ წინაღობათა გადასალახავად საჭიროა წვევის ძალა $30 \div 40$ მმ წყ. სვ.-ზე მეტი, ბუნებრივი წვევის ნაცვლად უნდა მოეწყოს ხელოვნური (მექანიკური) წვევა კვამლსაწოვის საშუალებით.

ხელოვნური წვევის შემთხვევაში მოწყობილობა ძირითადად შედგება კვამლსაწოვისაგან, ელექტროძრავისა და შედარებით მოკლე რკინის საკვამლე მილისაგან.

ხელოვნური წვევა შეიძლება იყოს პირდაპირი და არაპირდაპირი. ამ შემთხვევაში კვამლსაწოვის საათური მწარმოებლობა ისაზღვრება ფორმულით

$$V_{33.ა} = A B \cdot V_{33.ა}^6 \cdot \frac{273 + t_{33.ა}^{საშ.}}{273} \text{ მ}^3/\text{სთ}, \quad (3-73)$$

სადაც A არის კვამლსაწოვის მწარმოებლობის მარაგის კოეფიციენტი, რომელიც აღება ზღვრებში (1,05--1,15);

B კგ/სთ—სათბობის საათური ხარჯი;

$V_{33.ა}^6$ ნ მ³/კგ—ერთ კგ სათბობზე მოსული კვამლის აირების მოცულობა კვამლსაწოვის წინ ნორმალური პირობებისათვის;

$t_{33.ა}^{საშ.}$ °C—კვამლის აირის საშუალო ტემპერატურა კვამლსაწოვაში.

კვამლსაწოვის საათური მწარმოებლობის მიხედვით შეიძლება გაანგარიშებულ იქნეს მისი ამძრავი ელექტროძრავის სიმძლავრე ფორმულით:

$$N_{33.ა} = A_{\text{ელექტრ}} \frac{V_{33.ა} \cdot \Sigma h_{33.ა}}{3600 \cdot 75 \cdot 1,36 \cdot \eta_{33.ა.წ.}} \text{ კვტ}, \quad (3-74)$$

სადაც $A_{\text{ელექტრ}}$ არის ელექტროძრავის სიმძლავრის მარაგის კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე ნორმებით იღება 1,1-ის ტოლი;

$\Sigma h_{33.ა}$ —საქებაზე დანადგარში კვამლის აირების ტრაქტის მიხედვით შეჯამებული წინაღობა მმ წყ. სვ.

$\eta_{33.ა.წ.}$ —კვამლსაწოვის მ. ქ. კოეფიციენტი, რომელიც იღება ზღვრებში 0,5—0,65. თანამედროვე კვამლსაწოვების მ. ქ. არ უნდა იყოს 0,6-ზე ნაკლები.

საკვამლე მილის კვამლის ამოსადინებელი შესართავის (მილის ზედა ვიწრო ყელის) კვების დიამეტრი განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით

$$D = \sqrt{\frac{4 V_{33.ა}}{3600 \cdot \pi \cdot W_{33.ა}}} \text{ მ}, \quad (3-75)$$

სადაც $W_{33.ა}$ მ/წმ არის კვამლის აირების სიჩქარე საკვამლე მილის შესართავიდან ამოდინებხას. კვამლის ამოდინების სიჩქარე მინიმალური დატვირთვისას ბუნებრივი წევის დროს მიიღება 2,5—3 მ/წმ, ხოლო ხელოვნურის დროს — 4—6 მ/წმ.

3-33. შპვბაპი ხელსაწოვაში

ქვაბაგრეგატში საკვები წყლის მიწოდებისათვის გამოიყენება შემდეგი ხელსაწოვა-ბი: ორთქლის დგუშოანი ტუმბოები, ცენტრიდანული ტუმბოები ელექტრული ან ორთქლის ამძრავით და ორთქლქველური ხელსაწოვები—ინექტორები.

მცირე ორთქლმწარმოებლობის საქვაზე დანადგარებში (საწარმო-ვათბობის და ნიშნულების) უმეტესად გამოიყენება პირდაპირი ქმედების დგუშოანი ტუმბოები ვარტიკონის ტიპის—ორთქლის ამძრავით.

ნაქ. 3—63-ზე ნაჩვენებია დგუშოანი ტუმბო, რომელსაც აქვს ორთქლის ამძრავი—ორთქლის მანქანის სახით.

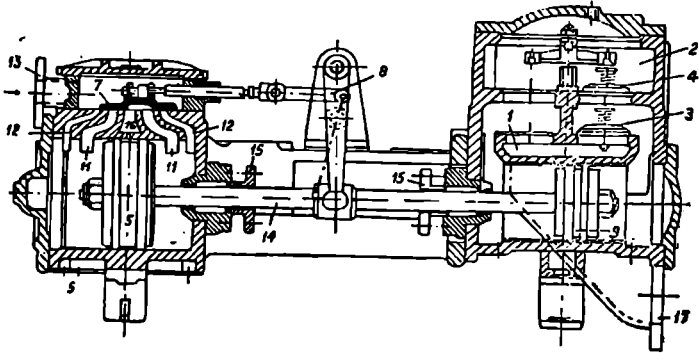
ასეთი ტიპის ტუმბოს უარყოფითი ის არის, რომ მისი ორთქლის მანქანა მუშაობს ორთქლის გაფართოების გამოყენების გარეშე და ხარჯავს საათში ერთ ცხენის ძალაზე 30—60 კვ-მდე ორთქლს.

პირდაპირი ქმედების დგუშოანი ორთქლის ტუმბოების მწარმოებლობა შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$V_{\text{ფ.ო.ტ.}} = \eta_{\text{ო.ა.}} \cdot z \cdot F \cdot S \quad n \quad 60 \text{ მ}^3/\text{სთ},$$

(3-76)

სადაც $\eta_{\text{ო.ა.}}$ არის ტუმბოს წყლის ცილინდრის შეესების კოეფიციენტი, რომელიც დაახლოებით ტოლია 0,9-ის;
 z —ცილინდრის კამერების მუშა მხარეთა რაოდენობა;
 F —დგუშის ფართობი მ²;
 S —დგუშის სვლა მ;
 n —დგუშის სვლათა რაოდენობა წუთში.



ნაქ. 3—63. დგუშინი ორთქლის ტუმბო ვარტოტონის ტიპის.

1-წყლის ცილინდრი, 2-ხარკვლების კოლოდი, 3-მემწოვი სარქველები, 4-დამვირბნი სარქველები, 5-ორთქლის მანქანის ცილინდრი, 6-დგუშის, 7-მკვდარა, 8-წვეა, 9-წყლის ცილინდრის დგუშე, 10-მკვდარა-რას კოქი, 11-მემწოვი ორთქლის გასაფინგელი არხები, 12-გადამამუშაველი ორთქლის შესაშვები არხები ორთქლის მანქანის ცილინდრში, 13-ორთქლსადენი, 14-ორთქლის მანქანის დგუშის კოქი, 15-ჩოხალი, 16-ნაწვევარი ორთქლის შესაფინგელი ღრუ, 17-საკვები წყლის შესაწოვი მილელი.

ტუმბოს ამძრავი ელექტროძრავის სიმძლავრე შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$N_{\text{ტ}} = \frac{D \cdot \Sigma H}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_{\text{ტ.}}} = \frac{\gamma_{\text{წყ.}} \cdot V_{\text{ფ.ო.ტ.}} \cdot \Sigma H}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_{\text{ტ.}}} \quad \text{კვტ}, \quad (3-77)$$

სადაც D კგ/სთ არის საკვები წყლის საათური ხარჯი, რომელიც ინახლავრება ორთქლის ქვაბის ორთქლმწარმოებლობით, გაქრევაზე და მომსახურებაზე წყლის ხარჯის მხედველობაში მიღებით;

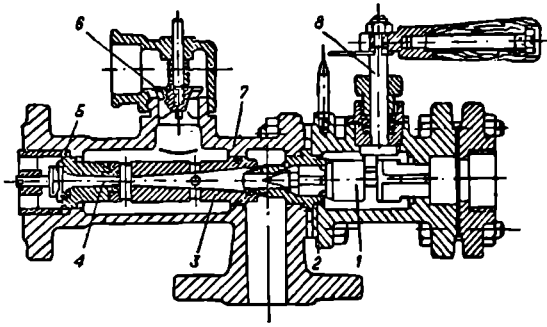
ΣH —სრული დაწნევა, რომელიც უნდა შექმნას ტუმბომ,
 $\eta_{\text{ტ.}}$ —ტუმბოს მ. კ. კოეფიციენტი, რომელიც იღება ზღვრებში 0,6—0,7.

დგუშინი ორთქლის ტუმბოებს ცოცხი წყლის შემთხვევაში შეუძლიათ იმუშაონ 7 მ-მდე სიმალიდან წყლის შეწოვით. ასეთი ტიპის ტუმბოების ღირსშესანიშნავ მხარედ უნდა ჩაითვალოს ნებისმიერ მომენტში მათი მზადყოფნა გაშვებისათვის და მისი მწარმოებლობის რეგულირებისა და ექსპლოატაციის სიმარტივე.

ტენტირიდანული ტუმბოების ამძრავებად იყენებენ როგორც ელექტროძრავებს (ელექტროტუმბოები), ისე ორთქლის მცირე სიმძლავრის ტურბინებს (ტურბოტუმბოები) ტუმბოების მფარება ძრავებთან ხდება ქუროებით.

ტურბოტუმბოები მუშაობენ დიდი ბრუნთა რიცხვებით, $n = 4500 - 6000$ ბრ/წ, ხოლო ელექტროტუმბოები კი შედარებით დაბალი ბრუნთა რიცხვებით, $n = 1500 - 3000$ ბრ/წ.

ცენტრიდანული ტუმბოები გამოიყენება საშუალო და დიდი ორთქლმწარმოებლობის საქვებზე დანადგარებში. მათი მწარმოებლობის რეგულირება უმეტესად ხდება ბრუნთა ორიენტის შეცვლით. ორთქლქაველური მკვებავი ხელსაწყოები — ინექტორები გამოირჩევიან მოწყობილობისა და ვესბლოატაციის სიზარტით, უკავიათ ძლიერ მცირე ადგილი, ამისათვის ძირითადად მათ იყენებენ ორთქლმავლების, ლოკომობილებისა და მცირე ორთქლმწარმოებლობის ორთქლის ქვებებისათვის.



ნაკ. 3—64. ინექტორი.

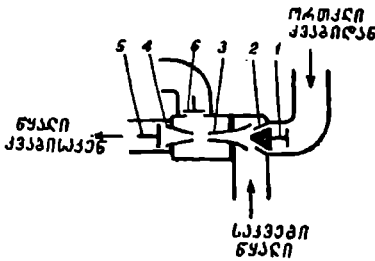
ნაკ. 3—64-ზე ნაჩვენებია გადასაადგილებელი ლოკომობორი № 38-ის ინექტორი.

ინექტორი მუშაობს, როდესაც ქვებში ორთქლის წნევა 5-დან 15 ატმ-მდეა.

შიგა დეტალების დაყენების თავიდან ასაცილებლად ინექტორს აშენდებენ ბრინჯაოსაგან. ინექტორის მუშაობის სქემა ნაჩვენებია ნაკ. 3—65-ზე. ინექტორის მუშაობის პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში. ინექტორის საერთო კორპუსში ერთ ლერძზე მოთავსებულია

1-ორთქლის სარქველი, 2-ორთქლის კონუსი, 3-მწვევი კონუსი, 4-დაშორბნი კონუსი, 5-ნაქცეული სარქველი, 6-ჩაშოსაშვები სარქველი, 7-ორაქსი, 8-ორაქსის სარქველის რეგულატორი.

სამი კონუსი 2, 3 და 4. ნემსოვანი სარქველის 1 ვალებისას ორთქლი დიდი სიჩქარით გამოდინდება ორთქლის კონუსის 2 ვიწრო ყელიდან, წარიტაცებს კონუსის ირგვლივ გაუხშობულ კამერაში მიწოდებულ წყალს და მიღებული კონდენსატისა და წყლის ნარევი განიდევნება წყლის კონუსში 3. ნარევი ებულობს დიდ სიჩქარეს და შედინდება დამჭირბ კონუსში 4. ვინაიდან დამჭირბნი კონუსი თანდათან ფართოვდება, წყალი ჰკარავს სიჩქარეს, ხოლო წნევა კი იზრდება სიდიდემდე, რომელიც საკმარისია ქვებში იმ წნევის დასაძლევად, რომელიც მოქმედებს მკვებავ-შეტყუალ



ნაკ. 3—65. ინექტორის მუშაობის სქემა.

1-მწვევი სარქველი, 2-ორთქლის კონუსი, 3-წყლის კონუსი, 4-დაშორბნი კონუსი, 5-ნაქცეული კონუსი, 6-ჩაშოსაშვები სარქველი.

სარქველზე. ინექტორის გაშვების მომენტში შექმნილი წყლის ნაეტი ჩაშოსაშვები სარქველის 6 საშუალებით გარეთ განიდევნება.

ინექტორის მიერ შეწოვილი საყვები წყლის ტემპერატურა არ უნდა აღემატებოდეს 40 °C, რადგან შესაწოვ მილში გაუხშობებამ შეიძლება გამოაწვიოს წყლის დუღილის პროცესის დაწყება და ინექტორი შეწყვეტს მუშაობას. თვით ინექტორში საყვები წყლის შეთბობა ხდება 60—90 °C-მდე. ორთქლის ხარჯი ინექტორებში ძლიერ დიდია და აღწევს 8—9% მიწოდებული საყვები წყლის წონითი რაოდენობიდან. ინექტორებს შე-

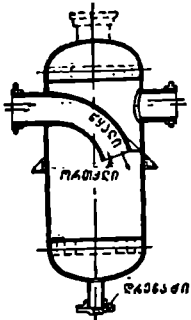
უძლიათ 40 °C-მდე გამთბარი წყლის შემთხვევაში იმუშაონ 2—2,5 მ-მდე სიმაღლიდან წყლის შეწოვით.

წყლის სიჩქარე დამკვირბნ მილგაყვანილობაში არ უნდა აღემატებოდეს 1,5—2,0 მ.წმ, ხოლო შემწოვ მილგაყვანილობაში 0,5—1,0 მ/წმ-ს.

თუ ორთქლის ქვაბში წნევა 0,7 ატკ-ზე მეტია, მაშინ საწარმოო-გათბობის ქვაბისათვის უნდა დაიდგას არა ნაკლები ორი ტუმბოსი, აქედან ერთი ელექტრული ამძრავით და მეორე ორთქლის ამძრავით. თითოეული ტუმბოს მწარმოებლობა უნდა იყოს არანაკლებ 120% ქვაბის ორთქლმწარმოებლობისა.

3—34. ორთქლსადენები. კარკასი. შიშვამირვა. ძვაბის არმატურა და გარნიტურა

ორთქლსადენები განკუთვნილი არიან ქვაბიდან მოხმარების ადგილზე ორთქლის მიწოდებისათვის. ორთქლსადენების ქსელის მოწყობა ხდება სხვადასხვა სქემით საქვაბე დანადგარის სიმაღლისა და დანიშნულების მიხედვით. მაღალი წნევის ორთქლისათვის მიღები მზადდება სპეციალური ფოლადისაგან. მაღალი ტემპერატურების ზეგავლენით ადგილი აქვს მიღების სიგრძის ვალიდობას, ამიტომ ორთქლსადენის ქსელში აყენებენ თერმული წაგრძელების მშთანთქმელ მოწყობილობებს ე. წ. კომპენსატორებს. კომპენსატორები არსებობენ Π-მაგვარი და ლირამაგვარი. მეფილი ორთქლსადენი ქსელი საკილია (ან დასაყრდენია) უძრავ და მოძრავ საყრდენებზე. ორთქლის მოძრაობის მხრისაკენ ორთქლსადენებს უკეთებენ მცირე დახრას წარმოქმნილი კონდენსატის საწრეტ მოწყობილობაში—წყალგამომყოფში ჩაღწევისათვის.



ნაქ. 3—66. წყალგამომყოფის სიგრძივი კრილი.

წყალგამომყოფის სიგრძივი კრილი ნაჩვენებია ნაქ. 3—66-ზე.

გარემოში სითბური დანაკარგების შესამცირებლად ორთქლსადენებს უკეთდება იზოლაცია სითბოს ცუდი გამტარი ნივთიერებებისაგან. სითბური იზოლაციის ეფექტურობა ისაზღვრება მისი მ. ქ. კოეფიციენტი

$$\eta_{\text{იზ.}} = \frac{q_{\text{იზ. გარ.}} - q_{\text{იზ.}}}{q_{\text{იზ. გარ.}}} = 1 - \frac{q_{\text{იზ.}}}{q_{\text{იზ. გარ.}}}$$

სადაც $q_{\text{იზ. გარ.}}$ კკალ/მ სთ არის სითბოს დანაკარგი ერთი საათის განმავლობაში ერთი გრძივი მეტრი ორთქლსადენის მიერ იზოლაციის გარეშე;

$q_{\text{იზ.}}$ კკალ/მ სთ—სითბოს დანაკარგი იზოლირებული ორთქლსადენის შემთხვევაში.

ორთქლსადენებში მოძრაობისას ორთქლის წნევის დანაკარგების სიდიდე გაიანგარიშება ფორმულით:

$$\Delta p = 0,0001 \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} \cdot \gamma_{\text{ო.}} \quad (3-78)$$

სადაც w მ/წმ არის ორთქლის სიჩქარე ორთქლსადენში;

- λ — ხახუნის კოეფიციენტი;
- l — ორთქლსადენის სიგრძე მეტრობით;
- d — ორთქლსადენის დამეტრი მეტრობით;
- $\gamma_{\text{ო.}}$ კგ/მ³ — ორთქლის ხედილი წონა.

ორთქლსადენის მილების შიგა დიამეტრი გაიანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$d_{\text{ი.}} = \sqrt{\frac{4 \cdot D}{3600 \cdot \pi \cdot w_{\text{თ.}} \cdot \gamma_{\text{თ.}}}} \text{ მ,} \quad (3-79)$$

სადაც D კგ/სთ არის ერთ საათში ორთქლსადენის მილის კვეთში გადინებული ორთქლის წონითი რაოდენობა.

კარკასი ეწოდება ლითონის სიერკით კონსტრუქციას, რომელზედაც დაყრდნობილია ქვაბაგრეგატის ცალკეული ელემენტები. კარკასის ელემენტების ნაწილი იმყოფება შემოკირულობის გარეთ და მილთა სისტემას აქვს თერმული გაფართოების საშუალება.

ნაკ. 3-67-ზე ნაჩვენებია ბარნაულის ქარხნის ორთქლის ქვაბის გარე ხედი, რომელზედაც ნათლად ჩანს კარკასის ძირითადი მზიდი ელემენტები და სამონტაჟო ბლოკებისა და კვანძების ნომრების ციფრები.

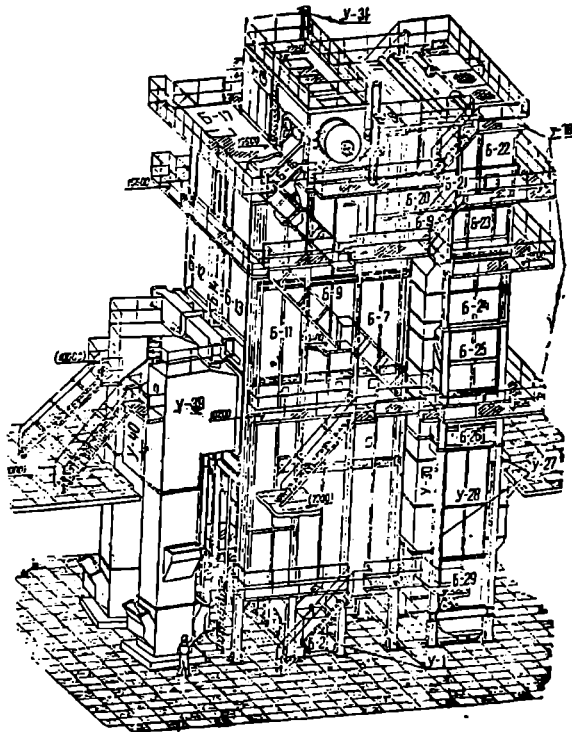
ასეთი ორთქლის ქვაბის ორთქლმწარმოებლობაა 75 ტ/სთ, 39 ატ წნევისა და 450 °C გადახურების ტემპერატურის დროს.

კარკასი მზადდება ორტესებრი, შევლერისა და კუთხური რკინისაგან. ამ ბოლო დროს კარკასი მზადდება შედუღებული კონსტრუქციის სახით.

შემოკირვა ეწოდება ქვაბაგრეგატის საცეცხლესა და კვამლსავალბების შიგა და გარე კედლების აგურწყობებს. ქვაბის შემოკირვის აგურწყობა ისე უნდა იყოს შესრულებული, რომ კვამლსავალბესა და საცეცხლეში გაუხშოებისას თავიდან იქნეს აცილებული ჰაერის მიწოვა.

საქვებზე დანადგარის ექსპლოატაციის პირობების მიხედვით შემოკირვის გარე ზედაპირის ტემპერატურა არ უნდა აღემატებოდეს 40-50 °C, ხოლო შემოკირვის ზოგიერთ ადგილას დასაშვებია ტემპერატურის გადიდება 70 °C ტემპერატურამდე.

მაღალი ტემპერატურის ადგილებში აგურის შემოკირვის შიგა ამოგება სრულდება ცეცხლგამძლე შამოტის აგურით.

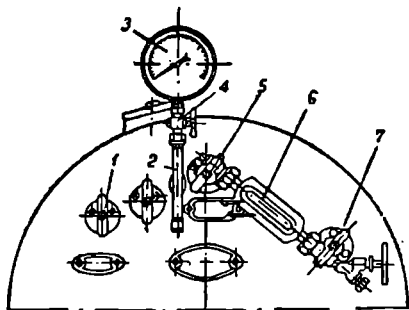


ნაკ. 3-67. БК3 ორთქლის ქვაბის გარე ხედი.

არმატურა ეწოდება მოწყობილობას, რომელიც იმყოფება მუშა წნევის ქვეშ და საჭიროა ქვაბაგრეგატის მუშაობის წარმართვისათვის, არმატურის ნაწილი საჭიროა ქვაბაგრეგატის უსაფრთხო მუშაობისათვის, როგორცაა მანომეტრი, წყალმაჩვენებელი ხელსაწყოები, დამცველი სარქველები და შექცეული სარქველი, ხოლო არმატურის და-

ნარჩენი ნაწილი წარმოადგენს გამომრთველს და მარგულირებელ ხელსაწყოებს.

ნაკ. 3—68 ზე ნაჩვენებია გადასადგილებელი ლოკომობის II—38 ორთქლის ქვაბის შუბლის ფურცელზე არმატურის ნაწილის გადაღლება, ხოლო ნაკ. 3—69-ზე მოცემულია დამცველი სარქველის გარკივი კრილი.



ნაკ. 3—68. არმატურის გადაღლება ლოკომობის ქვაბის შუბლისა ფურცელზე.

1-წყალსასიხე ორანი, 2-მანომეტრის სეტი, 3-მანომეტრი, 4-სამსილანი ორანი, 5-წყალმაჩვენებლის ზედა ორანი, 6-წყალმაჩვენებელი.

გარნიტურა ეწოდება მოწყობილობას, რომელიც უზრუნველყოფილია ქვაბაგრეგატის მოხერხებული მომსახურება და მეთვალყურეობა.

ორთქლის ქვაბის გარნიტურას მიეკუთვნება: ჩამტვრითავე და საჩხრეკი კარები, წიღისა და ნაცრის ხვირიბების საკეტი, შემოკირვის საძრომების კარები, კვამლსაფარები, სამხერები, საძრომები, შემოკირვის აპარატები და სხვ.

თ ა ვ ი 3—10

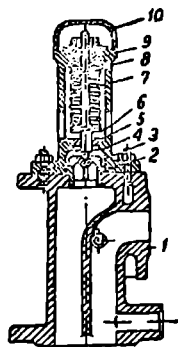
ცნება ქვაბაგრეგატის სითბური გაანგარიშების მეთოდისა და

ქვაბაგრეგატის სითბური გაანგარიშება შეიძლება იყოს კონსტრუქციული (საპროექტო) და სამოწმებელი. ამ ორი სახის სითბური გაანგარიშების მეთოდებსა ძირითადად საერთოა, განსხვავება არის გაანგარიშების მიზანსა და საძიებელ სიდიდეებში.

ქვაბაგრეგატის კონსტრუქციული სითბური გაანგარიშების დროს აღებული ორთქლმწარმოებლობისა და ეკონომიურობისათვის უნდა განისაზღვროს საცეცხლეს ზომები, აგრეგატის ცალკეული ელემენტების ხურების ზედაპირები და სხვა სიდიდეები.

სამოწმებელი სითბური გაანგარიშების დროს ცნობილია ქვაბაგრეგატის კონსტრუქცია, მისი ელემენტების ხურების ზედაპირები და სხვა სიდიდეები; საჭიროა განისაზღვროს საჭედად დანადგარის ეკონომიურობა ან, პირიქით, მიღებული ეკონომიურობით უნდა განისაზღვროს ქვაბაგრეგატის ორთქლმწარმოებლობა.

ქვაბაგრეგატის დეტალური სითბური გაანგარიშება საკმაოდ რთულია და მოიცავს



ნაკ. 3—69. დამცველი სარქველი.

1-სეტი, 2-სარქვის ბუდე, 3-სარქველი, 4-სარქველის კოქსი, 5-მანომეტრი, 6-სამსილანი ორანი, 7-სამსილანი ორანი, 8-სამსილანი ორანი, 9-სამსილანი ორანი, 10-სამსილანი ორანი.

დიდალ ფორმულებს, გაანგარიშებებს და ნომოგრამებს. ქვაბაგრეგატების დეტალური სითბური გაანგარიშება მოცემულია სრულიად საავშირო თბორტექნიკური და ენერჯალური ქვაბტურბინის ინსტიტუტების (ВТИ-ს და ЦКТИ-ის) გაერთიანებულ ნორმატიულ მეთოდში, რაზმელიც 1957 წელს გამოიცა შემდეგი სახელწოდებით „Теплоион расчет котельных агрегатов (нормативный метод)“. წინამდებარე სახელმძღვანელოში, სასწავლო პროგრამის შესაბამისად, მოყვანილია ქვაბაგრეგატის გამართვებულ კონსტრუქციული სითბური გაანგარიშება.

სითბური გაანგარიშების მეთოდის მიხედვით საერთოდ მიღებულია გაანგარიშების შემდეგი თანამიმდევრობა:

1. მოცემულობის მიხედვით საწყისი მონაცემების დაზუსტება;
2. ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის სიდიდების შერჩევა აირსავადების მიხედვით;
3. წყის აიროვანი ნაწარმის მოცულობითი შედგენილობისა და სითბოშემცველობის განსაზღვრა;
4. ქვაბაგრეგატის სითბური ბალანსის შედგენა და მ. ქ. კ. გაანგარიშება. სათბობის საათური ხარჯის განსაზღვრა;
5. საცეცხლეს ზომების გაანგარიშება;
6. წყალმილა ქვაბების შემთხვევაში სადღებელი მიღების პირველი კონის კონვექციური ხურების ზედაპირის გაანგარიშება.
7. ორთქლგადამზურებლის ხურების ზედაპირის გაანგარიშება;
8. სადღებელი მიღების შემდგომი (მომდევნო) კონების კონვექციური ხურების ზედაპირების გაანგარიშება;
9. წყლის ეკონომიზერის ხურების ზედაპირის გაანგარიშება;
10. ჰაერშემთბობის ხურების ზედაპირის გაანგარიშება;
11. მთლიანად აგრეგატის სითბური გაანგარიშების ძირითადი მონაცემების კრებითი ცხრილის შედგენა.

შესაძლოა ქვაბაგრეგატის სითბური გაანგარიშების სხვა სახის თანამიმდევრობა. ქვაბაგრეგატის კონსტრუქციული სითბური გაანგარიშებისას მოცემულობა უნდა შეიცავდეს შემდეგ საწყის მონაცემებს:

1. საქვაბე აგრეგატის ორთქლშარბოვლობა, D კგ/სთ;
2. ორთქლის წნევა ქვაბში, p ატკ;
3. გადახურებელი ორთქლის ტემპერატურა, $t_{\text{აჰ}}^{\circ}\text{C}$;
4. საცეცხელი წყლის ტემპერატურა, $t_{\text{სა.წყ.}}^{\circ}\text{C}$;
5. ჰაერის ტემპერატურა, $t_{\text{ა}}^{\circ}\text{C}$;
6. სათბობის სახე და მისი მუხისათებლები.

ბოლო ხურების ზედაპირების ერთსაფეხურებთან შეთანწყობის შემთხვევაში, ქვაბაგრეგატის სითბური გაანგარიშების დროს წინასწარ შეირჩევენ წარმავალი აირების ტემპერატურას ($120-210^{\circ}\text{C}$) და საცეცხლში მისაწოდებელი ჰაერის ტემპერატურას ($250-350^{\circ}\text{C}$). წარმავალი აირებისა და ცხელი ჰაერის საორიენტაციო ტემპერატურები მოყვანილია ქვაბაგრეგატების სითბური გაანგარიშების ნორმატიული მეთოდის მონაცემებში.

წარმავალი აირებისათვის მიღებული ტემპერატურის მიხედვით განისაზღვრება სითბოს დანაკარგი წარმავალი აირებით. უკანასკნელთან ერთად სითბოს სხვა დანაკარგთა მხედველობაში მიღებით განისაზღვრება ქვაბაგრეგატის მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობა.

ქვაბაგრეგატის მ. ქ. კ-ის მიხედვით გაანგარიშება სათბობის საათური ხარჯი. ამის შემდეგ გაანგარიშება აირების ტემპერატურა საცეცხლედან გამოსვლისას

და შემდეგ თანამიმდევრული მიახლოების მეთოდით—მიმდევნო ხურების ზედაპირები წყლის ეკონომიზერამდე.

წყლის ეკონომიზერის მიერ სითბოს ამთვისებლობა აგრეთვე გაიანგარიშება თანამიმდევრული მიახლოების მეთოდით. ამ შემთხვევაში ცნობილია აირის ტემპერატურა ეკონომიზერში შესვლისას წინა ხურების ზედაპირის გაანგარიშებიდან და წყლის ტემპერატურა ეკონომიზერში მიწოდებისას.

გაანგარიშებით განისაზღვრება აირისა და წყლის ტემპერატურა ეკონომიზერის შემდეგ. ჰაერშემთბობის სითბური გაანგარიშებისას ეკონომიზერის გაანგარიშებიდან ცნობილია აირების ტემპერატურა ჰაერშენთბობის წინ და ცხელი ჰაერის (ზოგად შემთხვევაში ცივი ჰაერის) ტემპერატურა. თანამიმდევრული მიახლოების გზით ისაზღვრება წარმაველი აირებისა და ცხელი ჰაერის ტემპერატურები.

თუ გაანგარიშების შედეგად მიღებული წარმაველი აირების ტემპერატურა წინასწარ დაშვებული ტემპერატურისაგან განსხვავდება არა უმეტესი $\pm 10^{\circ}\text{C}$ -ით, და ცხელი ჰაერის ტემპერატურა არაუმეტესი $\pm 40^{\circ}\text{C}$ -ით, მაშინ ქვებაგრეგატის სითბოს გადამცემი ელემენტების გაანგარიშება ჩაითვლება დამთავრებულად და მიღებული ტემპერატურები საბოლოოდ.

სითბური გაანგარიშების დამთავრებისათვის წარმაველი აირების გაანგარიშებული ტემპერატურის მიხედვით ზუსტდება სითბოს დანაკარგი წარმაველი კვამლის აირებით, აგრეგატის მ. კ. კ. და სათბობის საათური ხარჯი. შემდეგ ცხელი ჰაერისა და საცეცხლედან გამოსული აირების გაანგარიშებით მიღებულ ტემპერატურათა საშუალებით ზუსტდება რადიაციული ხურების ზედაპირების მიერ სითბოს ამთვისებლობა სათბობის მუშა უდაბლესი დაწვის სითბოსთან შეფარდებით.

სითბური ბალანსის ყველა სიდიდის დაზუსტების შემდეგ ისაზღვრება აგრეგატის ბალანსის შედგენის შედეგად მიღებული შეუსაბამობა. ქვებაგრეგატის სითბური გაანგარიშების სწორად ჩატარებისას აგრეგატის სითბური ბალანსის შეუსაბამობის სიდიდე უნდა უდრიდეს ან უახლოვდებოდეს ნულს, ან ყოველ შემთხვევაში მისი სიდიდე არ უნდა აღემატებოდეს სათბობის დაწვის სითბოს $0,5\%$ -ს.

თუ წარმაველი აირებისათვის მიღებული და გაანგარიშების შედეგად განსაზღვრულ ტემპერატურათა შორის სხვაობა მეტია $\pm 10^{\circ}\text{C}$ -ზე და ცხელი ჰაერის მიღებულ და გაანგარიშებულ ტემპერატურათა შორის სხვაობა აღემატება $\pm 40^{\circ}\text{C}$ -ს, ქვებაგრეგატის სითბური გაანგარიშება უნდა განმეორდეს. განმეორებითი სითბური გაანგარიშების ჩატარებისას წარმაველი აირებისა და ცხელი ჰაერის ტემპერატურების სიდიდეებს მიიღებენ პირველი გაანგარიშების შედეგად მიღებულ ტემპერატურათა ტოლ ან უახლოეს სიდიდეებს, იმაზე დამოკიდებულებით თუ რა სხვაობაა მიღებული პირველი გაანგარიშების შედეგად ამ სიდიდეთა შორის.

3—35. ძვებაგრეგატის ხაზრამებო (კონსტრუქციული) სითბური გაანგარიშების თანამიმდევრება

მოსამზადებელი გაანგარიშებანი

საწყისი მონაცემების დაზუსტების შემდეგ, სათბობის სახისა და მარკის მიხედვით, ცხრილი (3—3)-დან ესაზღვრავთ სათბობის საანგარიშო მახასიათებლებს მყარი და თხევადი სათბობის მუშა უმაღლესი დაწვის სითბოს $Q_{\text{შვალ}}$. გაანგარიშება ხდება კალორიმეტრული ყუმბართი განსაზღვრული დაწვის სითბოს $Q_{\text{ყუბა}}$ საშუალებით, რისთვისაც გამოიყენება ფორმულა (3—5).

$$Q_{\text{შაბ}}^{\text{შაბ}} = Q_{\text{შაბ}}^{\text{შაბ}} - 22,5 \cdot S^{\text{შაბ}} - 0,0015 Q_{\text{შაბ}}^{\text{შაბ}} \text{ კკალ/კგ.}$$

სათბობის მუშა უდაბლესი დაწვის სითბოს $Q_{\text{შაბ}}^{\text{შაბ}}$ განსაზღვრისათვის მუშა უმაღლეს დაწვის სითბოს აკლებენ სათბობის ტენისა და წყალბადის წვით მიღებული წყლის ორ-თქალაქცევის სითბოს, რომელიც პირობით ტოლია 600 კკალ/კგ.

მაშასადამე,

$$Q_{\text{შაბ}}^{\text{შაბ}} = Q_{\text{შაბ}}^{\text{შაბ}} - 6(9H^{\text{შაბ}} + W^{\text{შაბ}}) \text{ კკალ/კგ.} \quad (3-80)$$

მყარი და თხევადი სათბობის მუშა უდაბლესი სითბოს განსაზღვრა აგრეთვე შესაძ-
ლოა მენდელეევის ემპირიული ფორმულით (3-8)

$$Q_{\text{შაბ}}^{\text{შაბ}} = 81 \cdot C^{\text{შაბ}} + 246 H^{\text{შაბ}} - 26(O^{\text{შაბ}} - S^{\text{შაბ}}) - 6W^{\text{შაბ}} \text{ კკალ/კგ.}$$

აირადი სათბობის მუშა უდაბლესი სითბოს განსაზღვრა ხდება ფორმულით (3-9)

$$Q_{\text{შაბ}}^{\text{შაბ}} = 30,18 CO + 25,79H_2 + 85,55CH_4 + 141,07 C_2H_6 + 152,26C_2H_4 + 205,41 \cdot C_3H_8 + \dots \div (\text{კკალ/ნ მ}^{\text{შაბ}}).$$

1 კგ მუშა სათბობის დაწვისათვის საჭირო ჰაერის რაოდენობა მოცულობით ერ-
თეულებში განისაზღვრება ფორმულით (3-13)

$$V^{\text{შაბ}} = 0,0889(C^{\text{შაბ}} + 0,375S^{\text{შაბ}}) + 0,265H^{\text{შაბ}} - 0,03330 \text{ ნ მ}^{\text{შაბ}}/\text{კგ.}$$

წვის მეთოდისა და საცეცხლეს ტიპის შერჩევა ხდება სათბობის სახისა, მარკის და ქვაბაგრეგატის ორთქლმწარმოებლობის მიხედვით. წვის მიღებული მეთოდისა და სათბო-
ბის სახისა და მარკის მიხედვით სათანადო ცხრილებიდან ვიღებთ ჰაერის სიჭარბის კო-
ეფიციენტების α -ს მნიშვნელობებს აირსაველების მიხედვით. ჰაერის სიჭარბის კოეფიცი-
ენტების მნიშვნელობათა აირსაველების მიხედვით შერჩევის შემდეგ ვსაზღვრავთ 1 კგ
სათბობის დაწვისათვის საჭირო ჰაერის ნამდვილ ხარჯს $V_{\text{ჰ}} = \alpha V_{\text{შაბ}}^{\text{შაბ}}$. $V^{\text{შაბ}}$ ნ მ³/კგ. სათბო-
ბის წვის აირადი ნაწარმის შედგენილობის მანიმალური მოცულობანი სრული წვია შემ-
თხვევაში, როდესაც ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტი $\alpha = 1$, გაიანგარიშება ფორმულით:
ოპტიმალური აირის აზოტის თეორიული მოცულობა (3-25) ფორმულის მიხედვით:

$$V_{\text{N}_2}^{\text{შაბ}} = 0,79 V^{\text{შაბ}} \text{ ნ მ}^{\text{შაბ}}/\text{კგ.}$$

სამატომიანი აირების მოცულობა (3-21) ფორმულის მიხედვით:

$$V_{\text{RO}_2}^{\text{შაბ}} = 0,01866 (C^{\text{შაბ}} + 0,375 S^{\text{შაბ}}) \text{ ნ მ}^{\text{შაბ}}/\text{კგ.}$$

წყლის ორთქლის თეორიული მოცულობა (3-24) ფორმულის მიხედვით:

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{შაბ}} = 0,1116 \cdot H^{\text{შაბ}} + 0,0124 W^{\text{შაბ}} + 0,0161 V^{\text{შაბ}} \text{ ნ მ}^{\text{შაბ}}/\text{კგ}$$

ფრქვევანზე ან ბერვანზე დახარჯული ორთქლის რაოდენობის $W_{\text{შაბ}}^{\text{შაბ}}$ კგ/კგ მიედევლ-
ბაში მიღებისას სიდიდე $V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{შაბ}}$ -ში შეტანილი უნდა იქნეს წვერი 1,24 $W_{\text{შაბ}}^{\text{შაბ}}$.

ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტი თუ ერთზე მეტია, ე. ი. თუ $\alpha > 1$ -ზე, მაშინ გაან-
გარიშებებს ვაწარმოებთ შემდეგი ფორმულით:

წყლის ორთქლის მოცულობა (3-26) ფორმულის მიხედვით:

$$V_{\text{შაბ}}^{\text{შაბ}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{შაბ}} + 0,0161 (\alpha_{\text{შაბ}} - 1) V^{\text{შაბ}} \text{ ნ მ}^{\text{შაბ}}/\text{კგ.}$$

კვამლის აირების მოცულობა (3-27) ფორმულის მიხედვით

$$V_{\text{ა}} = V_{\text{RO}_2}^{\text{შაბ}} + V_{\text{N}_2}^{\text{შაბ}} + V_{\text{შაბ}}^{\text{შაბ}} + (\alpha_{\text{შაბ}} - 1) V^{\text{შაბ}} \text{ ნ მ}^{\text{შაბ}}/\text{კგ.}$$

კვამლის აირების წონა, რომელიც მიიღება ერთი კილოგრამი სათბობის დაწვის
შედეგად გაიანგარიშება ფორმულით:

$$G_{\text{ა}} = 1 - \frac{A^{\text{შაბ}}}{100} + 1,306 \cdot \alpha V^{\text{შაბ}} \text{ კგ/კგ} \quad (3-81)$$

ორთქლით ბერგის ან ორთქლით მასუთის გაფრქვევის შემთხვევაში G_2 -ს გაანგარიშების დროს მხედველობაში მიღებული უნდა იქნეს ორთქლის ხარჯი G_3 კგ/კგ.

1 კგ ან 1 ნმ³ სათბობის დაწვის შედეგად მიღებული კვამლის აირების ენტალპია (სითბოშემცველობა) განისაზღვრება ფორმულით:

$$I_2 = I_2^0 + (z - 1) I_3^0 \text{ კკალ/კგ ან კკალ/ნ მ}^3. \quad (3-82)$$

აირების სითბოშემცველობა, როდესაც ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტი $\alpha=1$ და აირების ტემპერატურა არის t °C გაიანგარიშება ტოლობით:

$$I_2^0 = V_{RO_2} (c)CO_2 + V_{N_2} (c)N_2 + V_{H_2O} (c)H_2O \text{ კკალ/კგ ან კკალ/ნ მ}^3. \quad (3-83)$$

წყლისათვის ჰაერის თეორიულად საჭირო რაოდენობის სითბოშემცველობა, როდესაც ჰაერის ტემპერატურაა t °C გაიანგარიშება ტოლობით:

$$I_3^0 = V^0 (c) t \text{ კკალ/კგ ან კკალ/ნ მ}^3. \quad (3-84)$$

1 ნ მ³ ტენიანი ჰაერის $(c) t$, ნახშირორჟანგის $(c) CO_2$, აზოტის $(c) N_2$ და წყლის ორთქლის $(c) H_2O$ სითბოშემცველობა შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს ცხრილი 3-7-ის მიხედვით

ც ხ რ ი ლ ი 37

t	$(c)CO_2$	$(c)N_2$	$(c)O_2$	$(c)H_2O$	$(c) t$
°C	კკალ/ნ მ ³	კკალ/ნ მ ³	კკალ/ნ მ ³	კკალ/ნ მ ³	კკალ/ნ მ ³
100	40,5	31,0	31,5	36,0	31,6
200	85,4	62,1	63,8	72,7	63,6
300	133,5	93,6	97,2	110,5	96,2
400	184,4	123,8	131,6	149,6	129,4
500	238	158,6	167,0	189,8	163,4
600	292	192,0	203	231	198,2
700	349	226	240	274	234
800	407	261	277	319	270
900	466	297	315	364	306
1000	526	333	353	412	343
1100	587	369	391	460	381
1200	649	405	430	509	419
1300	711	442	469	560	457
1400	774	480	508	611	496
1500	837	517	548	664	535
1600	900	555	588	717	574
1700	964	593	628	771	613
1800	1028	631	668	826	652
1900	1092	670	709	881	692
2000	1157	708	750	938	732
2100	1222	747	790	994	772
2200	1287	786	832	1051	812

ბ) ხაქვაზე დანადგარის მ. ქ. კ.-ის, ხათბობის საათური ხარჯისა და მისი ორთქლოვნების გამოთვლა

საქვაზე დანადგარის მ. ქ. კ.-ის გამოთვლისათვის საჭიროა დანადგარის სითბური ბალანსის შედგენა (3-4 თავში მითითებული მონაცემების მიხედვით). გამოვთვლით რა

საქვამდე დანადგარის მ. ქ. კ.-ის $\eta_{\text{საქ. დ.}}$ მნიშვნელობას, (3-53) ფორმულის მიხედვით გა-
ვინგარიშებთ სათბობის საათურ ხარჯს

$$B = \frac{D (i_{\text{გაფ.}} - i_{\text{საქ. წვ.}})}{Q_{\text{წვ.}}^3 \cdot \eta_{\text{საქ. დ.}}} \text{ კგ/სთ.}$$

სათბობის ორთქლოვნება შეიძლება განისაზღვროს (3-53) ფორმულის მი-
ხედვით

$$H = \frac{D}{B} = \frac{Q_{\text{წვ.}}^3 \cdot \eta_{\text{საქ. დ.}}}{i_{\text{გაფ.}} - i_{\text{საქ. წვ.}}} \cdot \frac{\text{კგ ორთქლი}}{\text{კგ სათბობი}}$$

გ) წვის თეორიული ტემპერატურისა და საცეცხლედან გამოშვალა
აირების ტემპერატურის განსაზღვრა

(3-57) ფორმულის საფუძველზე თანამიმდევრული მიახლოების მეორედით განისა-
ზღვრება საცეცხლეში თბოგადაცემის განგარიშებისათვის მნიშვნელოვანი სიდიდე —
წვის თეორიული ტემპერატურა $t_0^{\circ}\text{C}$ იმ შემთხვევისათვის, როდესაც არ წარ-
მოებს საცეცხლეში სითბოს გადაცემა გამოსხივებით რადიაციული ხერხების ზედაი-
რებზე, ე. ი. როდესაც მთელი სითბო იხარჯება მხოლოდ აირების გახურებაზე. სა-
ცეცხლეში ერთი კილოგრამი სათბობის დაწვის შედეგად გამოყოფილი სითბო დანაკარ-
გების მხედველობაში მიღებით (3-57) ფორმულის მიხედვით იქნება

$$Q_{\text{წვ.}}^3 \cdot \eta_{\text{საქ.}} + \alpha_{\text{საქ.}} \cdot V^0 \cdot c_3 \cdot t_3 = V_a \cdot c'_a \cdot t_0,$$

ე. ი. 1 კგ სათბობის დაწვის შედეგად მიღებული აირები ნაწარმის სითბოშემცველობა

$$I_a = Q_{\text{წვ.}}^3 \cdot \eta_{\text{საქ.}} + \alpha_{\text{საქ.}} \cdot V^0 \cdot c_3 \cdot t_3 \text{ კკალ/კგ.} \quad (3-85)$$

მაშასადამე,

$$I_a = V_a \cdot c'_a \cdot t_0;$$

აქედან წვის თეორიული ტემპერატურა

$$t_0 = \frac{I_a}{V_a \cdot c'_a} \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (3-86)$$

ან

$$t_0 = \frac{Q_{\text{წვ.}}^3 \cdot \eta_{\text{საქ.}} + \alpha_{\text{საქ.}} \cdot V^0 \cdot c_3 \cdot t_3}{[V^0 \cdot c_3 \cdot a. + (V^0 \cdot c_3)_{\text{წვ. ა.}}]} \text{ } ^{\circ}\text{C.} \quad (3-87)$$

სათბობის წვის თეორიული ტემპერატურა მით უფრო მეტია, რაც უფრო ნაკლებია
საცეცხლეში ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის $\alpha_{\text{საქ.}}$ სიდიდე. მეტია $Q_{\text{წვ.}}$, დიდია წვისა-
ფის მისაწოდებელი ჰაერის ტემპერატურა და ნაკლებია მინაწოვი ჰაერის რაო-
დენობა. სათბობის ტენიანობისა და ნაქრიაანობის გადიდება t_0 -ს ამცირებს.

საცეცხლეს ტემპერატურული დონე განისაზღვრება სათბობის წვის თეორიული ტემ-
პერატურითა და აირების ტემპერატურით საცეცხლედან გამოსვლისას $t_{\text{საქ.}}$, რომელსაც
შეესაბამება სითბოშემცველობა $I_{\text{საქ.}}$ კკალ/კგ. $t_{\text{საქ.}}$ მიახლოებითი სიდიდე შეიძლება გა-
ნისაზღვროს (3-60) ფორმულით. წვის თეორიული ტემპერატურის დროს (I_a) და სა-
ცეცხლედან გამოსვლისას ($I_{\text{საქ.}}$) აირების ენტალპიათა შორის სხვაობა განსაზღვრავს სი-
თბოს ამ რაოდენობას, რომელიც საცეცხლეში მოთავსებულ რადიაციულ ხერხების ზე-
დაპირებს გადაეცემა გამოსხივების საშუალებით

$$Q_{\text{გაფოს.}} = I_a - I_{\text{საქ.}} \text{ კკალ/კგ.} \quad (3-88)$$

განსაზღვრავენ რა Q ვაჩიხ. სიდიდეს, გადადიან რადიაკული ხურების ზედაპირის განსაზღვრაზე. რადიაკული ხურების ზედაპირის გასაანგარიშებლად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს პროფ. ა. მ. გურვიჩის ფორმულა (3-61).

დ) კვაზაგრეგატის კონვექციური ზედაპირების გაანგარიშება

კვაზაგრეგატის ხურების კონვექციური ზედაპირების სითბური გაანგარიშება წარმოებს მისი მდგენელი ელემენტების თანამიმდევრობითი გაანგარიშებით. გაანგარიშებისათვის გამოიყენება ორი ძირითადი განტოლება—ხურების ზედაპირის სითბური ბალანსის განტოლება და ზედაპირისათვის სითბოს გადაცემის განტოლება. საპროექტო-კონსტრუქციული სითბური გაანგარიშების დროს ამოცანას შეადგენს კონვექციური ხურების ზედაპირის სიდიდის განსაზღვრა.

ხურების ზედაპირების სითბური გაანგარიშების პროცესში კონვექციით სითბოს გადაცემისას დაკული უნდა იქნეს მუდმივი თანატოლობა ცხელი კვამლის აირების მიერ გადაცემულ სითბოსა და იმ სითბოს შორის, რომელიც მიღებული იქნება სითბოსამთვისებელ ნივთიერებათა (წყალი, ორთქლი და ჰაერი) მიერ.

კვამლის ცხელი აირების მიერ გადაცემული სითბოს ბალანსის განტოლება შეიძლება დაიწეროს შემდეგი სახით:

$$Q = (I'_a - I_a'' + \Delta \alpha \cdot I_{\text{შინაფ}}) \cdot \varphi \text{ კვალ/კვ.} \quad (3-89)$$

სადაც Q კვალ/კვ არის კვამლის ცხელი აირების მიერ გადაცემული სითბოს რაოდენობა; $I'_a = \Sigma (V \cdot c \cdot t')$ და $I_a'' = \Sigma (V \cdot c \cdot t)''$ — კვამლის აირების სითბოშემცველობანი (ენტალპიები) აღებული ხურების ზედაპირის წინ და შემდეგ, კვალ/კვ;

$\Delta \alpha \cdot I_{\text{შინაფ}} = \Delta \alpha \cdot (V^0 \cdot c_1 \cdot t_1)$ კვალ/კვ—არის საქვებ შენობიდან აირსაფალში შინაწოვი ჰაერის სითბოშემცველობა;

φ —სითბოს შენარჩუნების კოეფიციენტი ანუ სხვანაირად სითბოსამთვისებლობის კოეფიციენტი, რომელიც აღრიცხავს სითბოს დანაკარგს გარემოში

$$\varphi = 1 - \frac{q_6}{100}.$$

სითბოსამთვისებელ ნივთიერებათა მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა შეიძლება განისაზღვროს თბოგადაცემის განტოლებით:

$$Q = \frac{k \cdot \Delta t \cdot H}{B_{\text{საანგ}}} \text{ კვალ/კვ,} \quad (3-90)$$

სადაც k კვალ/მ² სთ. გრად არის თბოგადაცემის კოეფიციენტი;

H მ²—გასაანგარიშებელი ხურების ზედაპირი;

Δt °C—ტემპერატურათა საშუალო ლოგარითმული სხვაობა;

$B_{\text{საანგ}}$ კვ/სთ — სითბობის საანგარიშო ხარჯი $\left[B_{\text{საანგ}} = B \left(1 - \frac{q_6}{100} \right) \right]$

სითბოსამთვისებლობა გასათბობი ნივთიერების მიერ შეიძლება განისაზღვროს შეთბობისას მისი პარამეტრების ცვლილებით:

ა) ორთქლის გადამხურებლისათვის

$$Q = \frac{D}{B_{\text{საანგ}}} (t_{\text{გაფ.}} - t_6) \text{ კვალ/კვ;} \quad (3-91)$$

ბ) წყლის ეკონომიზირებისათვის

$$Q = \frac{D}{B_{\text{საანგ}}} (t''_{\text{საგ. წყ.}} - t'_{\text{საგ. წყ.}}) \text{ კკალ/კგ,} \quad (3-92)$$

გ) ჰაერზემთბობისათვის

$$Q = \alpha_{\text{საგ.}} V^0 \epsilon_3 (t_3'' - t_3') \text{ კკალ/კგ,} \quad (3-93)$$

რომელშიაც D კგ/სთ არის ორთქლის (წყლის) საათური ხარჯი;

V^0 ნმ³/კგ არის ერთი კგ სათბობის დაწვისათვის თეორულად საჭირო ჰაერის რაოდენობა;

t_3 და t_3' , $t'_{\text{საგ. წყ.}}$ და $t''_{\text{საგ. წყ.}}$ — სითბოშემცველობები გადახურებული ორთქლის, ნაჯერი ორთქლის, საკვები წყლის ეკონომიზირებაში შესვლამდე და შემდეგ.

t_3' და t_3'' °C არის ჰაერის ტემპერატურა ჰაერზემთბობის წინ და შემდეგ.

ტემპერატურათა საშუალო ლოგარითმული სხვაობა აირსა და სითბოსამთვისებელ ნივთიერებათა შორის (წყალი, ორთქლი, ჰაერი) განისაზღვრება ფორმულით:

$$\Delta t = \frac{\Delta t' - \Delta t''}{2,303 \lg \frac{\Delta t'}{\Delta t''}} \text{ } ^\circ\text{C,} \quad (3-94)$$

სადაც $\Delta t'$ °C არის ცხელი კვამლის აირებსა და სითბოსამთვისებელ ნივთიერებათა შორის ტემპერატურათა სხვაობა ხურების ზედაპირის იმ ბოლოზე, სადაც ის უდიდესია;

$\Delta t''$ °C — ტემპერატურათა სხვაობა ხურების ზედაპირის მეორე ბოლოზე.

იმ შემთხვევისათვის, როდესაც $\frac{\Delta t'}{\Delta t''} < 1,7$ ტემპერატურათა სხვაობა (ტემპერატურული დაწნევა) საკმარისი სიზუსტით განისაზღვრება როგორც ტემპერატურათა საშუალო არითმეტიკული სხვაობა

$$\Delta t = \frac{\Delta t' + \Delta t''}{2} \text{ } ^\circ\text{C.} \quad (3-95)$$

თ ა ვ ი 3-11

სამყვანში დანადგარის მძსპლოატაციისა და სითბური გაყვანის

3-36. ძირითადი ცნობები ძვანჯედაწველვითობისა და სამყვანში დანადგარის ტექნიკური მძსპლოატაციის წესებიდან

საქვანზე დანადგარების ექსპლოატაციის დროს აუცილებელია დაკულ იქნეს ტექნიკური ექსპლოატაციის წესების, ქვანისა და საცეცხლეს მოწყობილობათა მომსახურების და ქარხანა-დამამზადებლის ინსტრუქციების მოთხოვნები. შესაძლოა აგრეთვე არსებობდეს საუწყებო მნიშვნელობის ადგილობრივი ინსტრუქციები.

ყოველი ორთქლის ქვანისათვის აღებული საწარმოს ხელმძღვანელობის მიერ მტკიცდება სპეციალური ინსტრუქცია ქვანის გაშვებისა და გაჩერების წესების შესახებ.

კაპიტალური რემონტიდან ექსპლოატაციაში ქვანის გაშვება ხდება ქვანზედამბედევის მიერ ჰიდრაულიკური გამოცდის ჩატარების შემდეგ.

ორთქლის ქვანის გაშვების წინ საჭიროა ქვანში წყლის დონე აუცილებლად იქნეს ტექნიკური ექსპლოატაციის წესებით გათვალისწინებულ დონემდე, ე. ი. წყალსაზომი მილის

ქვედა და ზედა ნიშნების შუა ხაზანდე. საცეცხლეს გაჩაღების წინ, როგორც წესი, უნდა ჩატარდეს სათანადო პერსონალის მიერ ქვაბაგრეგატისა და მისი დამისარე მოწყობილობა ვარე დათვალერეგება. უნდა მოხდეს აირსაველებლის გასინჯვა და ვენტრილატია მათში დაჩენილი აირების შესაძლებელ აფეთქებათა თავიდან ასაცილებლად.

შემორეგებული უნდა იქნეს ქვაბზე არსებული დამცველი სარქველების წესიერულობა, ხოლო ქვაბის გაშვების წინ აუცილებლად უნდა გაილოს ერთ ერთი დამცველი სარქველი წყლის ვაცხელების პროცესში ქვაბიდან ჰაერის ვაბოსაშეებად.

თუ ორთქლის ქვაბს აქვს წყლის წინასწარ შემობობი—ეკონომაიზერი, მაშინ ქვაბის წყლით შევება და მისი კვება ხორციელდება ეკონომაიზერიდან.

ქვაბის გაშვების დროს საცეცხლეს სიერკის ზედა ნაწილში ადგილი უნდა ჰქონდეს (3—5 მმ წყ. სვ.) გაუხშობას. ორთქლის ქვაბის ხურების ზედაპირების თანახმიერი შემობობის დაცვა აუცილებელი პირობაა ქვაბის საიმედო მუშაობისათვის. ამიტომ ქვაბისა და საცეცხლეს კონსტრუქციების მიხედვით ორთქლის მაგისტრალში ჩართვამდე გაჩაღების პროცესს აწარმოებენ დაახლოებით 2—4 საათის განმავლობაში.

ქვაბის გაშვების პროცესის დაწყებიდან უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს წყლის დონეზე მეთვალყურეობა. ქვაბში წყლის დონის მაჩვენებელი ხელსაწყოების გამოქრევა უნდა მოხდეს, როდესაც ქვაბში ორთქლის წნევა მიაღწევს 0,5—1,0 ატმ, ხოლო მეორედ—ორთქლსადენ სისტემაში ორთქლის გაშვების წინ. ქვაბში სრული სამუშაო წნევის მიღწევისას ხელშეორედ გასინჯული უნდა იქნეს მთელი საქებაე აგრეგატის მდგომარეობა.

ორთქლის ქვაბის გაჩერების შემთხვევაში, როდესაც ადგილი აქვს სათბობის შრისებრი წესით დავვას, წვეისა და ჰაერის ბერეის მოწყობილობანი გაჩერებული უნდა იქნენ საცეცხლეს ცხურაზე სათბობის წვის პროცესის დამთავრების შემდეგ. როდესაც შეწყვეტილი იქნება ორთქლის ვაცემა, ქვაბი განთიშული უნდა იქნეს ორთქლის ვადამაშრებლიდან და თავისი საქიროების ორთქლსადენებიდან. ამის შემდეგ 30—50 წუთის განმავლობაში ღია უნდა იქნეს ორთქლვადამაშრებლის ვასაქრევი ვენტრილი. ვადამაშრებლის ვაგრილების მიზნით. მომსახურე პერსონალი ვალდებულია თვალყური ადევნოს წყლის დონეს, სანამ ქვაბი იმყოფება წნევის ქვეშ.

ადგილი რომ არ ექნეს ქვაბაგრეგატის არასასურველ ვაძლიერებულ ვაცივებას, ქვაბის გაჩერების შემთხვევაში საცეცხლეს ჩასატერითავი კარები და ბუნებრივი წვეის საფარები დააშრული უნდა იქნენ.

სათბობის შრისებრი წესით წვის დროს დასაშეებია ვარევეული რაოდენობის ჰაერის ვატარება საცეცხლეში, ჯაქვისებრი ცხურასი და ცეცხლრიკების ვასაგრილებლად. დაახლოებით 4—6 საათის შემდეგ საფარები უნდა იქნეს ვალბული, აირსაველებლის ვენტრილატია ვაძლიერებული და უნდა მოხდეს ქვაბის ვაქრევა, როდესაც საქებაე წყლის ტემპერატურა დაიწვეს 60—70°C-მდე დასაშეებია ქვაბიდან წყლის ვამოშეება.

ხელოვნური წვეის შემთხვევაში, თუ აუცილებელია ქვაბაგრეგატის სწრაფი ვაცივება, მაშინ ქვაბის გაჩერებიდან 4—6 საათის შემდეგ დასაშეებია კვამლშემწოვის ამუშაება და, აგრეთვე, ქვაბის ვაძლიერებული ვაქრევა და დამატებითი კება (წყლით შევება). დაუშეებელია გაჩერებული ორთქლის ქვაბის ორთქლის მაგისტრალთან მიერთებულ ნდგომარეობაში დატოვება.

წნევის ქვეშ. მყოფი ორთქლის ქვაბის დატოვება მეთვალყურეობის ვარეშე სასტიკად აკრძალულია.

ორთქლის ქვაბის საკებაი წყლის მაგისტრალბე სამუშაო მდგომარეობაში უნდა იმყოფებოდნენ.

დამცველი სარქველების მოწყობა, რეგულირება და შემორეგება ქვაბთხედამხედველობის წესების მიხედვით უნდა ხდებოდეს.

ზემთხვევები, როდესაც აუცილებელია ორთქლის ქვების ჰუმოზის შეწყობა.

1. წყლის გადინება ორთქლის ქვებიდან;
 2. ქვების შემოკირულობაში ისეთი ნაბზარის გაჩენა, რომლის დროსაც მოსალოდნელია ჩამონგრევა და კარკასის გაშიშვლება;
 3. ქვების ან პაერ შემთბობის შემოკირულობის კარკასის სიწითელმდე გახურება;
 4. ქვაბბარევატის ბოლო ნაწილის აირსავალბებში მოხვედრილი სათბობის წვის დროს;
 5. ეკრანისა და ეკონომიზერის მიღებიდან წყლის გამოყოფის დროს და სხვ.
- მიღგაყვანილობის მილტუზოვანი შენაერთებებიდან აღვლი ორ უნდა ჰქონდეს ორთქლისა და წყლის გადინების შემთხვევებს.

აუცილებელია მოთხოვნაა ორთქლსადენი მიღების სითბური იზოლაცია, სითბოს კარგვების თავიდან ასაცილებლად.

ზუსტად უნდა იქნეს დაცული ორთქლსადენების ტექნიკური ექსპლოატაციის წესები.

ორთქლის ქვების მკვებავი ტუმბობების რაოდენობა და მწარმოებლობა უნდა აკმაყოფილებდეს ქვაბთხედამხედველობის— ორთქლის ქვაბების, ორთქლგადამხურებლებისა და წყლის ეკონომიზერების მიწყოზის, დაყენების, მოვლისა და შემოწმების წესები— ნორმებს.

საკვები წყლის ავბები მომარაგებული უნდა იქნეს სტაციონარული ან გადასატანი კიბებებით.

საკვებ დანადგარების ექსპლოატაციის დროს აუცილებელი პირობაა უშიშროების წესების მოთხოვნათა დაცვა.

მომსახურე პერსონალი ვალდებულია იცოდეს და მტკიცედ დაიცვას უშიშროების ტექნიკისა და შრომის დაცვის წესების მოთხოვნილებანი.

ქვაბთხედამხედველობის წესებით დადგენილ ვალბებში უნდა გამოიციადოს და შემოწმდეს ორთქლის ქვაბები, ორთქლსადენები, აპარატები და კურკლები, რომლებიც იმყოფებიან 0,7 ატმ და მეტი წნევის ქვეშ.

უბედური შემთხვევებსა და პროფმოწამელზე პასუხს ავბებენ აღმინისტრაციულ ტექნიკური პერსონალის პირები, რომლებმაც დაარღვიეს არსებული წესები და არ მიიღეს ზომები უბედური შემთხვევებისა და პროფმოწამელის აკილებისათვის. ყველა საამქრო და უბანი მომარაგებული უნდა იქნეს ცეცხლმქრობი საშუალებებით.

ორთქლის ქვების სწორი და ნორმალური ექსპლოატაციის დროს ერთ-ერთ ყველაზე მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს ავარიის გარეშე მუშაობა.

უმეტეს შემთხვევაში ავარიის მთავარ მიზეზს წარმოადგენენ:

- ა) ქვების არასწორი კვება წყლით;
- ბ) წყლის (გადინება) გაპარვა;
- გ) იშვიათ შემთხვევაში ქვების ხანგრძლივი ექსპლოატაციის პროცესში ლითონის გაკვეთა და სხვ.

ქვების ავარია წარმოადგენს საგანგებო შემთხვევას, რომელსაც შეუძლია მიგვიყვანოს როგორც უბედური შემთხვევამდე, აგრეთვე, წარმოების მუშაობის ჩამოყალიბება. საქვებდ დანადგარების მუშაობის უშიშროების გარდის მიზნით დაწესებულია სისტემატური მეთეალურები ქვაბთხედამხედველობის ორგანობების მხრიდან, რომლებმაც სისტემატურად უნდა აწარმოონ ქვაბების გარე და შიგა შემოწმება პილრავალიურ გამოცდები და თავისი შენიშვნები და დაკვირვებანი შეიტანონ სპეციალურ რურნალში— ქვების წიგნში.

ქვაბთხედამხედველობის ინსპექტორები ქვების გარე შემოწმებას ყოველწლიურად აწარმოებენ. შიგა დათვალიერებას აწარმოებენ სამი წლის განმავლობაში ერთხელ მანც, ქვაბისა და მისი ელემენტების შიგა ხედაპირების მდგომარეობის შემოწმების მიზნით— ამონაბურტების, კოროზიის, ნაბზარებისა და სხვ. შემთხვევების თავიდან ასაცილებლად.

ოპოქლის ქვაბების ჰიდრაგლიკურ გამოცდას, შიგ. ზედპირების მდგომარეობის დათვალერებასთან ერთად. აწარმოებენ ექვს წელიწადში ერთხელ. ამ გამოცდების დროს სასინჯ წნევას იღებენ მე-3—8 ცხრილში მოყვანილი წნევების მიხედვით:

ცხრილი 3-8.

ვლენებების დასახელება	მუშა წნევა ორთქლის ქვაბში, p ატმ.	სასინჯი წნევა, p ატმ.
ორთქლის ქვაბი	5-ს ხეივით	1,25 p, მაგრამ არა უმც. p + 3 ატმ.
"	5-მდე	1,25, მაგრამ არანაკლები 2 ატმ.
ორთქლგადამუშავებელი	წნევაზე დამოუკიდებელი	სასინჯი წნევა ქვაბისათვის
გამოსათრიავი ეკონომიზერი	იჯივ	1,25 p + 5 ატმ.

სასინჯი წნევის ზემოქმედება გრძელდება 5 წუთის განმავლობაში და განკუთვნილია საკერების, გავალტური ადგილებისა და სხვ. შენაერთთა სიმჟიდროვის შესამოწმებლად. როგორც წესი, ქვაბთზე დამუშავების ორგანოების ინსპექტორები აღდგენენ და ამოწმებენ ადგილებზე საჭეაზე დანადგარების ექსპლოატაციის დროს უშიშროების ტექნიკის წესების შესრულებას და, აგრეთვე, მათ შეუძლიათ სათანადო დანადგარების ექსპლოატაციის წესების განსაზღვრა.

3-37. ძვაბამრეპატივი მუშაობის საკონტროლო ხელსაწყოები

ქვაბაგრეგატიდან ვაცემული ორთქლის რაოდენობის განსაზღვრისათვის იყენებენ ორთქლზომებს; ორთქლის პარამეტრების განსაზღვრისათვის გამოიყენება მანომეტრები, თერმომეტრები და თერმოწყვილები.

მანომეტრებს აყენებენ ორთქლის ქვაბების საორთქლე არეზე, ზოგჯერ ორთქლგადამუშავებლებზე და, აგრეთვე, ეკონომიზერების შემდეგაც.

მანომეტრის ჩვენების ცვალებადობა მიგვითითებს სათბობის ხარჯის რეგულირების აუცილებლობაზე. მანომეტრის ჩვენებიდან გამომდინარე ახდენენ სათბობის ხარჯის გადიდებას ან შემცირებას და ამით აღწევენ ორთქლის ქვაბის მუშაობის პროცესის ჩატარებას მუდმივი წნევის დროს.

თერმომეტრებსა და თერმოწყვილებს აყენებენ გადახურებული ორთქლის ორთქლსადენზე, ეკონომიზერების მაგისტრალზე, ჰაერზემთობების ჰაერსადენებზე, ალიბჰენი და სხვ. თერმოწყვილების გაყვანილობა მიერთებულია მართვის საერთო ფართან; მათი ჩვენებების დაკვირვებას ახდენენ გრადულირებული გაღვანომეტრების მიხედვით.

ორთქლის ქვაბში მისაწოდებელი საკვები წყლის რაოდენობის რეგულირება უნდა ხდებოდეს ორთქლის ხარჯის მიხედვით.

საკვები წყლის ხარჯის განსაზღვრა ხდება ეკონომიზერის წინ დაყენებული წყალსაზომის საშუალებით. ორთქლის ქვაბში წყლის დონე მოწმდება წყალსაზომი მილითა და წყალსასინჯი ონკანებით. თხევადი და აიროვანი სათბობის ხარჯის განსაზღვრა ხდება სპეციალური ხარჯსაზომების საშუალებით.

მყარი სათბობების ხარჯის განსაზღვრა ხდება სასწორების ან ტარირებული ვაგონეტების საშუალებით. ხელით მომსახურების საცეცხლებში სათბობის მიწოდების რე-

კულებზე ხდება ხელით, ხოლო შექსარეურობის მიხედვით სპეციფიკურად ცხადდება მოძრაობის სიჩქარის ცვალებადობით.

ქებაგარეგანების აირსაველებში გაუმჯობესების განსაზღვრა ხდება წვეამზომების საშუალებით. კვამლის აირების მოცულობითი ანალიზისათვის (RO_2 , O_2 და CO -ის $\%$ სიდიდების განსაზღვრისათვის) გამოიყენება სხვადასხვა კონსტრუქციის აირანალიზატორები. ახლად დადგმულ და რეკონსტრუქციამქნილ ქებაგარეგანებში უმთავრესად გამოიყენება თვითჩამწერი საკონტროლო ხელსაწყოები. უკანასკნელ დროს ფართოდაა გამოყენებული ავტომატური რეგულირებისა და ავტომატური დისტანციური მართვის ხელსაწყოები და აპარატები.

3-38. ძირითადი ცნებანი სძვაბე დანადგარების სითბური გამოსცდის შესახებ

საქვებე დანადგარის სითბური გამოცდის მიზანია მისი მარტი ქმედების კოეფიციენტის უსაბ. დანადგ. განსაზღვრა და იმ ფაქტორების გამოკვლევა და დადგენა, რომლებიც გავლენას ახდენენ ამ კოეფიციენტის მნიშვნელობაზე. სწორი ექსპლოატაციის დროს აუცილებელია ნებისმიერ მომენტში ცოდნა, რამდენად ეკონომიურად მუშაობს ორთქლის ქვაბი. სითბური გამოცდა უნდა წარმოებდეს ქვაბის კაპიტალურ რემონტამდე და შემდეგ, კონსტრუქციული ცვლილებების შეტანის შემდეგ ან ნორმალური პარამეტრებიდან ქვაბის მუშაობის გადახრის დროს.

საქვებე დანადგარის სითბური გამოცდა წარმოებს მუშაობის დამყარებული რეჟიმის მიღწევის შემდეგ. ქვაბის სითბური გამოცდის დროს ძირითადად ისაზღვრება:

- 1) ორთქლის საათური ხარჯი;
- 2) სათბობის საათური ხარჯი;
- 3) ორთქლის წნევა;
- 4) გადახურებული ორთქლის შემთხვევაში, ორთქლის გადახურების ტემპერატურა;
- 5) საკვები წყლის ტემპერატურა ეკონომიზერის წინ და შემდეგ;
- 6) კვამლის აირების ტემპერატურა კვამლსაველების დადგენილ ადგილებში;
- 7) კვამლის აირებში RO_2 , O_2 და CO -ის $\%$ შემცველობა და სხვ.

სითბური გამოცდის მონაცემებით, სათანადო ცხრილების გამოყენებით და გაანგარისებებით ისაზღვრება ყველა სიდიდე, რომლებიც საჭიროა სითბური ბალანსის შესადგენად. სითბური ბალანსის შედგენის შემდეგ გაიანგარიშება საქვებე დანადგარის მარტი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობა და დაისახება ლონისძიებანი დანადგარის ეკონომიურობის გადიდებისათვის.

საქვებე დანადგარის სითბური გამოცდის ხანგრძლიობა დამოკიდებულია გამოცდის მიზანდასახულობაზე. თუ სითბურ გამოცდას ვაწარმოებთ საწარმოო პირობებში, რათა მოვახდინოთ გავლენა დანადგარის მუშაობის ეკონომიურობაზე, მაშინ გამოცდის ხანგრძლიობა ჩვეულებრივ უნდა გაგრძელდეს 8—12 საათი, ხოლო თუ ქებაგარეგანის სითბური გამოცდა ტარდება სასწავლო მიზნით, მაშინ გამოცდის ხანგრძლიობა შეიძლება შემცირდეს სასწავლო პროგრამის შესაბამისად.

საქვებე დანადგარების სითბური გამოცდის დაწვრილებითი მეთოდიკა მოცემულია სპეციალურ სახელმძღვანელოებში და საუწყებო ინსტრუქციებში.

ბანყოფილება მეოთხე

დგუშიანი ორთქლის მანქანები და ლოკომოტივები

თ ა ვ ი 4-1

ქირითაღი ცნებანი

4-1. ორთქლის მანქანის ჩასახვა და განვითარება

დგუშიანი ორთქლის მანქანა წარმოადგენს თბოძრავს, რომელშიაც მუშა სხეულად გამოიყენება წყლის ტენიანი ნაჯერი ან გადახურებული ორთქლი. ორთქლის ენერჯის გამოყენების შესაძლებლობა მექანიკური მუშაობის მისაღებად ცნობილი იყო დაახლოებით ორასი წლის წინათ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე.

თბოენერგეტიკის განვითარების ისტორიის მონაცემებით ქვემოთხსენებულ ორთქლის ენერჯის გამოყენების იდეა არქიმედის სახელთანაა დაკავშირებული.

პერონ აღექვანდრიელს თავის თხზულებებში, რომელიც მოღვაწეობდა დაახლოებით ასორმოცდაათი წლის წინათ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე, აღწერილი აქვს წყლის ორთქლის და ჰაერის წნევის გამოყენება ხელსაწყოებში.

XV—XVII საუკუნეებში წყლის ორთქლის ძალის გამოყენების იდეა წყლის განსახლურულ სიძალეზე აწვესათვის სხვადასხვა გამოგონებლის მიერ ზუსტად იყო ჩამოყალიბებული და ზოგჯერ პრაქტიკულად განხორციელებული. მიუხედავად ამისა მოთხოვნილება მექანიკურ ენერჯიაზე ჩვეულებრივად კმაყოფილდებოდა ქარისა და წყლის ენერჯიით. მხოლოდ XVII საუკუნის ბოლოს მრეწველობამ წამოაყენა მოთხოვნა უფრო მძლავრი ძრავების შექმნაზე, რომელთა მუშაობა არ იქნებოდა დამოკიდებული ქარსა და მოძრავ წყალზე.

XVIII საუკუნეში შექმნილი იყო პრაქტიკულად მომუშავე ორთქლის მანქანა. ორთქლის მანქანების უახლოეს წინამორბედებად ითვლება სხვადასხვა ტიპის ორთქლის დგუშიანი და უდგუშიო წყალსაწვეები. მეფრამეტე საუკუნეში არსებულ დგუშიან წყალსაწვეებიდან ყველაზე საინტერესო კონსტრუქციას წარმოადგენდა ნიუკომენის წყალსაწვეი, რომლის მუშაობის პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში: შევეულად მდებარე ცილინდრში ზემოდან ჩადგმულ დგუშიან თარაზული ორმხრიანი ბერკეტის საშუალებით მიერთებულია წყლის ტუმბოს მძიმე შტანგი, რომელიც შახტაშია ჩაშვებული. ორთქლის ქვაბიდან დგუშის ქვეშ ორთქლის შეშვების დროს დგუში იწევა ზემოთ. დგუშის ქვეშ ცივი წყლის შესხურება იწვევს წყლის ორთქლის კონდენსირებას, რაც ცილინდრში გაუხშობებას ქმნის. იმავე დროს ატმოსფერული ჰაერის წნევის მოქმედებით დგუში ჩამოეშვება ქვემოთ, ხოლო წყლის ტუმბოს შტანგი ბერკეტის საშუალებით იწევა ზემოთ (ეს მანქანის მუშა სვლაა). ამის შემდეგ დგუშის ქვეშ ხელახლა უშვებენ ორთქლს და ყველა პროცესი ზემომოყვანილი თანამიმდევრობით მეორდება. აღწერილი და მისი მსგავსი მანქანების მარგე ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობა 1% არ აღემატებოდა. ასე-

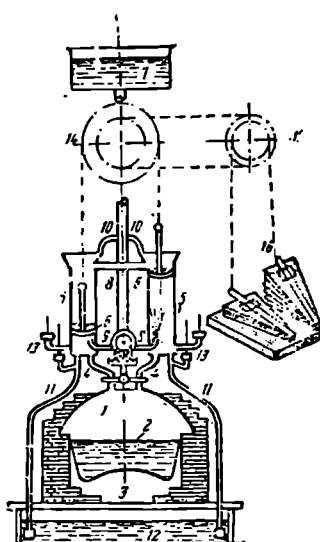
თი ტიპის წყალსაწვევებს უწოდებდნენ „ატმოსფერულ“ მანქანებს და იყენებდნენ ქვანახშირის შახტებიდან წყლის ამოსატუმბავად, წყლით მომარაგებისათვის და სხვ. ტარდებოდა ცალკეული ცდები წყლის ორთქლის გამოყენებისათვის მექანიკური ენერჯის მისაღებად.

XVII საუკუნის მეორე ნახევარში პრაქტიკულად გახდა შესძლებლობა ისეთი ორთქლის მანქანის შექმნისა, რომელსაც უშუალოდ მოძრაობაში მოჰყავდა მანქანა იარაღები. მიუხედავად იმისა, რომ ასეთი მანქანის კონსტრუქცია არ იყო სრულყოფილი, მან დიდი როლი შეასრულა ორთქლის მანქანების შემდგომი განვითარების საქმეში. თბოენერჯეტიკის განვითარების ისტორიიდან ცნობილია, რომ მსოფლიოში პირველი საწარმოო მნიშვნელობის ორთქლის მანქანა შექმნილი და აგებული იყო რუსი მექანიკოსის ივანე ივანეს ძე პოლზუნოვის მიერ, რომელმაც თავისი პრაქტიკულ მუშაობას საფუძვლად დაუდოა თავისი თანამემამულის დიდი რუსი მეცნიერის მ. ვ. ლომონოსოვის იდეები.

ი. ი. პოლზუნოვი, მსოფლიოში პირველი ორთქლის მანქანის შემქმნელი, დაიბადა კ. ეკატერინბურგში 1730 წელს არითმეტიკული სკოლის დამთავრების შემდეგ პოლზუნოვი მუშაობდა ქარხანაში. ბარნაულის ქარხანაში მუშაობის პერიოდში ის თავისუფალ დროს დასვენების ნაცვლად ფიზიკისა და მექანიკის საფუძვლების ათვისებასა და ცალკეული სამეცნიერო კვლევითი ცდების ჩატარებას ანდომებდა, რამაც მისი ჯანმრთელობა შესაძლებლად შეარყია. მან 1762 წელს მსოფლიოში პირველი ორთქლის მანქანის შექმნისათვის დამოუკიდებელი მუშაობა დაიწყო და 1764 წელს უკვე შეუდგა მანქანის პრაქტიკულად აგებას. 1766 წელს მანქანის აგება წარმატებით დამთავრდა და ამავე წლის 23 მაისს მოხდა მისი გამოგება პოლზუნოვის მოწვევების მიერ, ვინაიდან თვით პოლზუნოვი მანქანის გაშვებამდე ერთი კვირით ადრე ფილტვების ქლეკით გარდაიცვალა.

პოლზუნოვის ორთქლის მანქანა ექსპლუატაციაში იმყოფებოდა დაახლოებით ხუთი თვის განმავლობაში და ორთქლის ქვანახშირის დაზიანების შედეგად მანქანის მუშაობა შეწყვეტილი იქნა, რის შეკრებებაც არ მომხდარა. ორთქლის მანქანის 13 წლის უმოქმედობის შემდეგ 1779 წელს გაიცა ბრძანება მისი დაშლის შესახებ, მიუხედავად იმისა, რომ მრეწველობისათვის ის აუცილებელი იყო. პოლზუნოვის ორთქლის მანქანის დანადგარის სქემა ნაჩვენებია ნაკ. 4—1-ზე.

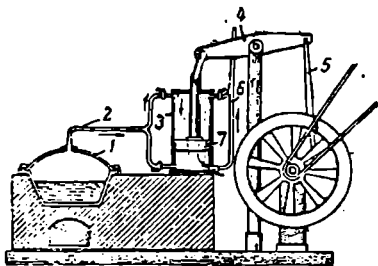
პოლზუნოვის ორთქლის მანქანის სიმძლავრე იყო 40 ცხენის ძალა და განკუთვნილი იყო ლითონის გამოსადნობი ლუმელების ჰაერის საბერველების მოძრაობაში მოსაყვანად. პოლზუნოვის ორთქლის მანქანაში პირველად მსოფლიოში გადაწყვეტილ იქნა პრობლემა სითბოს გარდაქმნისა მექანიკურ მუშაობად და განზორციელებულ იქნა უნივერსალური სითბური ძრავის შექმნის იდეა.



ნაკ. 4—1. ი. ი. პოლზუნოვის მანქანის სქემა.
1-ორთქლის ქანა, 2-წყლის დონე, 3-საცეცხლე, 4-ორთქლის შემწვევი მილები განმარტლებული საგვალავებ, 5-ორთქლის მანქანის ორი მუშა ცილინდრი, 6-წყლის შივი შექვიდრებულ დეპრესიურ, 7-ცეცხლის ავზი, 8-ცილინდრებისათვის წყლის მიმწოდებელი პალი, 9-ფლანგისაქვლებული წყლის შეზღოვა, 10-დეპრესიის შესაქვიდრებულად წყლის მიწოდებელი ცილინდრი, 11-ცილინდრიდან ობალი წყლის ასარიბეული მილაკები, 12-თხალი წყლის ავზი, 13-საპერო მილები, 14-პრობალი, 15-პერების საბერველების ამრავი ხორბალი, 16-პერის საბერველები.

პალზუნოვის მიერ პირველი ორთქლის მანქანის აგებიდან მხოლოდ ოცი წლის უკანდგ აგებულ იქნა შედარებით უფრო სრულყოფილი ჯემს უატის ორთქლის მანქანა, რომლის მუშაობის სქემა ნაჩვენებია ნაკ. 4-2-ზე.

უატის ორთქლის მანქანაში მუშა სხეულად გამოყენებული იყო წყლის ორთქლი, რომლის წნევა ატმოსფერული წნევაზე მეტი იყო. ორთქლის წნევის მოქმედებით სრულდებოდა დგუშის მუშა სვლა.



ნაკ. 4-2. ჯემს უატის ორთქლის მანქანის სქემა: 1-ორთქლის კეახი, 2-მარბოქსადგემა, 3-მუშა ცილინდრი, 4-ხალაწისი, 5-მარბოქსადგემა შექანისში, 7-დგუში.

უატის მიერ ორთქლის მანქანაში შეტანილ იქნა შემდეგი გაუმჯობესებანი:

ა) მუშა ცილინდრში დგუშის მოძრაობა ორივე მხარეს სრულდებოდა ორთქლის ქარბი წნევის მოქმედებით, ატმოსფერული წნევის მონაწილეობის გარეშე;

ბ) ნამუშევარი ორთქლის კონდენსაცია ხდებოდა მანქანის ცილინდრისაგან განცალკევებულ კონდენსატორში, რაც სითბურ და ნაკარგებს ამცირებდა;

გ) მუშა ცილინდრში ორთქლის შეშვება წარმოებდა მხოლოდ დგუშის სვლის ნაწილზე, ორთქლის შემდგომი გაფართოებით;

დ) მბრუნავი ლილვის გამოყენება (ბალანსირის საშუალებით);

ე) მანქანის ავტომატური რეგულირება (ბრუნთა რიცხვის მუდმივობის შენარჩუნება

ცენტრიდანული რეგულატორით, რომელიც დაკავშირებულია ორთქლის დროსელის საფართან). ორთქლის მანქანების შემდგომი განვითარება ხასიათდება ორთქლის მრავალჯერადი გაფართოების პრინციპის გამოყენებით, სიმძლავრის გადიდებით, მაღალი პარამეტრების ორთქლის გამოყენებით და ორთქლის ხვედრითი ხარჯის შემცირებით. რუსეთში ორთქლის მანქანების განვითარება დაიწყო 1790 წლიდან, როდესაც შესრულებულ იქნა პოლზუნოვის მანქანის შემდეგ პირველი სტაციონარული ორთქლის მანქანა და აგებულ იქნა პირველი ქარხანა, რომელიც განკუთვნილი იყო სტაციონარული მანქანების აგებისათვის.

მომდინარე საუკუნის დასაწყისისათვის, საფაბრიკო, ორთქლმავლისა და გემების მანქანების გარდა, ფართო გამოყენება მოიპოვა ორთქლის ლოკომობილებმა. სოფლის მეურნეობაში გამოყენებას პოულობს როგორც სტაციონარული, ისე გადასაადგილებელი ლოკომობილები.

სოფლის მეურნეობაში აგრეთვე გამოიყენება მსუბუქი ორთქლძალური დანადგარები ППУ--1 და სხვ.

4-2. ცნობა ორთქლის მანქანის მუშაობაზე და მოწყობილობაზე

ორთქლის მანქანის დანიშნულებაა წყლის ორთქლის პოტენციალური ენერჯის გარდაქმნა მექანიკურ ენერჯად ანუ მუშაობად. შეეუღლი ერთცილინდრიანი უმარტივესი ორთქლის მანქანის ძირითად კონსტრუქციულ ელემენტებს შორის ურთიერთკავშირი შეიძლება გამოარკვეულ იქნეს ნაკ. 4-3-ზე ნაჩვენები ორთქლის მანქანის სქემის განხილვით.

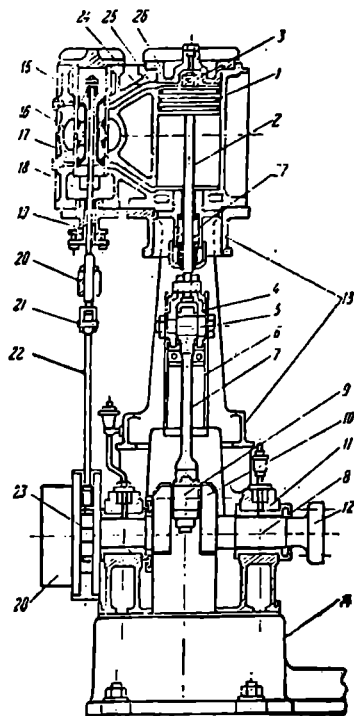
ორთქლის მანქანის ნაწილები შეიძლება დაყოფილ იქნეს ორ ჯგუფად. პირველ ჯგუფს შეიძლება მიეკუთვნოს მუშაობის გადამცემი და მათთან მჭიდროდ დაკავშირებული ნაწილები, ხოლო მეორე ჯგუფს ორთქლით შემოვარებული და მისი განმანაწილებელი ნაწილები.

ორთქლის მანქანის ნაწილების პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება:

1) დგუში შემამჭიდროებელი რგოლებით; 2) დგუშის კოკი; 3) კოკზე დგუშის დასამაგრებელი ქანჩი; 4) მკოცა (ჯვართაფა); 5) მკოცის თითი; 6) მკოცის მიმმართველები; 7) ბარბაცა (ხედა თავი, ღერო, ქვედა თავი); 8) ძირითადი (მუხლა) ლილევი; 9—ლილვის მუხლის ყელი; 10) ლილვის მუხლის გარეპირები; 11) ძირითადი საკისრები (წვეთური სახეთურებით); 12) ქურო ენერჯის ზომხმარებელთან მისაერთებლად; 13) ჩარჩო (მანქანის სადგარი); 14) საძირკვლის ფილა.

მანქანის ნაწილების მეორე ჯგუფს შეადგენს:

15) მკვეთარის კოლოფი; 16) მკვეთარის კოლოფის მილისა; 17) მრგვალი მკვეთარი (ცილინდრული, დგუშიანი); 18—მკვეთარის წვევა; 19) მკვეთარის წვევის ჩობალი; 20) მკვეთარის წვევის მიმმართველი; 21) მკვეთარისა და ექსცენტრიკის წვევების შეუღლება; 22) ექსცენტრიკის წვევა (ცალულით); 23) მკვეთარის ექსცენტრიკი; 24) ორთქლის არხები (მკვეთარის კოლოფსა და ცილინდრს შორის); 25) მუშა ცილინდრი; 26) ცილინდრის სახურავი; 27) დგუშის კოკის ჩობალი; 28) ბრტყელი რგვულატორი (მკვეთარის ექსცენტრიკზე მოქმედი).



ნაქ. 4—3. ორთქლის მანქანის სქემა.

ორთქლის მანქანის ცილინდრში, რიგრიგობით დგუშის როგორც ერთ, ისე მეორე მხარეს ხდება წყლის ტენიანი ნაჯერი ან გადახურებული ორთქლის შეშვება. ორთქლის შეშვების მოკვეთას შემდეგ მოსდევს გაფართოების, ნამუშევარი ორთქლის გამოშვებისა და ცილინდრში დარჩენილი ნამუშევარი ორთქლის შეკუმშვის პროცესები. ერთხელ აღბეჭდილი, ცილინდრში წარმოებული პროცესების თანამიმდევრობა მანქანის შიგნით მუშა ცილს წარმოადგენს.

მისი ერთჯერადი განხორციელებისათვის საჭიროა დგუშის ორი სვლა. დგუშის ორი სვლა სრულდება მუხლა ლილვის ერთხელ შემობრუნებით. მუშა ცილინდრში ორთქლის მიერ შემოაღნიშნული პროცესების შესრულების შედეგად მანქანის მუხლა ლილვზე გადაეცემა როპელიდაც მუშაობა, რომელიც შემდეგ ხმარდება მომხმარებელს (უმეტეს შემთხვევაში ელექტროგენერატორს).

ორთქლის მანქანები შესაძლოა კლასიფიცირებულ იქნეს სამი ნიშნის მიხედვით:

I—შიგა სითბური პროცესის,

II—მთავარი კონსტრუქციული თავისებურებების,

III—მანქანის დანიშნულების მიხედვით.

I. კლასიფიკაცია შიგა სითბური პროცესის მიხედვით:

1. გამოყენებული ორთქლის სახის მიხედვით—ტენიანი ნაჯერი ან გადახურებული ორთქლით მომუშავე მანქანები;

2. ნამუშევარი ორთქლის გამოშვების მიხედვით— ორთქლის კონდენსაციით ან უშუალოდ ატმოსფეროში გაშვებით მომუშავე მანქანები;

3. ორთქლის გაფართოების ჯერადობის მიხედვით—მარტივი, ე. ი. ერთჯერადი ან მრავალჯერადი (ორჯერადი, და იშვიათად, სამჯერადი) გაფართოების მანქანები;

4. რეგულირების სახის მიხედვით—მანქანები, რომელთა რეგულირება ხდება დროსივლით ან მოკვეთით.

II. კლასიფიკაცია მთავარი კონსტრუქციული თავისებურებების მიხედვით:

1. ორთქლგანაწილების ტიპის მიხედვით—მანქანები მკვეთარებიანი ორთქლგანაწილებით (მარტივი და ორმაგი მკვეთარები), მანქანები სარკველებიანი ორთქლგანაწილებით, მანქანები ონკანებიანი ორთქლგანაწილებით, მანქანები კომბინირებული ორთქლგანაწილებით—სარკველები ორთქლის შეშვებისათვის და გამოშვებისათვის, ფანჯრები, რომელთა გაღება ხორციელდება დგუშით, (პირდაპირი დინების მანქანები);

2. მუშა ცილინდრის ღერძის მდებარეობის მიხედვით—ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მანქანები;

3. ცილინდრში მუშა სიღრუბების რაოდენობის მიხედვით—მარტივი და ორმაგი ქმედების მანქანები;

4. მუშა ცილინდრების რაოდენობის მიხედვით—მანქანები ერთი ცილინდრით, დაწყვილებული მანქანები მარტივი გაფართოების ცილინდრებით, ორჯერადი გაფართოების ორცილინდრიანი მანქანები და ა. შ.

5. დგუშის მოძრაობის გარდაქმნის ხერხის მიხედვით—პირდაპირი მოქმედების მანქანები, რომელთაც არა აქვთ ბრუნვითი მოძრაობა (წყლისა და ჰაერის დგუშიანი ტუმბოები, ორთქლის უროები), მანქანები მრულდმხარა მექანიზმებით.

6. ლილვის ბრუნვის მიმართულების მიხედვით—მანქანები ბრუნვის მუდმივი მიმართულებით და რვეერსიული მანქანები.

III. კლასიფიკაცია მანქანის დანიშნულების მიხედვით:

1. საერთო დანიშნულების მანქანები;

2. საეკიალური დანიშნულების მანქანები—ლოკომობილის, ორთქლმავლის, გემების, ორთქლის ტუმბოების მანქანები, ორთქლის უროების მანქანები და ა. შ.

ძალიან დატვირთვებზე მომუშავე ჩვეულებრივი ორთქლის მანქანებს გარდა, ამჟამად ფართო გამოყენებას პოულობენ სათბოფიკაცია მანქანები, რომლებშიც ორთქლის სითბოს გამოყენება კომბინირებულად ხდება: ერთი ნაწილი გარდაიქმნება მექანიკურ მუშაობად, ხოლო მეორე ნაწილი მანქანიდან არინდება გათბობის, ხარშვისა და სხვა მიზნებისათვის.

სათბოფიკაცია ორთქლის მანქანები თავის მხრივ შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად:

ა) მანქანები უქუწნევით;

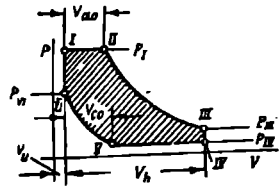
ბ) მანქანები რესივერიდან ორთქლის შუალედური არომევიით.

ორთქლის მუშაობა ორთქლის მანქანაში

4-4. ორთქლის მანქანის თეროდინამიკური დიაგრამა

ორთქლის მანქანის მუშა ცილინდრში განხორციელებული პროცესების არსის განმარტება ყველაზე უკეთესია ნაკ. 4-4-ზე მოცემული თეორიული დიაგრამის განხილვის გზით.

ნაკ. 4-4-ზე ნაჩვენებ თეორიულ ინდიკატორულ დიაგრამაზე I-II არის ორთქლის შეშვების ხაზი (ან შეესების ხაზი); II-III- ორთქლის გაფართოების მრუდი, რომელიც ორთქლშემშვები ორგანოს დაკეტვის შემდეგ ცილინდრში განხორციელებული ორთქლის გაფართოების პროცესს შეესაბამება; III-IV- ორთქლის წინასწარ გამოშვების ხაზი, რომელიც ორთქლგამოსასვები ორგანოს-სარქველის ან შვეთარას-საშუალებით, მათი გაღებისას, ცილინდრიდან ორთქლის გამოშვების პროცესის პირველ ნაწილს შეესაბამება, ამასთან დგუში განაგრძობს კიდევ თავის მოძრაობას საწყისი მიმართულებით; IV-V- ორთქლის განდევნის ხაზი, რომელიც უკუმიმართულებით მოძრაობაში მოსული დგუშის მოქმედებით, ღია ორთქლგამოსასვები ორგანოს საშუალებით, ცილინდრიდან ორთქლის გამოშვების პროცესის მეორე ნაწილს შეესაბამება; V-VI- შეკუმშვის მრუდი, რომელიც გამოშვების მოკვეთის შემდეგ ცილინდრში შერჩენილი და ზაბეხე სივრცედ წოდებული, დგუშა და ცილინდრის სახურავს შორის სივრცეში განდევნილი ორთქლის შეკუმშვის პროცესს შეესაბამება; VI-I- ორთქლის წინასწარ შეშვების ხაზი, რომელიც შეესაბამება ორთქლშემშვები ორგანოს გაღებისას ცილინდრში დგუშის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით ორთქლის მიწოდების დასაწყისს, როცა დგუში ამთავრებს თავის უკუმოძრაობას.



ნაკ. 4-4. თეორიული ინდიკატორული დიაგრამა.

ორთქლის მანქანის თეორიული დიაგრამის განხილვისას შეიძლება გამოყენებულ იქნეს იგივე დაშვებები, რომლებიც გამოყენებული იყო ტექნიკურ თერმოდინამიკაში იდეალური ციკლების განხილვის დროს. ეუშვებთ, რომ მანქანის მუშა ცილინდრში ყოველთვის არის 1 კგ მუშა სხეული (წყლის ორთქლი) და ის თავის თერმოდინამიკურ თვისებებს იცვლის გარე არესთან ურთიერთმოქმედებით.

ორთქლის მანქანის ცილინდრის მანენე მოცულობა აღენიშნოთ V_0 -ით, ხოლო მუშა მოცულობა V_h -ით. V_{00} და V_{01} გამოსახავენ შეესების პერიოდსა და შეკუმშვის პერიოდში დგუშის მიერ შესაბამისად გაეღილ მოცულობებს.

თეორიული დიაგრამის მიხედვით მოცულობათა უმთავრესი თანაუარობანი ასეთია:

$$\text{შეესების თეორიული ხარისხი } a_0 = \frac{V_{00}}{V_h}$$

$$\text{თეორიული ფარდობითი შეკუმშვა } c_0 = \frac{V_{00}}{V_h}$$

$$\text{მანენე სივრცის ფარდობითი სიდიდე, ანუ მანენე სივრცის კოეფიციენტი } \sigma = \frac{V_0}{V_h}$$

ამგვარად, ორთქლის მანქანის თეორიული მუშა პროცესი ხორციელდება დგუშის ორი სგლის დროს, ე. ი. მუხლა ლილვის ერთი შემობრუნებით და მისი თეორიული დიაგრამა გამოისახება ციკლით I-II-III-IV-V-VI-I.

თუ ორთქლის მანქანა არის ორმხრივი ქმედების და ზუზა ცილინდრს აქვს მარჯვენა მხარის სიღრუე, მაშინ ასეთივე ციკლი შესრულდება ამ სიღრუეში.

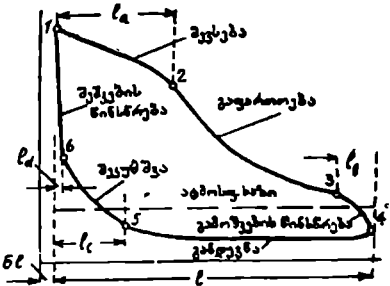
4-5. ორთქლის მანქანის ნამდვილი ინდიკატორული დიაგრამა, ხაზუხალო ინდიკატორული წესვა და ინდიკატორული სიმამლაკაო

ორთქლის მანქანის ნამდვილი ინდიკატორული დიაგრამა ეწოდება გრაფიკს, რომელიც დღუშის გადაადგილების მიხედვით გვიჩვენებს ზუზა ცილინდრში ორთქლის წნევის ცვლილებას.

ნამდვილი ინდიკატორული დიაგრამა განსხვავდება თეორიული ინდიკატორული დიაგრამისაგან იმით რომ ნამდვილ პროცესებში ადვილი აქვს რიგ დანაკარგებს.

ნაკ. 4-5-ზე ნაჩვენებია მასშტაბის დაუცველად ნამუშევარი ორთქლის ატმოსფერულ ჰაერში გაშვებით მომუშავე ორთქლის მანქანის ნამდვილი ინდიკატორული დიაგრამა.

დიაგრამაზე 1 და 4 წერტილი შეესაბამება ზუზა ცილინდრში დღუშის მარცხენა და მარჯვენა ნაპირა მდგომარეობას (მკედარ წერტილებს), წერტილი 2 შეესაბამება ცილინდრში უხმარი ორთქლის შეშვების შეწყვეტას (მოკვეთას), ან ორთქლის გაფართოების დაწყებას. წერტილი 3 შეესაბამება ორთქლის გაფართოების დასასრულს, ან ნამუშევარი ორთქლის გამოშვების (წინსწრება) დასაწყისს. წერტილი 5 ნამუშევარი ორთქლის განდევნის დასასრული, ან ცილინდრში დარჩენილი ნამუშევარი ორთქლის შეკუმშვის დასაწყისი. წერტილი 6 შეკუმშვის დასასრული, ან უხმარი ორთქლის შეშვების (წინსწრება) დასაწყისი.



ნაკ. 4-5. ნამდვილი ინდიკატორული დიაგრამა.

მითითებულა წერტილებით შეპირობებულია მანქანის ცილინდრში შიგა პროცესების ძირითადი პერიოდები: შეშვება, გაფართოება, გამოშვების წინსწრება, შეკუმშვა და შეშვების წინსწრება.

ნაკ. 4-5-ზე წარმოდგენილი ორთქლის მანქანის ნამდვილი ინდიკატორული დიაგრამის მიხედვით მიღებული თანაფარდობანი შემდეგია:

$$\begin{aligned}
 \text{შეშვების ნამდვილი ხარისხი } a &= \frac{l_a}{l} \\
 \text{გამოშვების წინსწრების ფარდობითი სიდიდე } b &= \frac{l_b}{l} \\
 \text{შეკუმშვის ფარდობითი სიდიდე } c &= \frac{l_c}{l} \\
 \text{შეშვების წინსწრების ფარდობითი სიდიდე } d &= \frac{l_d}{l}
 \end{aligned}$$

საერთოდ ნამდვილი ინდიკატორული დიაგრამის ფართობი შედარებით მცირეა, ვიდრე თეორიული ინდიკატორული დიაგრამის ფართობი. უკანასკნელი კონსტრუქციის მანქანებში ნამდვილი ინდიკატორული დიაგრამის გადახრა თეორიული ინდიკატორული დიაგრამისგან უფრო მეტად გამოვლინდება.

აგრამიდან არ აღემატება 5—10% და, მაშასადამე, ინდიკატორულ-დიაგრამის შეესების კოეფიციენტი

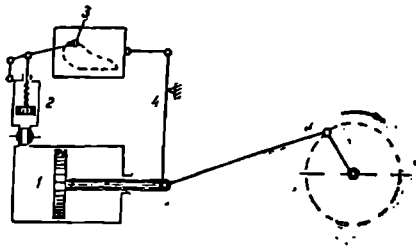
$$\varphi = \frac{F_{\text{ნამდ.}}}{F_{\text{თეორ.}}} = 0,90 - 0,95,$$

სადაც $F_{\text{ნამდ.}}$ არის ნამდვილი ინდიკატორული დიაგრამის ფართობი;

$F_{\text{თეორ.}}$ — თეორიული ინდიკატორული დიაგრამის ფართობი.

ორმხრივი ქმედების ორთქლის მანქანებისათვის ინდიკატორული დიაგრამის შეესების კოეფიციენტი იღება $\varphi = 0,70 - 0,80$.

ორთქლის მანქანის ინდიკატორული სიმძლავრის გაანგარიშებისათვის საჭიროა განისაზღვროს ნამდვილი ინდიკატორული დიაგრამის ფართობი, ვინაიდან ეს სისტემაში დიაგრამის ფართობი სათანადო მასშტაბით იძლევა მუშაობის სიდიდეს, რომელსაც ასრულებს ორთქლი ერთი მუშა ციკლის დროს. თუ ცნობილია ერთ წუთში შესრულებული ციკლთა რაოდენობა, მაშინ შეიძლება გაანგარიშებულ იქნეს მანქანის ინდიკატორული სიმძლავრე. მოქმედი ორთქლის მანქანიდან ინდიკატორული დიაგრამის გადაღება ხდება ხელსაწყოთა საშუალებით, რომელსაც ინდიკატორი ეწოდება. ინდიკატორის მოქმედების სქემა ნაჩვენებია ნაკ. 4—6-ზე.



ნაკ. 4—6. ინდიკატორის მოქმედების სქემა.

პრაქტიკულად მანქანის ინდიკატორული სიმძლავრის გაანგარიშებისათვის საჭიროა ნამდვილი ინდიკატორული დიაგრამის მიხედვით განისაზღვროს ე. წ. საშუალო ინდიკატორული წნევა p_i კგ/სმ².

საშუალო ინდიკატორული წნევა პირობით ეწოდება დღეუხე მოქმედ მუდმივ წნევას, რომელიც მოქმედებს დღეუხე გაფართოების სვლის დროსა და ასრულებს მუშაობას ინდიკატორული მუშაობის ტოლს.

ამგვარად, თუ ნამდვილი ინდიკატორული დიაგრამის ფართობი არის $F_{\text{ნამდ.}}$ მმ², ხოლო l მმ არის დიაგრამის სიგრძე და ინდიკატორის ზამბარაქის მასშტაბი m მმ, თითოეულ კგ/სმ²-ზე, მაშინ საშუალო ინდიკატორული წნევის სიდიდე გამოისახულებიდან

$$p_i = \frac{F_{\text{ნამდ.}}}{m \cdot l} \text{ კგ/სმ}^2. \quad (4-1)$$

ნამდვილი ინდიკატორული დიაგრამის ფართობის განსაზღვრისათვის გამოყენებული უნდა იქნეს გეოდეზიური ხელსაწყო პლანიმეტრი.

ორმხრივი (ორმაგი) ქმედების ერთცილინდრიანი ორთქლის მანქანის ინდიკატორული სიმძლავრის გასაანგარიშებლად გარდა საშუალო ინდიკატორული წნევის p_i -ის განსაზღვრისა, საჭიროა აგრეთვე ცნობილი იყოს შემდეგი სიდიდეები: დღეუხის ანუ მუშა ცილინდრის შიგა დიამეტრი D სმ, დღეუხის სვლის სიდიდე S მ და მანქანის ლილვის ბრუნთა რიცხვი n ბრ/წთ.

თუ მუშა ცილინდრის ლილვის მხრიდან საშუალო ინდიკატორულ წნევას აღვნიშნავთ p_{12} კგ/სმ², ხოლო სახურავის მხრიდან კი p_{13} კგ/სმ², მაშინ ორმაგი ქმედების ერთცილინდრიანი მანქანის საშუალო ინდიკატორული წნევა განისაზღვრება, როგორც საშუალო არითმეტიკული.

$$p_i = \frac{b_i l + p_i \text{ საბ.}}{2} \text{ კგ/სმ}^2. \quad (4-2)$$

დგუშის საშუალო აქტიური (ეფექტური) ფართობი შეიძლება განისაზღვროს განტოლებით

$$F = k \frac{\pi \cdot D^2}{4} \text{ სმ}^2, \quad (4-3)$$

სადაც k კოეფიციენტი გათვალისწინებულია დგუშის ჰოკის არსებობა. k კოეფიციენტის მნიშვნელობა იღება $k = 0,97 - 0,98$.

დგუშის საშუალო სიჩქარე ისაზღვრება განტოლებით

$$c_{\text{საშ.}} = \frac{2 \cdot S \cdot n}{60} = \frac{S \cdot n}{30} \text{ მ/წმ}, \quad (4-4)$$

სადაც S მ არის დგუშის სვლა;

n ბრ/წთ — ბრუნთა რიცხვი.

ჩვეულებრივად დგუშის საშუალო სიჩქარე იღება $C_{\text{საშ.}} = 2,4$ მ/წმ, მაგრამ სწრაფ-მაველ ორთქლის მანქანებში — ორთქლმობრუნებში იგი 10 მ/წმ აღწევს. ორთქლის წაშურა მუშაობა ორმაგი ქმედების ცილინდრში იქნება

$$L_i = p_i \cdot F \cdot c_{\text{საშ.}} \text{ კგმ/წმ}, \quad (4-5)$$

ხოლო ორთქლის მანქანის ერთ ცილინდრში ინდიკატორული სიმძლავრე გაიანგარიშება ფორმულით

$$N_i = \frac{p_i \cdot F \cdot c_{\text{საშ.}}}{75} = \frac{p_i \cdot F \cdot S \cdot n}{75 \cdot 30} = \frac{p_i \cdot F \cdot S \cdot n}{2250} \text{ ც. ძ.} \quad (4-6)$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ (4-3) გამოსახულებას, მაშინ ორმაგი ქმედების ერთცილინდრიანი ორთქლის მანქანის ინდიკატორული სიმძლავრე გაიანგარიშება ფორმულით

$$N_i = \frac{p_i}{75} \cdot \frac{k \pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{S \cdot n}{30} \text{ ც. ძ.} \quad (4-7)$$

მრავალცილინდრიანი ორთქლის მანქანის ინდიკატორული სიმძლავრის გაანგარიშებისას მხედველობაში მიღებული უნდა იქნეს ცილინდრთა რიცხვი.

4-6. ორთქლის მანქანის მარგი ქმედების კოეფიციენტების მნიშვნელობათა ნათელი წარმოდგენისათვის, პირველ რიგში განვიხილოთ ორთქლძალურ დანადგარში სითბოს განაწილება სითბური ნაკადის გრაფიკის სახით.

ნაკ. 4-7-ზე ნაჩვენებია ორთქლძალური დანადგარის სითბური ნაკადის გრაფიკი, რომელზედაც ზოლების სახით წარმოდგენილია სითბოს შემოსავლისა და გასავლის საკრებები.

სითბური ნაკადის გრაფიკის განხილვისას უნდა ვივლით, რომ ორთქლძალური დანადგარი შედგება საქვაბე აგრეგატისა, ორთქლის მანქანისა, კონდენსატორისა და ტუმბოსაგან (რომელიც სქემაზე არაა ნაჩვენები). როგორც სითბური ნაკადის გრაფიკიდან ჩანს, საქვაბე აგრეგატი ღებულობს სითბოს $Q_{\text{საბ.}}$ სითბოს და კონდენსატის სითბოს $Q_{\text{დაბ.}}$, რომელიც ბრუნდება ქვაბში კონდენსატთან ერთად. თუ საქვაბე აგრეგატის მიერ მიღებულ სითბოთა ჯამს ($Q_{\text{საბ.}} + Q_{\text{დაბ.}}$) გამოვკლებთ თვით აგრეგატში სითბოს დანაკარგს $Q_{\text{დაკ.}}$, მივიღებთ იმ სითბოს სიდიდეს $Q_{\text{კვ.}}$, რომელიც ექნება ქვაბიდან გამოშვალ ორთქლს. ამ სითბოს მცირე ნაწილი $Q_{\text{მძლ.}}$ იკარგება ორთქლსაღებების მიერ ორ-

თქლის მანქანამდე გარემოში სითბოს გამოსხივებით, ხოლო სითბოს დანარჩენი ნაწილი $Q_{\text{ოთქ}}$ ორთქლთან ერთად მიეწოდება ორთქლის მანქანას.

ორთქლის მანქანის მუშა ცილინდრში ორთქლის სითბოს $Q_{\text{ოთქ}}$ რომელიც ნაწილი Q_1 გარდაიქმნება ინდიკატორულ მუშაობად და შემდეგ მექანიკური და ნაკარგების $Q_{\text{ნაკ}}$ გამოკლებით — Q_2 ეფექტიური მუშაობად, დანარჩენი იკარგება ორთქლის მანქანაში ნამუშევარ ორთქლთან ერთად ($Q_{\text{ნაჰე}}$) და გარე ($Q_{\text{გარე}}$) გაცივებაზე. კონდენსატორში ნამუშევარი ორთქლის სითბოს ($Q_{\text{ნაჰე}}$) მთავარი ნაწილი ($Q_{\text{წყ}}$) გადაეცემა გამაცივებელ წყალს, ხოლო მცირე ნაწილი $Q_{\text{ნაკ}}$ კონდენსატორთან ერთად შეიძლება დაუბრუნდეს ისევ საქებაზე აგრეთვე. სითბური ნაკადის გრაფიკის საშუალებით ადვილი წარმოსადგენია ორთქლის მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობანი.

ორთქლის მანქანის მარგი ქმედების კოეფიციენტებს ყოფენ ორ ჯგუფად: აბსოლუტური და ფარდობითი მ. ქ. ა-ად

შიგა აბსოლუტური ანუ აბსოლუტური მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით

$$\eta_i = \frac{Q_1}{Q_{\text{ოთქ}} - Q_{\text{დარ}}} \quad (4-8)$$

აბსოლუტური ეფექტური მ. ქ. განისაზღვრება ფორმულით

$$\eta_e = \frac{Q_2}{Q_{\text{ოთქ}} - Q_{\text{დარ}}} \quad (4-9)$$

აბსოლუტური მარგი ქმედების კოეფიციენტებთან ერთად გაანგარიშებათ: დროს საარგებლობენ ფარდობითი მ. ქ. კოეფიციენტებითაც.

შიგა ფარდობითი ანუ ფარდობითი ინდიკატორული მარგი ქმედების კოეფიციენტი გაიანგარიშება ფორმულით

$$\eta_{\text{შგ}} = \frac{Q_1}{Q_{\text{რენინის}}} \quad (4-10)$$

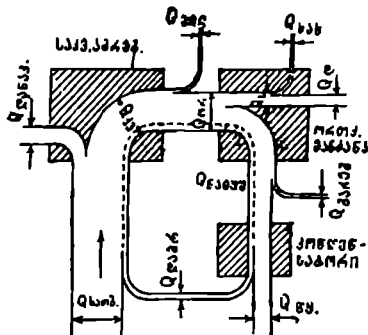
ფარდობითი ეფექტური მარგი ქმედების კოეფიციენტი გაიანგარიშება ფორმულით

$$\eta_{\text{შგ-ე}} = \frac{Q_2}{Q_{\text{რენინის}}} \quad (4-11)$$

სადაც $Q_{\text{რენინის}}$ არის რენინის იდეალურ ციკლში მუშაობად გარდაქმნილი სითბო. ორთქლის მანქანის ეფექტური სიმძლავრე N_e ნაკლებია ინდიკატორულ სიმძლავრეზე მექანიკურ დანაკარგებზე დაარჯული სიმძლავრით, რომელიც იხარჯება ხაუნზე და სხვ.

თუ ორთქლის მანქანის ეფექტურ სიმძლავრეს აღვნიშნავთ N_e -თი და ინდიკატორულ სიმძლავრეს N_i -ით, მაშინ მექანიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტი მნიშვნელობა გაიანგარიშება ფორმულით

$$\eta_{\text{შგ}} = \frac{N_e}{N_i} \quad (4-12)$$



ნაკ. 4-7. სითბური ნაკადის გრაფიკი.

მექანიკური მ. ქ. კ. მნიშვნელობა მთელ რივ ფაქტორებზე და მოკიდებული. ვერტიკალურ ორთქლის მანქანებში $\eta_{\text{მქ}}$. მნიშვნელობა 0,02-0,04-ით უფრო მეტია, ვიდრე ჰორიზონტალური მანქანებისა.

ცხრილ 4—1-ში მოცემულია მექანიკური მ. ქ. კ. საორიენტაციო მნიშვნელობანი ერთცილინდრიანი ნელი სვლის ორთქლის მანქანებისათვის.

ცხრილი 4—1

N_e ც. ძ	ვერტიკალური მანქანები		ჰორიზონტალური მანქანები	
	უკონდენსატორო	კონდენსატორიანი	უკონდენსატორო	კონდენსატორიანი
10	0,91	0,88	0,87	0,84
100	0,93	0,91	0,90	0,88

ორთქლის მანქანის ეფექტური აბსოლუტური მარგი ქმედების კოეფიციენტი აგრეთვე გაიანგარიშება ფორმულით

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_{\text{მქ}} \quad (4-13)$$

ფარდობითი ეფექტური მარგი ქმედების კოეფიციენტი აგრეთვე გაიანგარიშება ფორმულით

$$\eta_{\text{ფ.ე}} = \eta_{\text{ფ.ი}} \cdot \eta_{\text{მქ}} \quad (4-14)$$

თუ ორთქლის მანქანას მოძრაობაში მოყავს ელექტროგენერატორი, მაშინ $N_{\text{ელექტრული}}$ სიმძლავრე გაიანგარიშება განტოლებით

$$N_{\text{ელექტრ.}} = N_e \cdot \eta_{\text{გ.ა.}} \quad (4-15)$$

სადაც $\eta_{\text{ელექტრ. გენერატ.}}$ არის ელექტროგენერატორის მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

ელექტრული აბსოლუტური მარგი ქმედების კოეფიციენტი დანადგარისა გაიანგარიშება განტოლებით

$$\eta_{\text{ელექტრ.}} = \eta_e \cdot \eta_{\text{გ.ა.}} = \eta_i \cdot \eta_{\text{მქ}} \cdot \eta_{\text{გ.ა.}} \quad (4-16)$$

ელექტრული ფარდობითი მარგი ქმედების კოეფიციენტი კი გაიანგარიშება განტოლებით

$$\eta_{\text{ფ.ელექტრ.}} = \eta_{\text{ფ.ე}} \cdot \eta_{\text{გ.ა.}} = \eta_{\text{ფ.ი}} \cdot \eta_{\text{მქ}} \cdot \eta_{\text{გ.ა.}} \quad (4-17)$$

4—7. ორთქლის ხვედრითი და საათური ხარჯი

როდესაც ცნობალია ორთქლის მანქანის მარგი ქმედების კოეფიციენტები, მაშინ ადვილად განისაზღვრება ორთქლის ხვედრითი ხარჯი ერთ ცხენის ძალაზე საათში ან ერთ კილოვატზე საათში.

თუ ორთქლის მანქანა მუშაობს ორთქლის ართმევის გარეშე, მაშინ შეიძლება გამოვიყენოთ სითბოს ბალანსის განტოლება შემდეგი სახით

$$D \cdot h_0 \cdot \eta_{\text{გარდ.}} = 632 \cdot N ;$$

აქედან ორთქლის ხვედრითი ხარჯი

$$d = \frac{D}{N} = \frac{632}{h_0 \cdot \eta_{\text{გარდ.}}} \quad \text{კგ/ც. ძ. სთ,} \quad (4-18)$$

სადაც D კგ/სთ არის ორთქლის საათური ხარჯი მანქანის მთელ სიმძლავრეზე;

N ც. ძ.—ორთქლის მანქანის სიმძლავრე;

$$632 = \frac{75 \cdot 3600}{427} \text{ კკალ/ც. ძ. სთ — ერთი ცხენის ძალა საათის თერმული ეკვივალენტი;}$$

h_0 $\eta_{\text{გარგ.}}$ კკალ/კგ—სითბოს რაოდენობა, რომელიც გარდაიქმნება მუშაობად ერთი კილოგრამი ორთქლის ადიაბატურად გაფართოებისას ($h_0 = i_1 - i_2$).

ორთქლის მანქანის გამოცდისას ისახლება მანქანის სიმძლავრე N და ორთქლის საათური ხარჯი D ; სითბური ბალანსის განტოლების გამოყენებით გაიანგარიშება

$$\eta_{\text{გარგ.}} = \frac{632 \cdot N}{D \cdot h_0} = \frac{632}{d \cdot h_0} \quad (4-19)$$

იმის მიხედვით, თუ რომელ სიმძლავრეს უფარდებენ ორთქლის ხარჯს, ანსხვავებენ ორთქლის ხედრით ხარჯს, ინდიკატორული სიმძლავრის ერთ ცხენის ძალა საათზე და ეფექტური სიმძლავრის ერთ ცხენის ძალა საათზე.

მაშასადამე,

$$d_i = \frac{D}{N_i} = \frac{632}{h_0 \cdot \eta_{\text{გ. } i}} \text{ კგ/ინდ. ც. ძ. სთ} \quad (a)$$

და

$$d_e = \frac{D}{N_e} = \frac{632}{h_0 \cdot \eta_{\text{გ. } e}} \text{ კგ/ეფექტ. ც. ძ. სთ.} \quad (b)$$

თუ ორთქლის მანქანა მიერთებულია ელექტროგენერატორზე, მაშინ ორთქლის ხედრით ხარჯს საზღვრავენ ერთი კილოვატსაათის მიმართ და გასაანგარიშებელ ფორმულაში 632 ნაცვლად შეაქვთ ერთი კილოვატსაათის თერმული ეკვივალენტი 860. მაშასადამე,

$$d_{\text{ელ.}} = \frac{D}{N_{\text{ელ.}}} = \frac{860}{h_0 \cdot \eta_{\text{გ. } \text{ელ.}}} \text{ კგ/კვტ სთ.} \quad (c)$$

ორთქლის საათური ხარჯი, ცხადია, გაიანგარიშება ტოლობით

$$D = d_i \cdot N_i = d_e \cdot N_e = d_{\text{ელ.}} \cdot N_{\text{ელ.}} \text{ კგ/სთ.} \quad (4-20)$$

მოქმედ ორთქლის მანქანაში ორთქლის ხარჯი შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს მანქანის გამოცდის გზით. ორთქლის ხარჯი აგრეთვე მიახლოებით შეიძლება გაანგარიშებულ იქნეს მანქანის მუშა ცილინდრიდან გადაღებული ინდიკატორული დიაგრამის მიხედვით, ან კიდევ ცხრილით შერჩეული ფარდობითი ინდიკატორული $\eta_{\text{გ. } i}$ მარკი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობის მიხედვით. ორთქლის მანქანის დატვირთვის ცვლილებასთან ერთად იცვლება ორთქლის ხარჯიც.

აღსანიშნავია ორთქლის მანქანის დადებით მხარეთა შორის მისი გადატვირთვის შესაძლებლობა შეგვების ხარისხის გადიდებით. ორთქლის მანქანის ხანგრძლივი მაქსიმალური სიმძლავრე შეადგენს 1,25÷1,50 ეკონომიური (თერმულად ხელსაყრელი) სიმძლავრისაგან, ხოლო მაქსიმალური (ხანმოკლე სიმძლავრე) დაახლოებით 20—30 წუთის განმავლობაში აღწევს 1,35—1,70 ეკონომიური სიმძლავრისაგან.

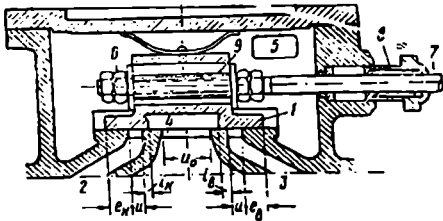
ორთქლგანაწილება ორთქლის მანქანებში

4-8. ორთქლგანაწილების მოწყობილობათა ტიპები

ორთქლის მანქანის მუშა ციკლის ფაზების განხორციელებისათვის, ე. ი. ცილინდრში უხმარი ორთქლის დროულად შეშვებისათვის და ნამუშევარი ორთქლის გამოშვებისათვის გამოიყენება ორთქლგანაწილების სხვადასხვა ტიპის ორგანოები.

ორთქლგანაწილების მექანიზმები შედგება: 1) შიგა დეტალებისაგან, რომლებიც შემოგარებულა არიან ორთქლით და უშუალოდ ახორციელებენ ორთქლგანაწილების ცალკეულ ფაზებს და 2) გარე ამბრავისაგან. ორთქლგანაწილების მექანიზმის შიგა დეტალებად ძირითადად გამოყენებულია ბრტყელი, ცილინდრული და დგუშოანი მკვეთარები, სარკველები და იშვიათად ოსკანები.

შედარებით მარტივს და ფართოდ გავრცელებულ ორთქლგანაწილების მექანიზმის ტიპს ორთქლის მანქანებში წარმოადგენს მკვეთარები.



ნაკ. 4-7. ბრტყელსახურავებიანი კოლოფა მკვეთარა.

ნაკ. 4-8-ზე ნაჩვენებია შუა მდებარეობაში მყოფი, ბრტყელსახურავებიანი კოლოფა მკვეთარას (1) ჭრილი. მკვეთარას კოლოფში საქვაბე აგრეგატიდან უხმარი ორთქლი მიეწოდება ფანჯრის (5) საშუალებით. ჭოკზე (7) მკვეთარა (1) მაგრდება ქანჩებით (6). ჭოკს მარჯვენა მხრიდან მიერთებული აქვს წვევა ექსცენტრიკიდან, რომელსაც მკვეთარა მოძრაობაში მოჰყავს. მკვეთარა ცოცავს სიბრტყეზე, რომელსაც მკვეთარას სარკე ეწოდება.

მკვეთარას არხები (2) და (3) მკვეთარის სარკის სიბრტყეს აერთებენ მანქანის ცილინდრის მუშა ღრუებთან.

შუა ფანჯარა (4) შეერთებულია გარემოს ატმოსფერულ ჰაერთან ან კონდენსატორთან. ამ ფანჯრის საშუალებით ხორციელდება მუშა ცილინდრიდან ნამუშევარი ორთქლის არინება. მკვეთარა (1) ჭოკზე დამაგრებულია განბრჯენ მილისასთან (9) ერთად. ჭოკის ვასწვრივ ორთქლის გაპარვის თავიდან აცილებისათვის გამოყენებულია ჩობალი (8) მკვეთარას (1) ეძლევა სწორხაზობრივი უ:უქცევით-გადატანითი მოძრაობა, რომლის დროსაც ის პერიოდულად ხურავს და აღებს უხმარი ორთქლის შემშვებ და ნამუშევარი ორთქლის გამოსაშვებ ფანჯრებს. მასთან არხები (2) და (3) პერიოდულად ახორციელებენ ორთქლის როგორც შეშვებას, ისე გამოშვებას.

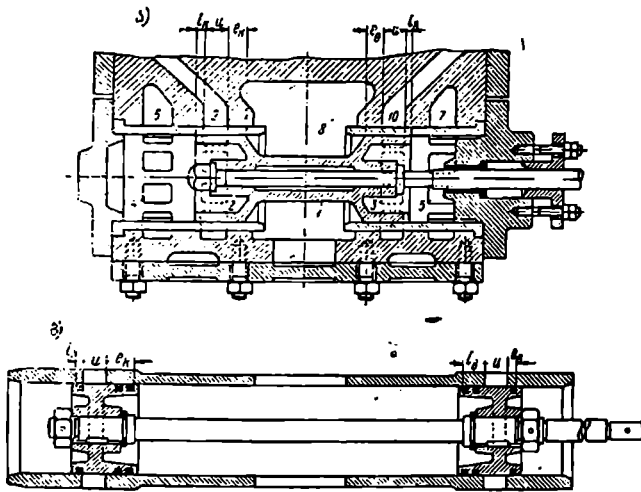
ნაკ. 4-8-ზე ნაჩვენებ ბრტყელსახურავებიანი კოლოფა მკვეთარას დადებით მხარეებთან ერთად, რაც გამოისახება მოწყობილობის სიმარტივეში, მანე სივრცის სიმცირეში და სხვა, ახასიათებს მეტად უარყოფითი მხარეები, როგორცაა: გაუწონასწორებლობა, მუშა ზედაპირების სწრაფი ცვეთა, თერმული დეფორმაციები და სხვ.

აღნიშნული უარყოფითი მხარეების შედეგად, ბრტყელი მკვეთარები გამოიყენება მხოლოდ ტენიანი ნაჯერი ორთქლით მომუშავე ორთქლის მანქანებისათვის.

ბრტყელ მკვეთარებთან შედარებით საკმაოდ ფართო გამოყენება მოიპოვა ცილინდრულმა მკვეთარებმა, ლოკომობილების, ორთქლმავლებისა და სტაციონარული ორთქლის მანქანებში. ცილინდრული მკვეთარას ჭრილი ნაჩვენებია ნაკ. 4-9ა-ზე.

ცილინდრული მკვეთარა შედარებით ადვილი დასამზადებელია და მაღალი წნევისა და გადახურებული ორთქლის გამოყენების საშუალებას იძლევა.

ნაკ. 4—9, ბ-ზე ნაჩვენებია დგუშიანი მკვეთარა, რომლის ძირითადი ელემენტები ჩვეულებრივად მეტად ახლოა ცილინდრული მკვეთარას კონსტრუქციასთან. დგუშიანი მკვე-



ნაკ. 4—9. ცილინდრული და დგუშიანი მკვეთარა.

თარა, ანალოგიურად ცილინდრული მკვეთარებისა, გამოიყენება ლოკომობილებისა, ორთქლმავლებისა და სტაციონარულ ორთქლის მანქანებში.

მუშა ცილინდრში უზმარი ორთქლის შეშვებისას წნევის შემცირების თავიდან ასაცილებლად ზოგჯერ იყენებენ მკვეთარას დამატებითი არხებით, რომელიც ნაჩვენებია ნაკ. 4—10-ზე.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, მკვეთარებით ორთქლგანაწილებას მთელი რიგი ნაკლოვანებები ახასიათებს; ამ ნაკლოვანებათა უმრავლესობისგანაა განთავისუფლებული სარქველებით ორთქლგანაწილება. ასეთ შემთხვევაში ორთქლგანაწილების მექანიზმი შედგება შემშვები და გამომშვები სარქველებისაგან, რითაც ბირობადებულია დანაკარგების შემცირება ბირეულადი კონდენსაციით მავნე სივრცის შემცირების გამო და მექანიკური მარ-



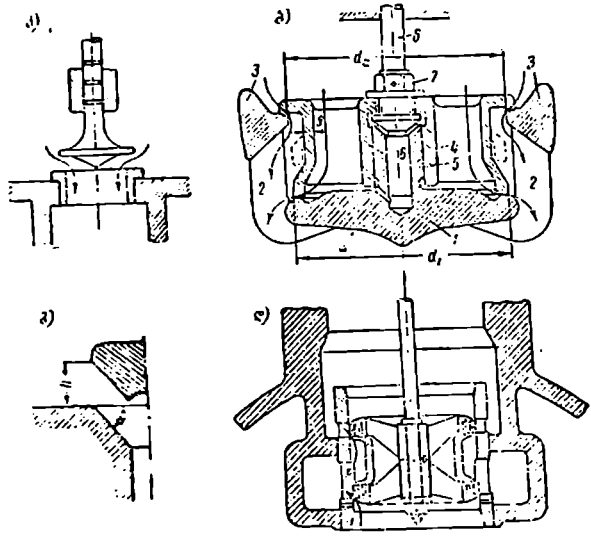
ნაკ. 4—10. მკვეთარა დანატებითი არხით

გი ქმედების კოეფიციენტის გადიდება მოხაზუნე ნაწილების კრაოდნობის შემცირების შედეგად და სხვ. სარქველებით ორთქლის განაწილება ფართო გამოყენებას პოულობს ორთქლის მანქანებში მაღალი პარამეტრების გადახურებული ორთქლის გამოყენებისას. ნაკ. 4—11-ზე ნაჩვენებია ორთქლგანაწილების სარქველების შესრულების სხვადასხვა ვარიანტი.

ერთ უნაგირიან სარქველს, რომელიც ნაკ. 4—11, ა-ზეა წარმოდგენილი, ამჟამად იშვიათად იყენებენ, რადგან საყრდენი უნაგირიდან მათი აწვევისათვის დიდი ძალაა საჭირო. უკანასკნელი კი იწვევის ორთქლგანაწილების მექანიზმის დამძიმებას. ორ უნაგირიანი სარქველი, რომელიც ნაჩვენებია ნაკ. 4—11, ბ-ზე, წარმოადგენს შედარებით სრულყოფილ ორთქლგანაწილების მექანიზმს. სარქველის ქვედა უნაგირი (1) წიბოებით (2) შეერთებულია ზედა უნაგირთან 3. უხმაური ორთქლის შეშვება ხდება ისრებით ნაჩვენები მიმართულებით, როდესაც n კოკთან მიერთებული ორთქლგანაწილების მექანიზმით სარქველი აიწვევა. მოძრაობის დროს უკეთესი მიმართვისათვის

კოკს ქვემოდან აქვს მიმართული კუდუნა (8), რომელიც შედის ქვედა უნაგირის სალტეში 5, რომელზედაც თავის მხრივ სარქველის ცენტრალური ნილისა 4 ხრიალვებს. კოკზე სარქველი მიჯრდება კილიბუროიანი ქანჩით 7. სარქველის ზედა უნაგირის დიამეტრი d_a აიღება მეტი, ვიდრე ქვედა უნაგირის დიამეტრი d_s , საერთოდ აიღება $d_a - d_s = 0,5 \pm 1$ მმ ტოლი.

სარქველში ორთქლის გავლისათვის შეშვების პროცესის დროს, გალების კვეთი განისაზღვრება სარქველის აწვევის k სიმაღლით და კონიური ზედაპირის α



ნაკ. 4—11. ორთქლგანაწილების სარქველები.

დახრილობის კუთხის გათვალისწინებით (ნაკ. 4—11, გ).

დღე უშიანი სარქველის კრილი ნაჩვენებია ნაკ. 4—11, დ-ზე, რომელსაც ჩვეულებრივი სარქველების წინაშე აქვს უპირატესობა უკეთეს გაწონასწორებულებაში და მეტ სიმჭიდროვეში.

სარქველებით ორთქლგანაწილებას გააჩნია ნაკლოვანებანი, როგორცაა სარქველების დაბრუნა და ამის გამო შეშვიდროებებში ორთქლის გაპარვა—გაღინება, ექსპლოატაციისა და მექანიზმის სირთულე მკვეთარებით ორთქლგანაწილებასთან შედარებით.

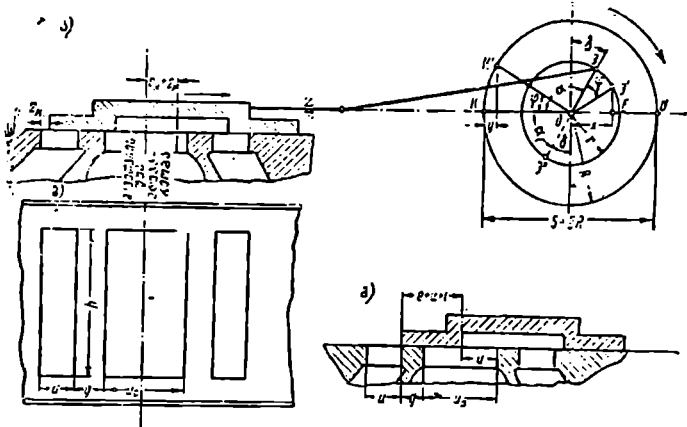
ონკანებით ორთქლგანაწილებას, რომელსაც წინათ ორთქლის მცირე წნევების დროს იყენებდნენ, ამჟამად შეიძლება ითქვას, რომ მეტად იშვიათად იყენებენ რემონტისა და მორგების სიძნელებისა და სხვა მთელი რიგი ექსპლოატაციურ ნაკლოვანებათა გამო.

4-9. მკვეთარა და მდგომარეობის და მოძრაობის დიაგნოზა

მკვეთარა გადახურვებით განსხვავდება მკვეთარისაგან გადახურვების გარეშე, იმით, რომ, როდესაც ის იმყოფება მის საშუალო მდგომარეობაში, არამცთუ ხურავს ორთქლის არხებს, არამედ გადასცილდება მათ თავისი დამატებითი თათების საშუალებით. ამ

დამატებით გარე და შიგა თათებს ეწოდებათ მკვეთარას გარე და შიგა გადახურვები. როდესაც დგუში იმყოფება მკედარ მდგომარეობაში, მკვეთარას არ შეუძლია იმყოფებოდეს თავის საშუალო მდგომარეობაში, არამედ ის გადაადგილებული უნდა იყოს თავის საშუალო მდგომარეობიდან გარკვეულ სიდიდით, რათა უხმარ ორთქლს შესასვლელ არხში შედინების საშუალება ჰქონდეს.

ვინაიდან მკვეთარას აქვს გარე და შიგა გადახურვები, მანქანის მუშა ცილინდრში ხორციელდება უხმარი ორთქლის გაფართოება და ნამუშევარი ორთქლის შეკუმშვა. მკვეთარას გადახურვების ϵ -სა და i -ს უთანაობის დროს მანქანის მუშა ცილინდრში განხორციელებული იქნებოდა მხოლოდ შეშებვისა და გამოშვების პროცესები, ე. ი. მან-



ნაქ. 4—12. ბრტყელი მკვეთარა დგუში მარცხენა მკედარი წერტილის შესაბამის მდებარეობაში და ნაპირა მარჯვენა მდებარეობაში.

ქანა იმუშაუებდა ასპროცენტინი გაკსებით, რითაც შეპირობებული იქნებოდა ორთქლის დიდი ხვედრითი ხარჯი.

ნაქ. 4—12, ა-ზე მარცხნივ ნაჩვენებია ბრტყელი მკვეთარა იმ მდებარეობაში, როდესაც დგუში იმყოფება მარცხენა მკედარ მდგომარეობაში და დაწყებულია უხმარი ორთქლის შედინება ცილინდრის მარცხენა სიღრუეში. მარჯვნივ ნაჩვენებია მანქანის R რადიუსიანი მრუდმხარასა და მკვეთარას r რადიუსიანი მრუდმხარას თანამთხვეული წრეხაზები.

როგორც ნაკვთზე ჩანს, უგულვებელყოფთ რა მკვეთარას წვეის სასრულ სიგრძეს, დგუშის მარცხენა მკედარ მდგომარეობაში მისვლისას მკვეთარა თავის საშუალო მდგომარეობიდან მარჯვნივ გადაადგილებულია ($\frac{1}{2}a_1 + \frac{1}{2}a_2$) სიდიდით, სადაც a_1 -ს ხაზობრივი შეშვების წინსწრება ეწოდება. მკვეთარას მრუდმხარა r ვერტიკალიდან საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით გადახრილი უნდა იყოს θ კუთხით, რომელსაც წინსწრების კუთხე ეწოდება.

ორთქლის გარე შეშვების დროს მკვეთარას მრუდმხარა r -სა და დგუშის მრუდმხარას R -ს შორის კუთხე უნდა იყოს $\alpha = (90^\circ + \theta)$.

თუ განვიხილავთ შემთხვევას, როდესაც დგუშის მრუდმხარა R შემობრუნდება φ კუთხით, მაშინ შესაბამისად იგივე კუთხით შემობრუნდება მკვეთარას მრუდმხარაც r .

ჩატელოთ რა ექსცენტრიკის წვეის სიგრძეს უსასრულო დიდ სიდიდედ, მაშინ მკვეთას გადაადგილება მისი საშუალო მდგომარეობიდან მარჯენისაკენ განისაზღვრება ჰორიზონტალურ დიამეტრზე მკვეთარას მრუდმხარას პროექციით, ე. ი.

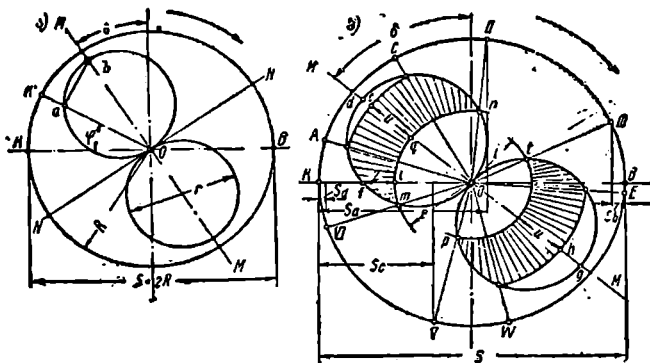
$$\begin{aligned}
 (x &= O\mathcal{B}' \cos \angle E O \mathcal{B}' E = r \cdot \cos [90^\circ - (\delta + \varphi)], \\
 x &= r \cdot \sin (\varphi + \delta).
 \end{aligned}
 \tag{4-21}$$

(4-21) ფორმულას უწოდებენ მკვეთარას მოძრაობის განტოლებას. ამ განტოლების საშუალებით, როდესაც ცნობილია მრუდმხარას მობრუნების კუთხე, შეიძლება განისაზღვრულ იქნეს მკვეთარას გადაადგილების სიდიდე მისი შუა მდგომარეობიდან.

მექანიკის კურსიდან ცნობილია, რომ მანქანის მუშა ცილინდრში დგუშის გადაადგილება მისი მკვდარი მდგომარეობიდან, ჩატელოთ რა ბარბაცას უსასრულო სიგრძისას, შეიძლება განისაზღვროს განტოლებით

$$y = R(1 - \cos \varphi). \tag{4-22}$$

მაშასადამე, თუ ცნობილი იქნება მანქანის მრუდმხარას შემობრუნებას კუთხე, (4-21) და (4-22) განტოლებებით შეიძლება განისაზღვროს მკვეთარასა და დგუშის შესაბამისი მდებარეობანი.



ნაკ. 4-13. ორთქლგანაწილების მკვეთარული დიაგრამა.

უმეტესად მკვეთარებით ორთქლგანაწილების მუშაობის ანალიზისათვის იყენებენ გ რ ა ფიკულ მეთოდს, ეგრეთ წოდებულ ორთქლგანაწილების მკვეთარულ დიაგრამას.

ნაკ. 4-13-ზე ნაჩვენებია ორთქლგანაწილების მკვეთარული დიაგრამა.

მივიღოთ, რომ KB სწორი ხაზის მონაკვეთი ნაკ. 4-13, ა-ზე რომელიღაც მასშტაბში გამოსახავს ორთქლის მანქანის დგუშის $S=2R$ სვლის სიდიდეს. შემოვწეროთ მასზე, როგორც დიამეტრზე, წრეხაზი, შეეული დიამეტრის მარცხნივ, ე. ი. საათის ისრის მოძრაობის მიმართულების საწინააღმდეგოდ, გადავზომოთ მ წინსწრების კუთხე და გავატაროთ MM სწორი ხაზი. ამ სწორ ხაზზე ავაგოთ ნებისმიერი, მაგრამ ერთნაირდიამეტრიანი ორი წრეხაზი ისე, რომ ისინი ერთიმეორეს O წერტილში ეხებოდნენ. მივიღებთ რა რაიმე მასშტაბით ამ წრეხაზების დიამეტრებს მკვეთარას მრუდმხარას r -ის ტოლს და ავი-

ლებთ რა პორიზონტალთან φ კუთხით მრუდმხარას OK' ნებისმიერ მდებარეობას, Cab საშუალებიდან მივიღებთ:

$$Oa = Ob \cos \angle MOK' = Ob \cos [90 - (\beta + \varphi)] = r \sin (\beta + \varphi). \quad (4-23)$$

უკანასკნელი განტოლების მარჯვენა ნაწილი გამოსახავს მკვეთარას გადაადგილების სი-
დიდეს მისი შუა მდებარეობიდან მარჯვნივსაკენ, როდესაც მანქანა მრუდმხარა შე-
მობრუნებულია რომელიღაც φ კუთხით, ე. ი. $Oa = x = r \sin (\beta + \varphi)$. (4-23) განტოლ-
ების ანალიზი საშუალებას იძლევა აღვნიშნოთ, რომ MM სწორ ხაზზე აგებული წრეხაზე-
ბის მეშვეობით, რომლებსაც მკვეთარას წრეები ეწოდებათ, გრაფიკულად გა-
ნისაზღვროს მკვეთარას გადაადგილების სიდიდე მის შუა მდებარეობიდან. შევნიშ-
ნავთ, რომ ზედა წრის მიერ ორთქლის მანქანის მრუდმხარას რადიუს R -ზე მოკვეთილი
ქორდის სიდიდეები, სათანადო მასშტაბით, მკვეთარას გადაადგილების სიდი-
დეებს იძლევიან მისი შუა მდებარეობიდან მარჯვნივსაკენ (ორთქლის გარე შე-
შეებისას). ხოლო მკვეთარას ქვედა წრე საშუალებას იძლევა განისაზღვროს მკვეთარას
გადაადგილების სიდიდე მარცხნივსაკენ.

მანქანის R მრუდმხარას თითას მიერ აღწერილ წრეხაზთან MM სწორი ხაზის
გადაკვეთის წერტილები იძლევიან მრუდმხარის მდებარეობებს, რომელთა დროსაც
შუა მდებარეობებიდან მკვეთარას გადაადგილებანი მაქსიმალურია, ე. ი. როგორც
მარჯვენა, ისე მარცხენა მხარეს r -ის ტოლია.

მკვეთარას წრეების მხები NN სწორი ხაზი მანქანის მრუდმხარას R რადიუსიან
წრეხაზთან გადაკვეთაში იძლევა მრუდმხარას მდებარეობებს, რომელთა დროს მკვეთარა
თავის შუა მდგომარეობაში იმყოფება.

ორთქლგანაწილების მკვეთარული დიაგრამის საშუალებით გრაფიკულად მოიძებნება
არამცთუ მკვეთარას გადაადგილება რომელიმე მხარეს, არამედ შესაძლოა განისაზღვროს
მანქანის მრუდმხარას გარკვეული მდებარეობისათვის შესაშვები ან ნამუშევარი ორთქ-
ლის გამოსაშვები არხის ვალების სიდიდეები.

თუ ცნობილია სიდიდეები c , u და i , როგორც ეს ნაჩვენებია ნაკ. 4-12, ბ.ზე, შე-
საძლოა გრაფიკულად განისაზღვროს შესაშვები და გამოსაშვები 'არხების ვალების სი-
დიდეები მრუდმხარას აღებულ მდგომარეობისათვის, თუ უგულვებელყოფილი იქნება ბარ-
ბაცას სასრულო სიგრძის ვულენა.

მაგალითად, როდესაც მანქანის მრუდმხარა R იკავებს OVI მდებარეობას, მაშინ
მკვეთარა თავის შუა მდებარეობიდან მარჯვნივსაკენ გადაადგილებულია e ვადახურ-
ვის სიდიდით, რაც შესაბამება სათანადო მასშტაბით Om ქორდის სიდიდეს. VI წერტი-
ლიდან d წერტილამდე შემობრუნების კუთხის საზღვრებში მკვეთარა განაგრძობს მოძრაო-
ბას მარჯვნივსაკენ და ადგილი აქვს შესაშვები არხის ფანჯრის თანდათან ვალებას. მრუდ-
მხარას Od მდებარეობისათვის მკვეთარა მარჯვენა მკვეთარ მდებარეობაში იმყოფება.
მრუდმხარას შემდგომი შემობრუნებისას მკვეთარა მარცხნივსაკენ იწყებს მოძრაობას, ე. ი.
ადგილი ექნება მარცხენა შემშვები არხის თანდათან დახურვას.

ანალოგიურად მკვეთარას ქვედა წრეხაზის მიერ მანქანის მრუდმხარას მდებარე-
ობის მიმართულებასზე მოკვეთილი ქორდები სათანადო მასშტაბით მოგვეყვან
როგორც მკვეთარას გადაადგილების, ისე გამოსაშვები არხების ვალების სიდი-
დეებს.

მაშასადამე, ზემოვანხილული ორთქლგანაწილების მკვეთარული დიაგრამები ორთქლ-
განაწილების ფაზების განსაზღვრის საშუალებას იძლევიან. თუ ავადგებთ ორთქლ-
განაწილების მკვეთარულ დიაგრამას, შესაძლებელია ამ დიაგრამის საშუალებით ავადგუ-
ოქნეს ინდიკატორული დიაგრამა.

**ორთქლის საწვინი კონდენსაცია და მასთან ბრძოლის
ლონისქიშხანი**

4-10. ორთქლის საწვინი კონდენსაციის წარმოქმნის მიზეზები

ნამდვილ ორთქლის მანქანებში ორთქლისა და სითბოს ხარჯის გადიდების მთავარ მიზეზს წარმოადგენს სითბოს კარგვები უხმარი ორთქლის მიერ სითბოს ნაწილის გადაცემით ცილინდრის კედლებზე და ნამუშევარ ორთქლზე, ე. ი. კარგვები ორთქლის პირველადი კონდენსაციით ცილინდრში მისი შესვლის დროს.

ორთქლის პირველად კონდენსაციას ადგილი აქვს ცილინდრში შესვლისას უხმარი ორთქლის ცივ კედლებთან შეხების გამო.

ცილინდრის კედლებს გამოშვების ბოლოს აქვთ ნამუშევარი ორთქლის ტემპერატურა, ე. ი. გაცილებით ნაკლები, ვიდრე უხმარი ორთქლის ტემპერატურაა, ამის გამო ადგილი აქვს უხმარი ორთქლის ნაწილის კონდენსაციას.

უხმარი ორთქლის პირველად კონდენსაციაზე აგრეთვე მოქმედებს ცილინდრში დარჩენილ ნამუშევარ ორთქლთან მისი შერევა, რომელსაც აქვს გაცილებით ნაკლები ტემპერატურა, მიუხედავად მისი შეკუმშვისა. ამგვარად, უხმარი ორთქლის ნაწილი კონდენსირდება და გარვრდება ცილინდრის უდაბლეს შივა ზედაპირზე და არ აწარმოებს არაფეთარ მუშაობას.

პირველადი კონდენსაციით გამოწვეული ორთქლის დანაკარგი გამოსახულია კვ/ც.დ. სთ, შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$d_3 = a \cdot \frac{B}{\sqrt{c_{\text{სფ.}}}}$$

სადაც $c_{\text{სფ.}}$ მ/წმ არის დღუშის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე;

a —კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია S დღუშის სვლის სიდიდისა და დღუშის დიამეტრის D ფარდობაზე;

B —კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ორთქლის მანქანის ტიპზე.

ცდების მონაცემებით a კოეფიციენტს აქვს შემდეგი მნიშვნელობები:

$\frac{S}{D}$	= 1,25	1,5	2,0	2,5
a	= 0,87	0,91	1,0	1,08.

B კოეფიციენტის მნიშვნელობები, როდესაც ორთქლის მანქანები მუშაობენ ტენიანი ნაჯერი ორთქლით, იღება ტოლი:

- უკონდენსატორო ერთცილინდრიანი ორთქლის მანქანებისათვის $B = 6,0 - 6,5$.
 - კონდენსატორიანი ერთცილინდრიანი ორთქლის მანქანებისათვის $B = 5,0 - 5,5$.
 - უკონდენსატორო ორჯერადი გაფართოებით მომუშავე მანქანებისათვის $B = 4,0 - 4,2$,
 - კონდენსატორიანი ორჯერადი გაფართოებით მომუშავე მანქანებისათვის $B = 3,5 - 4,0$.
- თუ ორთქლის მანქანაში მუშა სხეულად გამოყენებული იქნება გადახურებული ორთქლი, ცხილია B კოეფიციენტის მნიშვნელობა იქნება შემცირებული გადახურების ხარისხზე დამოკიდებულებით. მაგალითად, თუ ორთქლი გადახურებულია $80 - 120$ °C, B კოეფიციენტის მნიშვნელობა იღება 0,1-ის ტოლი. თუ გადახურების სიდიდეა $120 - 160$ °C, მაშინ B კოეფიციენტის მნიშვნელობას იღებენ 0,05-ის ტოლს.

ორთქლის დანაკარგი პირველად კონდენსაციაზე და, აგრეთვე, სხვა დანაკარგები; რომლებიც გამოწვეულია თეორიულიდან ნამდვილი პროცესების გადახრით, შესამჩნევად აღიღებენ ორთქლის ხვედრით ხარჯს სიმძლავრის ერთეულზე და ამცირებენ ორთქლის მანქანის ეკონომიურობას.

4-11: ორთქლის პირველადი კონდენსაციის საჭინააღმდგომი ღონისძიებანი

ორთქლის პირველადი კონდენსაციის შესამცირებლად და მანქანის ეკონომიურობის გასაღიღებლად იყენებენ სხვადასხვა საშუალებას. ასეთ საშუალებებს მიეკუთვნება: მავნე სივრცის შემცირება, ცილინდრებისათვის ორთქლის პერანგების გამოყენება, ორთქლის მრავალჯერადი გაფართოება, ორთქლის პირდაპირი დინების პრინციპის გამოყენება, გადახურებული ორთქლის გამოყენება და სხვ.

მა ვ ე ს ი ვ რ ც ი ს სილიდენ მოქმედებს ორთქლის დანაკარგზე პირველადი კონდენსაციის გამო. როგორც აღნიშნული იყო, როდესაც დღეში მდებარეობს მკედარ წერტილში, ცილინდრის სახურავსა და დღეულის ძროს შორის რჩება ე. წ. მავნე სივრცე V_1 , რომელიც გამოშვების პროცესის ბოლოს რჩება სავე ნამუშევარი ორთქლით, უკანასკნელი კი აცივებს მავნე სივრცის კედლებს.

უხმარი ორთქლი შეეხება რა შედარებით დაბალი ტემპერატურის მქონე კედლებს, მისი ნაწილი კონდენსირდება და ამით დიდდება ორთქლის ხარჯი. აღნიშნულის გარდა, უხმარი ორთქლი, შეერება რა მავნე სივრცეში მოთავსებულ შეკუმშულ ნამუშევარ ორთქლს, განიცდის პირველად კონდენსაციას.

მაშასადამე, რაც უფრო მეტია მავნე სივრცის მოცულობა, და რაც უფრო მეტია მავნე სივრცეში დარჩენილი ნამუშევარი ორთქლის რაოდენობა, მით მეტია ორთქლის დანაკარგი პირველადი კონდენსაციის გამო.

ამიტომ ორთქლის მანქანების კონსტრუირების დროს ცდილობენ შეამცირონ მავნე სივრცის მოცულობა. მავნე სივრცის მოცულობა V_1 დამოკიდებულია ორთქლგანაწილების სისტემაზე და მის მნიშვნელობას იღებენ $\%$ -ით ცილინდრის მუშა მოცულობიდან V_H . მავნე სივრცის მნიშვნელობა $\%$ -ით ცილინდრის მუშა მოცულობიდან სხვადასხვა ტიპის ორთქლის მანქანებისათვის მოცემულია 4-2 ცხრილში.

ცხრილი 4-2

ორთქლის მანქანის ტიპები	მავნე მოცულ. მნიშვნელობა $\%$ -ით მუშა მოცულობიდან V_H
პირდაპირი დინების მანქანები	2-3
ონკანებით ორთქლგანაწილება	3-5
სარქველებით ორთქლგანაწილება .	5-7
ბრტყელი მკვეთარებით ორთქლგანაწილება . .	8-10
ცილინდრული მკვეთარებით ორთქლგანაწილება .	10-14

სა ო რ თ ქ ლ ე პ ე რ ა ნ გ ე ბ ი ორთქლის მანქანის მუშა ცილინდრებს უკეთდება პირველადი კონდენსაციის შემცირებისა და, როგორც შედეგი, ორთქლის ხვედრითი ხარჯის შემცირების მიზნით. ორთქლის მანქანებს საორთქლე პერანგებით, აქეთ მუშა ცილინდრები და ცილინდრის სახურავები ორმაგი კედლებისაგან დამზადებული, რომელშიაც გაატარებენ უხმარი ორთქლს, რის შედეგად იზრდება ცილინდრის კედლების და სახურავების ტემპერატურა და მცირდება პირველადი კონდენსაცია. აღნიშნულის გარდა, საორთქლე პერანგები ხელს უწყობენ ცილინდრში ორთქლის კონდენსატის წვეთების

აორთქლებას, სანამ დღეში მივიდოდეს თავის მკვდარ წერტილში. აორთქლებული კონდენსატი მონაწილეობას ღებულობს გაფართოების მუშაობის შესრულებაში.

შეენიშნავთ, რომ საორთქლე პერანგების არსებობა გამართლებულია მაშინ, როდესაც ორთქლის მანქანა არის ნელი სელის და უზმარ ორთქლს უხდება დიდი ხნის განმავლობაში ცილინდრის კედლებთან შეხებაში ყოფნა.

სწრაფი სვლის ორთქლის მანქანებში, როგორც ეს პრაქტიკამ გვიჩვენა, საორთქლე პერანგების არსებობა უზნიშვნელოდ მოქმედებს ორთქლის ხვედრით ხარჯზე. განსაკუთრებით გაუმართლებელია საორთქლე პერანგების არსებობა, როდესაც გამოყენებულია ორთქლის მრავალჯერადი გაფართოების პრინციპი და გადახურებული ორთქლი.

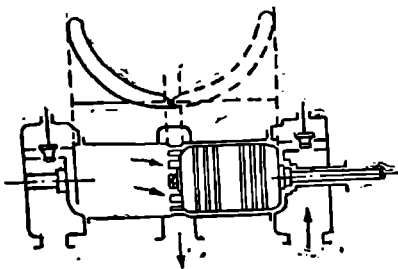
ამგამად ორთქლის მანქანებში საერთოდ საორთქლე პერანგი უკეთდება მხოლოდ ცილინდრის სახურავებს, ცილინდრის კედლები კი მზადდება პერანგების გარეშე.

ორთქლის მრავალჯერადი გაფართოების პრინციპის გამოყენება მანქანებში არის სხვა ღონისძიებებთან შორის ქმედითი საშუალება პირველადი კონდენსაციის შემცირებისათვის.

მრავალჯერადი გაფართოების პრინციპი გამოისახება იმაში, რომ ორთქლის გაფართოება საწყისი წნევიდან საბოლოო წნევამდე არ ხდება ერთ მუშა ცილინდრში, არამედ ხორციელდება თანდათან ორ, სამ და იშვიათად ოთხ ცილინდრში. მასთან ორთქლი თანამიმდევრობით პირველი ცილინდრიდან გადაის მორევი, შემდგომ მესამეში და ასე შემდეგ, ამის შედეგად ყოველი ცილინდრის კედლისა და ნამუშევარი ორთქლის ტემპერატურა შედარებით მცირედ განსხვავდება მასში შემავალი ორთქლის ტემპერატურისაგან, რაც ხელს უწყობს პირველადი კონდენსაციის შემცირებას.

ცდება გვიჩვენა, რომ თუ ერთცილინდრიან ერთჯერადი გაფართოების მანქანაში პირველადი კონდენსაციით დანაკარგს მივიღებთ 1,0 ტოლად, მაშინ ორჯერადი გაფართოების მანქანებში ეს დანაკარგი შეადგენს 0,8, ხოლო სამჯერადი გაფართოების მანქანებში მიიღება დაახლოებით 0,65. საერთოდ უფრო ფართო გამოყენება მოიპოვა ორჯერადი გაფართოებით ნამუშევარ ორთქლის მანქანებში.

პირდაპირი დინების ორთქლის მანქანებს გააჩნიათ რიგი დადებითი მხარეებისა, რომელთა შორის პირველ რიგში უნდა აღინიშნოს პირველადი კონდენსაციის შესამჩნევი შემცირება.



ნაკ. 4-14. პირდაპირი დინების ორთქლის მანქანის სქემა.

როგორც ნაკ. 4-14-ზე ჩანს, პირდაპირი დინების ორთქლის მანქანის მუშა ცილინდრიდან ნამუშევარი ორთქლის არინება ხორციელდება ცილინდრის კედლების ცენტრში გაადგილებული გასაშვები ფანჯრების საშუალებით; რის შედეგად ცილინდრის სახურავები და უზმარი ორთქლის შემგვები სარკველები არ განიცდიან ინტენსიურ გავრილებას ნამუშევარი ორთქლის შეხების გამო.

მანქანის მუშა ცილინდრში შევების დროს ორთქლი ხვდება ცხელ

კედლებს, ხოლო ცილინდრის, შუა ადგილი, ე. ი. მისი უფრო ცივი ნაწილი, სადაც გაადგილებულია გამოსავები ფანჯრები, შემოგარებულია მხოლოდ ნამუშევარი ორთქლით. პირდაპირი დინების მანქანებში ძლიერ შემცირებულია პენე სივრცის მოცულობა. პირდაპირი დინების მანქანები გამოირჩევიან მალაი ეკონომიურობით. მათ ნაკლოვანებად რიცხვს ეკუთვნის, მანქანის მუშა ცილინდრის დიდი სივრცე, ნამუშევარი ორთქლის გამოშვებ-

ბის პერიოდის სიმცირე, შეკუმშვის პროცესის ნაადრევად დაწყება, შეკუმშვის წნევის მნიშვნელოვანი სიდიდე და ამის შედეგად ნამუშევარი ორთქლის შეკუმშვაზე გადიდებული დანაკარგი. ამასთან ერთად, ცილინდრის ორივე ღრუში მუშაობის თანასწორობის რეგულირების სიძნელე.

გადახურებული ორთქლის გამოყენება ორთქლის მანქანებში წარმოადგენს მეტად ეფექტურ ღონისძიებას ორთქლის პირველად კონდენსაციასთან საბრძოლველად და მანქანის მუშაობის ეკონომიურობის გასაძლიერებლად. გადახურებული ორთქლის ტემპერატურა შედარებით ტენიან ნაჯერი ორთქლის ტემპერატურასთან გაცილებით დიდია და იძლევა შედარებით მცირე დანაკარგებს პირველად კონდენსაციაზე. საერთოდ შალა-წნევისა და შალალი გადახურების ტემპერატურის ორთქლის გამოყენება ორთქლის ძრავებში აპირობებს ძრავების მუშაობის ეკონომიურობას და სათბობის ეკონომიის საშუალებას იძლევა.

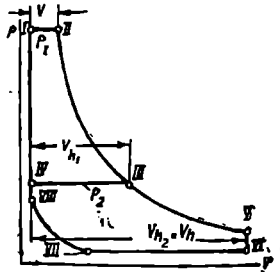
ამეამდ ორთქლის მანქანებში უკვე პოულობს გამოყენებას ორთქლი წნევით $p=100 \dots 130$ ატ და უფრო მეტი. ორთქლის გადახურების ტემპერატურა უკვე გამოიყენება $400 \dots 550$ °C.

მრავალჯერადი გაზართობის მანქანები

4-12. ორთქლის მრავალჯერადი გაზართობის მუშა პროცესი და სიმძლავრის განაწილება ცილინდრებს შორის

როგორც წინათ თეში იყო აღნიშნული, ორთქლის მრავალჯერადი გაფართოების პრინციპი გამოისახება იმაში, რომ ორ-და უფრო მეტ ცილინდრიან ორთქლის მანქანაში მუშა პროცესი იყოფა გაფართოების ორ- და მეტ საფეხურებად. ორჯერადი გაფართოების ორთქლის მანქანის თეორიული ინდიკატორული დიაგრამა ნაჩვენებია ნაკ. 4-15-ზე. როგორც დიაგრამიდან ჩანს, თეორიული ინდიკატორული დიაგრამა გაყოფილია ორ ნაწილად. დიაგრამის ზედა ნაწილი I-II-III-IV მიეკუთვნება შალალი წნევის ცილინდრს, ხოლო დიაგრამის ქვედა ნაწილი IV-III-V-VI-VII-VIII-IV მიეკუთვნება დაბალი წნევის ცილინდრს.

შალალი წნევის ცილინდრის V_{h_1} მოცულობასთან შედარებით დაბალი წნევის ცილინდრის მოცულობა V_{h_2} გაცილებით დიდია და დაახლოებით იღება $V_{h_2} = (2 \div 3,5) \cdot V_{h_1}$. შევნიშნავთ, რომ ორჯერადი გაფართოების მანქანის შალალი და დაბალი წნევის ცილინდრებში ორთქლის მიერ შესრულებული მუშაობა შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს როგორც ორთქლის მიერ შესრულებული მუშაობა ერთჯერადი (მარტივი) გაფართოების მანქანის მუშა ცილინდრში, რომლის მუშა მოცულობა V_h ტოლი იქნება დაბალი წნევის ცილინდრის V_{h_2} მოცულობისა. ამ შემთხვევაში ორთქლის საწყისი წნევა უნდა იყოს p_1 , ე. ი. შალალი წნევის ცილინდრში შემავალი ორთქლის წნევის ტოლი, ხოლო ნამუშევარი ორთქლის წნევა კი დაბალი წნევის ცილინდრიდან გამოშვებული ნამუშევარი ორთქლის წნევის ტოლი.



ნაკ. 4-15. ორჯერადი გაფართოების ორთქლის მანქანაში ორთქლის მუშაობის პროცესის თეორიული ინდიკატორული დიაგრამა.

მოთხება, რომ შემცირებულია პირველი კონდენსაცია, არამედ იმაშია, რომ მაღალ-წნევიანი ორთქლის ხელსაყრელი გამოყენების საშუალებას იძლევა.

მაღალი წნევის ცილინდრის შეესების ხარისხი ისაზღვრება ფორმულით

$$a_1 = \frac{V}{V_{h_1}},$$

ხოლო დაბალი წნევის ცილინდრის შეესების ხარისხი

$$a_2 = \frac{V_{h_1}}{V_{h_2}}$$

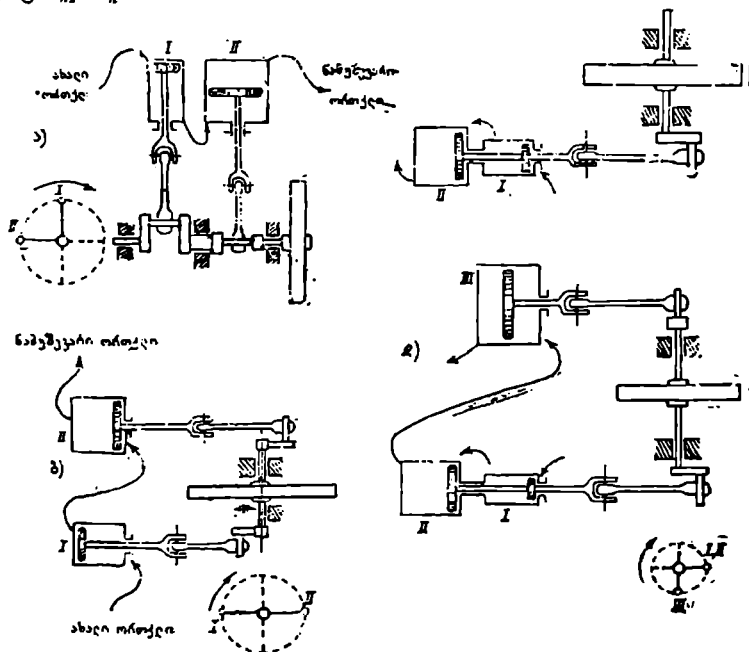
საერთო შეესების ხარისხი, რომელსაც აგრეთვე დაბალი წნევის ცილინდრზე დაყვანილს უწოდებენ, ისაზღვრება ტოლობით

$$a = \frac{V}{V_{h_2}} = \frac{V}{V_{h_1}} \cdot \frac{V_{h_1}}{V_{h_2}} = a_1 \cdot a_2.$$

ანალოგიურად გაიანგარიშება შეესების ხარისხი ერთჯერადი გაფართოების ეკვივალენტურ მანქანაში

$$a = \frac{V}{V_h} = \frac{V}{V_{h_2}}$$

როდესაც $V_{h_2} = V_h$.



ნაკ. 4—16. ორჯერადი და სამჯერადი გაფართოების ორთქლის მანქანების სქემები.

მრავალჯერადი გაფართოების მანქანის უპირატესობას წარმოადგენს აგრეთვე უკეთესი დინამიკური გაწონასწორების შესაძლებლობა და მარტივი გაფართოების ერთცი-

ლინდრიან მანქანებთან შედარებით ბრუნვის მეტი თანაბარზომიერება. ორჯერადი და სამჯერადი გაფართოების მანქანების უმარტივესი სქემები წარმოდგენილია ნაკ. 4—16-ზე.

ა) ორჯერადი გაფართოების ვერტიკალური ორთქლის მანქანა—ტანდემი;

ბ) ორჯერადი გაფართოების ჰორიზონტალური ორთქლის მანქანა—ტანდემი;

ბ) ორჯერადი გაფართოების ჰორიზონტალური ორთქლის მანქანა ტანდემი, როდესაც ორივე ცილინდრი ერთ გეომეტრიულ ლერძზეა და ლილვს ერთი მრუდმხარა აქვს;

დ) სამჯერადი გაფართოების ჰორიზონტალური ორთქლის მანქანა—ტანდემი-კომპაუნდი.

შედარებით ფართო გავრცელება მოიპოვა ორჯერადი გაფართოების ორთქლის მანქანებმა.

ორჯერადი გაფართოების ორთქლის მანქანების დაპროექტების დროს ჩვეულებრივად ცდილობენ განახორციელონ სიმძლავრეთა ტოლობა მაღალი და დაბალი წნევის ცილინდრებში, რაც დაკავშირებულია მთელ რიგ დაბრკოლებებთან.

თუ მაღალი წნევის ცილინდრის საშუალო ინდიკატორულ წნევას აღვნიშნავთ p_i' კგ/სმ² და დაბალი წნევის ცილინდრის საშუალო ინდიკატორულ წნევას p_i'' კგ/სმ²-ით, მაშინ ორივე ცილინდრში მიღებული მანქანის საერთო ინდიკატორული სიმძლავრე

$$N_i = N_i' + N_i'', \quad (4-24)$$

სადაც N_i' ც. ძ. არის მაღალი წნევის ცილინდრში განვითარებული ინდიკატორული სიმძლავრე;

N_i'' ც. ძ.—დაბალი წნევის ცილინდრში განვითარებული ინდიკატორული სიმძლავრე.

თუ ორჯერადი გაფართოების ორთქლის მანქანის თეორიული ინდიკატორული დიაგრამის ნაცულად განვიხილავთ ნამდვილ ინდიკატორულ დიაგრამას, დავინახავთ რომ ნამდვილი ინდიკატორული დიაგრამის ფართობი განსაზღვრული სიდიდით ნაკლები იქნება თეორიული ინდიკატორული დიაგრამის ფართობზე.

ადვილი წარმოსადგენია, რომ ორჯერადი გაფართოების მანქანის ინდიკატორული დიაგრამის ფართობი უნდა შედგებოდეს ორი ნაწილისაგან—მაღალი წნევის ცილინდრისა და დაბალი წნევის ცილინდრის დიაგრამებისაგან.

მაღალი წნევისა და დაბალი წნევის ცილინდრებს ინდიკატორული დიაგრამები შეიძლება დაუყვანილ იქნენ წვეფათა და მოუქლობათა ერთნაირ მსხრტაბებზე, რის შემდეგ ორივე დიაგრამა გამოისახება ერთად საერთო კოორდინატთა ლერძებში. ასეთ განზოგადებულ დიაგრამას რენკინიზებული ეწოდება.

რენკინიზირების ხერხი საშუალებას იძლევა, კერძოდ, ორივე ცილინდრის მუშაობის შეჯამებისა ერთ ცილინდრში, რომელიც მოუქლობის მიხედვით აღებული მანქანის დაბალი წნევის ცილინდრის ტოლია.

ზემომოყვანილი მსჯელობის შესაბამისად, თუ p_i კგ/სმ²-ით აღვნიშნავთ მანქანის ორივე—მაღალი და დაბალი ცილინდრების საერთო საშუალო ინდიკატორულ წნევას, მაშინ ინდიკატორული სიმძლავრის ფორმულა (4—24) შეიძლება გამოისახოს

$$p_i V_h = p_i' V_{h_1} + p_i'' V_{h_2} \quad (4-25)$$

უქანასკნელ განტოლებას ზემომოყვანილ დაშვებათა საფუძველზე ($V_h = V_{h_2}$) შეიძლება მიეცეს სახე:

$$p_i = p_i' \frac{V_{h_1}}{V_h} + p_i'', \quad (4-26)$$

სადაც p_i კგ/სმ² არის საერთო ანუ დაბალი წნევის ცილინდრზე დაყვანილი საშუალო ინდიკატორული წნევა. თუ სიმოკლისათვის შემოვიღებთ აღნიშვნას $q = \frac{V_{h_1}}{V_{h_1}}$, შემოდება ფორმულა (4-26) წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით

$$p_i = \frac{p_i'}{q} + p_i'' \quad (4-27)$$

უკანასკნელი ფორმულა ყოველი ცილინდრის p_i' და p_i'' საშუალო ინდიკატორული წნევებიდან p_i დაყვანილ საშუალო ინდიკატორულ წნევაზე გადასვლის საშუალებას იძლევა. p_i დაყვანილი საშუალო ინდიკატორული წნევის განსაზღვრა უშუალოდ რენკინიზებული დიაგრამიდანაც შეიძლება, თუ ორივე დიაგრამის შეჯამებით ფართობს გავყოფთ დაბალი წნევის ცილინდრის დიაგრამის სიგრძესა და წნევათა მასშტაბზე.

ფორმულა (4-27) საშუალებას გვაძლევს ორივე ცილინდრში მუშაობათა ტოლობის პირობა დაიყვანოთ სახეზე:

$$\frac{p_i'}{q} = p_i'' \quad \text{ანუ} \quad \frac{p_i'}{p_i''} = q,$$

ე. ი. საშუალო ინდიკატორული წნევები ცილინდრების მუშა მოცულობების უკუპროპორციულია. შრავალჯერადი გაფართოების ორთქლის მანქანის ინდიკატორული სიმძლავრე შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$N_i = \frac{p_i \cdot F \cdot \text{ავა.}}{75} = \frac{p_i \cdot F \cdot S \cdot \pi}{75 \cdot 30} = \frac{p_i \cdot V_h \cdot \pi}{2250} \text{ ც. დ.}, \quad (4-28)$$

სადაც p_i კგ/სმ² არის დაბალი წნევის ცილინდრზე დაყვანილი საშუალო ინდიკატორული წნევა;

$V_h = V_{h_2}$ — დაბალი წნევის ცილინდრის მოცულობა;

π ბრ/წთ — მანქანის ლილვის ბრუნთა რიცხვი წუთში.

შრავალჯერადი გაფართოების ორთქლის მანქანის ეფექტური სიმძლავრე, ანალოგიურად ერთჯერადი გაფართოების მანქანისა, განისაზღვრება ფორმულით

$$N_e = \eta_{\text{ეფ.}} \cdot N_i,$$

სადაც $\eta_{\text{ეფ.}}$ არის მანქანის მექანიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

შრავალჯერადი გაფართოების ორთქლის მანქანების ძირითად ნაკლოვანებად ჩაითვლება დიდი ღირებულება, კონსტრუქციისა და ექსპლოატაციის სირთულე.

4-13. მართკმარადი და შრავალჯერადი გაფართოების ორთქლის მანქანების ცილინდრების ძირითადი ზომების განსაზღვრა

ერთჯერადი (მარტივი) გაფართოების მანქანის ცილინდრის ძირითადი ზომების განსაზღვრისათვის შესწორებული ინდიკატორული დიაგრამიდან უნდა განესაზღვროთ p_i საშუალო ინდიკატორული წნევის სიდიდე. შევარჩევთ აღებული კონსტრუქციის მანქანისათვის მექანიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტის $\eta_{\text{ეფ.}}$ მნიშვნელობას და მოცემული N_e ეფექტური სიმძლავრის მიხედვით გამოვთვლით ინდიკატორულ სიმძლავრეს

$$N_i = \frac{N_e}{\eta_{\text{ეფ.}}}$$

როგორც ცნობილია, მანქანის ინდიკატორული სიმძლავრე გაიანგარიშება შემდეგი ფორმულით

$$N_1 = \frac{1}{75} p_1 F \text{ ც.ს.ა. ც. დ. ,}$$

სადაც $F = k \frac{\pi D^2}{4}$ სმ² არის დგუშის ფართობი;

p_1 კგ/სმ² — საშუალო ინდიკატორული წნევა;

ც.ს.ა. მ/წმ — დგუშის საშუალო სიჩქარე.

მაშასადამე,

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{k \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 75 \cdot N_1}{k \pi \cdot p_1 \cdot \text{ც.ს.ა.}}} \text{ სმ.} \quad (4-29)$$

დგუშის საშუალო სიჩქარის განსაზღვრისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ფორმულა

$$\text{ც.ს.ა.} = 0,11 (10 + \sqrt{N_1}) \text{ მ/წმ.} \quad (a)$$

დგუშის საშუალო სიჩქარე შეიძლება განისაზღვროს აგრეთვე ფორმულით

$$\text{ც.ს.ა.} = \frac{S \cdot n}{30} \text{ მ/წმ,} \quad (b)$$

საიდანაც დგუშის სელის სიდიდე

$$s = \frac{30 \cdot \text{ც.ს.ა.}}{n} \text{ მ,}$$

სადაც n ბრ/წთ არის პირობით მოცემული ბრუნთა რიცხვი.

ამის შემდეგ ვსაზღვრავთ თანაფარდობას

$$\mu = \frac{S \cdot}{D}. \quad (c)$$

ორჯერადი გაფართოების მანქანის მთავარი ზომების განსაზღვრა ხდება ორი ხერხით. პირველი ხერხით განსაზღვრისას დგუშის დიამეტრი D და მისი სელის სიდიდე S შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს ორივე ცილინდრისათვის ცალ-ცალკე როგორც მარტივი გაფართოების მანქანისათვის, ავიღებთ რა თითოეულისათვის თავის p_1 -ის და საერთო N_1 სიმძლავრიდან პროპორციულ ნაწილს, ორივე ცილინდრისათვის დგუშის საერთო სელისა და დგუშის ც.ს.ა. საშუალო სიჩქარის დროს. მაგრამ უმჯობესია გაანგარიშების მეორე ხერხი, სახელდობრ; დაბალი წნევის ცილინდრის ზომებს გაიანგარიშებენ N_1 საერთო სიმძლავრისა და დაბალი წნევის ცილინდრზე დაყვანილი საშუალო p_1 ინდიკატორული წნევის მიხედვით, გამოიყენებენ რა მარტივი გაფართოების მანქანისათვის გამოყვანილ ფორმულებს. ფარდობას

$\mu = \frac{S}{D}$ იღებენ სათანადო ცხრილებიდან. დაბალი წნევის ცილინდრის დიამეტრის გაანგარიშების შემდეგ საზღვრავენ დგუშის S საერთო სელის სიდიდეს. შემდეგ დაბალი წნევის ცილინდრის დიამეტრისა და ცილინდრების მუშა მოცულობების $\frac{V_{h_1}}{V_{h_2}}$ თანაფარდობების მიხედვით პოულობენ მაღალი წნევის ცილინდრის დიამეტრს.

კონდენსაციური მოწყობილობანი ორთქლის მანქანებში

4—14. ზოგადი ცნობანი ნამუშევარი ორთქლის კონდენსაციასა და საკონდენსაციო მოწყობილობაში

ორთქლის მანქანის ეკონომიურობაზე და ორთქლის სითბოშემცველობის (ენტალპიის) სასარგებლო შემცირებაზე, რომელიც შეიძლება გარდაიქმნას მუშაობად, მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ნამუშევარი ორთქლის გამოდინების წნევა.

გამოდინების წნევის p_2 -ს შემცირება იწვევს ნამუშევარი ორთქლის სითბოშემცველობის i_2 კკალ/კგ-ს შემცირებას და, როგორც შედეგი, იზრდება სასარგებლოდ გამოსაყენებელი ენტალპიის ვარდნის სიდიდე და მანქანის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი

$$\eta_t = \frac{i_1 - i_2}{i_1},$$

სადაც i_1 კკალ/კგ არის მანქანაში შემავალი უხშირი ორთქლის სითბოშემცველობა;

i_2 კკალ/კგ—მანქანის, ცილინდრიდან გამოშვებული ნამუშევარი ორთქლის სითბოშემცველობა.

გამოდინების წნევის შემცირება მიიღწევა სპეციალური მოწყობილობის ე. წ. კონდენსატორის გამოყენებით. ნამუშევარი ორთქლი მანქანის მუშა ცილინდრიდან შედის კონდენსატორში, სადაც გამაცივებელ წყლის საშუალებით ხორციელდება ნამუშევარი ორთქლის კონდენსაციის პროცესი. ნამუშევარი ორთქლის კონდენსაციის გამო კონდენსატორში შეიქმნება გაუხშობა.

ორთქლის მანქანებში გამოყენებულნი კონდენსატორები შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად:

ა) შერევის წესით მომუშავე კონდენსატორები, რომლებშიაც ადგილი აქვს ნამუშევარი ორთქლის ჰაერის და გამაცივებელი წყლის ჰაერის უშუალო შერევას, ე. ი. მათი ნაწილაკების უშუალო შეხებას. ამ შემთხვევაში არ მიიღება წმინდა კონდენსატი;

ბ) ზედაპირული კონდენსატორები, რომლებშიაც ნამუშევარი ორთქლის ნაწილაკები უშუალო შეხებაში არაა მოყვანილი გამაცივებელი წყლის ნაწილაკებთან იხილება ორი ვარიანტი: პირველი, როდესაც კონდენსატორში მოთავსებულ მცირედიამეტრიან მილებში მიედინება გამაცივებელი წყალი და მილები გარედან შემოგარებულია ნამუშევარი ორთქლით. მეორე ვარიანტი, როდესაც ნამუშევარი ორთქლი მიედინება გარედან ჰაერით ან წყლით შემოგარებულ მილებში. ორივე შემთხვევაში შესაძლებელია წმინდა კონდენსატის მიღება.

კონდენსაციური დანადგარის სისტემაში შედის რამდენიმე ტუმბო კონდენსატორში გამაცივებელი წყლის განუწყვეტელი მოძრაობის უზრუნველსაყოფად და კონდენსატისა და შეღწეული ჰაერის ამოსატუმბავად. შერევის წესით მომუშავე კონდენსატორები ზედაპირულზე უფრო კომპაქტური და იაფი არიან.

გამონაკლისი შემთხვევების გარდა, ორთქლის მანქანებში გამოიყენება შერევის წესით მომუშავე კონდენსატორები. უკანასკნელ დრომდე უპირატესად ორთქლის მანქანები შედარებით დაბალი წნევის ორთქლით მუშაობდნენ და ორთქლის ქვაბების კვება გაუწყნებლად იწველით მიმდინარეობდა.

ორთქლის ტურბინები მუშაობენ გადიდებული ან მალალი წნევის ორთქლით, რის გამო ქვაბების საკვები წყლის ხარისხისადმი დიდი მოთხოვნილებებია წაყენებული; საკვებ წყლად გამოიყენება წმინდა კონდენსატი, ამიტომ ორთქლის ტურბინების დანადგარებში ყოველთვის ზედაპირული კონდენსატორები გამოიყენება.

ზოგიერთ შემთხვევაში ორთქლის მანქანებისათვის გამოიყენება ზედაპირული კონდენსატორები, მაგალითად:

1) ზედაპირული კონდენსატორი, რომლის ვაკიუმება პირით წარმოებს, გამოიყენება კონდენსატორიან ორთქლმავლებზე. ამ შემთხვევაში მთავარი მიზანია საკვები წყლის შენარჩუნება და არა ვაკუუმის შექმნა.

2) ზედაპირული კონდენსატორები აუცილებელი არიან საზღვაო გემების ორთქლის მანქანებისათვის, რადგან არ მოითხოვენ სუფთა გამაცივებელ მტკნარ წყალს. ვინაიდან ორთქლის მანქანები არასრული ვაფართობით მუშაობენ, ამიტომ კონდენსატორებში ღრმა ვაკუუმის შექმნა ეკონომიურად არახელსაყრელია.

ჩვეულებრივად ორთქლის მანქანების კონდენსატორებში არაა გამოყენებული ღრმა ვაკუუმით და 0,15—0,25 ატმ წნევით კმაყოფილდებიან; ცალკეულ შემთხვევებში იგი 0,1 ატმ-მდე დაჰყავთ. ორთქლის მანქანების მუშაობის შესწავლისას ჩვენ დავკმაყოფილდებით შერევის წესით მომუშავე კონდენსატორების განხილვით. ზედაპირული კონდენსატორები შედარებით დეტალურად განხილული იქნება ორთქლის ტურბინების მოწყობილობათა შესწავლისას.

4—15. ბაკიუმების ჯერადობა და მისი მანხაზღვრა

როგორც აღნიშნული იყო, ორთქლის მანქანებში უმეტესად გამოიყენება შერევის წესით მომუშავე კონდენსატორები. ამიტომ აუცილებელი მოთხოვნაა განსაზღვრულ იქნეს ასეთი ტიპის კონდენსატორებში ერთი კილოგრამი ნამუშევარი ორთქლის კონდენსირებისათვის საჭირო გამაცივებელი წყლის რაოდენობა კილოგრამობით, ე. ი. განსაზღვრულ იქნეს ვაკუუმის ჯერადობა.

კონდენსატორების ვაკიუმების ჯერადობას აღნიშნავენ m -ით და მისი მნიშვნელობა ისაზღვრება განტოლებით

$$m = \frac{W}{D} \text{ კგ/კგ,} \quad (4-30)$$

სადაც W კგ/სთ არის კონდენსატორში გამაცივებელი წყლის ხარჯი;

D კგ/სთ — კონდენსატორში ერთი საათის განმავლობაში შემავალი ნამუშევარი ორთქლის რაოდენობა.

m ვაკიუმების ჯერადობის მნიშვნელობის განსაზღვრისათვის ცნობილი უნდა იყოს გამაცივებელი წყლის საათური ხარჯი W კგ/სთ და ერთი საათის განმავლობაში კონდენსატორში მიწოდებული ნამუშევარი ორთქლის რაოდენობა D კგ/სთ.

კონდენსატორის ვაკიუმების ჯერადობის მნიშვნელობა შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს ვაანგარიშების საშუალებით, თუ გამოვიყენებთ კონდენსატორის სითბო-რი ბალანსის განტოლებას შემდეგი სახით

$$D(i_2 - c_1 \cdot t_3) = W(c_2 \cdot t_3 - c_3 \cdot t_3 - c_4 \cdot t_3), \quad (4-31)$$

სადაც i_2 კკალ/კგ არის კონდენსატორში შემავალი ნამუშევარი ორთქლის სითბოშემცველობა;

t_3 °C — შერევის წესით მომუშავე კონდენსატორში მიღებული შერეული კონდენსატის ტემპერატურა;

t_2 ან t_3 არის გამაცივებელი წყლის საწყისი ტემპერატურა კონდენსატორში შესვლისას;

t_3 კვალ/კვ გრად. — შერეული კონდენსატის სითბოტევადობა;

t_3 კვალ/კვ გრად. — გამაცივებელი წყლის სითბოტევადობა.

როგორც შერეული კონდენსატის, ისე გამაცივებელი წყლის სითბოტევადობას ვიღებთ ერთის ტოლს, ე. ი. $t_3 \approx 1$ და t_3 კვ. ≈ 1 .

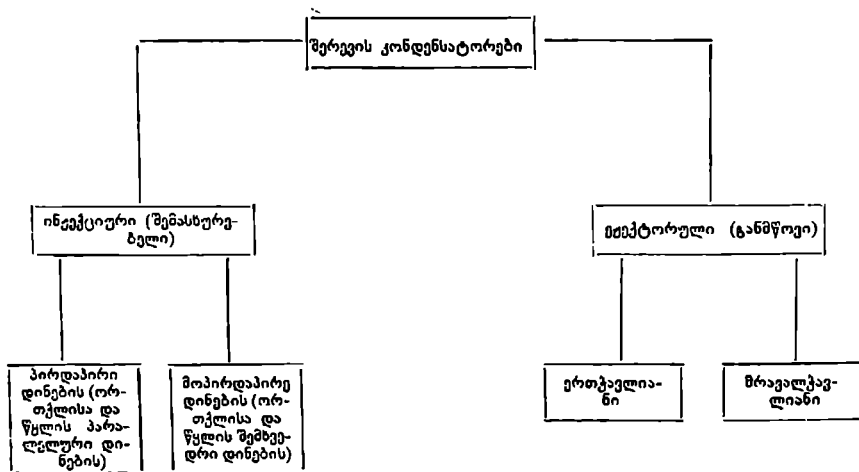
მაშინ სითბური ბალანსის განტოლებიდან გაცივების უტრადობა

$$m = \frac{W}{D} = \frac{i_3 - i_2}{t_3 - t_{2.წყ.}} \text{ კვ/კვ} \quad (4-32)$$

ორთქლის მანქანების შერევის კონდენსატორებში გაცივების უტრადობა იღება $m = 25 \quad 40$ კვ. წყ. / კვ. ორთქ.

4-16. შერევის კონდენსატორების კონსტრუქციების კლასიფიკაცია

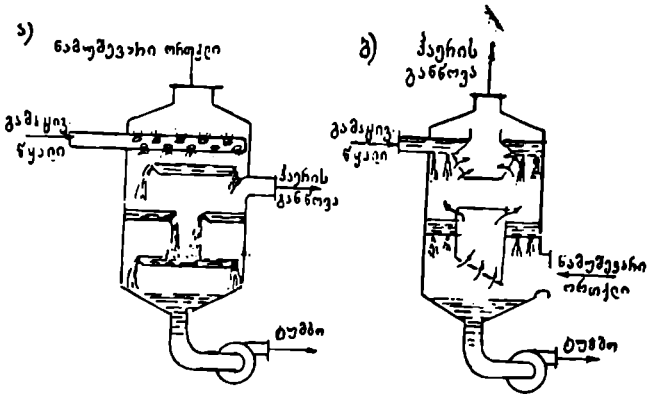
ორთქლის მანქანებისათვის უმთავრესად გამოიყენება შერევის წესით მომუშავე კონდენსატორები, რომელთა კლასიფიკაციის სქემა ქვემოთ არის მოყვანილი.



წინამდებარე სახელმძღვანელოში განხილული იქნება მხოლოდ ინექციური-შემასხურებელი კონდენსატორის სახესხვაობა, როგორც ორთქლისა და წყლის პარალელური, ისე შემხვედრი დინებისათვის. ნაკ. 4-17, ა-ზე ნაჩვენებია ინექციური პირდაპირი დინების, ხოლო ნაკ. 4-17, ბ-ზე მოპირდაპირე დინების კონდენსატორი. როგორც (ა), ისე (ბ) შემთხვევისათვის გამაცივებელი წყლის მიწოდება კონდენსატორში ხდება ზემოდან.

კონდენსატორში გამაცივებელი წყლის მიმწოდებელ მილში წყლის სიჩქარე იღება $1,5 \div 2,5$ მ/წმ. ნამუშეგარი ორთქლის მიმწოდებელი მილის გაანგარიშება ხდება $70 \div 90$ მ/წმ სიჩქარეზე. კონდენსატის ნარევის ასარინებელ მილებში სიჩქარეს იღებენ $1-2$ მ/წმ.

კონდენსატის ნარევის არინება ხორციელდება საამისოდ განკუთვნილი ტუმბოებით. ინექციური კონდენსატორების მუშაობის პრინციპი ნაკ. 4—17-ზე ნაჩვენებია (ა) და (ბ) სქემებით აღვლილ წარმოსადგენია.



ნაკ. 4—17. ინექციური კონდენსატორები.

4—17. საციკლატიონო წყლის გაბრიღების ხმახმები

კონდენსატორში გამდინარე გამაცივებელი წყლის წყარობად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მდინარეების, ტბებისა და კეების წყლები. იმ შემთხვევაში, როდესაც გამაცივებელი წყლის წყაროები ძლიერ დიდი მანძილთაა დაცილებული ორთქლის მანქანის დანადგარიდან ან მათში წყლის რაოდენობა არ იძლევა საშუალებას გამდინარე გაცივების სისტემის მოწყობისა, მაშინ გამოიყენებენ ცირკულაციურ ანუ საბრუნავ წყალმომარაგებას. ცირკულაციური წყალმომარაგების დროს იყენებენ ერთი და იგივე წყალს, ავარილებენ რა მას ამა თუ იმ ბერხით კონდენსატორიდან გამოსვლისას, რომ შემდეგ ისევ მიაწოდონ კონდენსატორში, როგორც გამაცივებელი წყალი.

ცირკულაციური წყალმომარაგების დროს წყლის მეორადი გაბრიღებისათვის იყენებენ სხვადასხვა ხერხს (გუმბურები, სასხური აუზები, ღია საშეფურები, დახურული წვეთური საშეფურები, დახურული აფსური საშეფურები და სხვ.).

გამაგრილებელი გუმბურები შეიძლება იყოს ბუნებრივი ან ხელოვნური. გუმბურებში საციკლატიონო წყლის გაბრიღება უმთავრესად ხდება მის თავისუფალ ზედაპირიდან აორთქლების ხარჯზე. გუმბურებში გასაგრილებელი წყლის მიწოდება და მისგან კონდენსატორში მისაწოდებელი საციკლატიონო წყლის არინება უნდა ხდებოდეს სხვადასხვა ადგილას. გუმბურების მთავარი ნაკლოვანებაა ორთქლის მანქანის სიმძლავრის 1 ც. ძ.-ზე დიდი ფართობის აუცილებლობა.

სასხური აუზები უმთავრესად ეწყობა ხელოვნური; მისი კედლები ჩვეულებრივ დამზადებულია ბეტონისაგან. აუზები შევსებული არიან წყლით, რომლის დონის სიმაღლე იღება 1—1,5 მ. აუზის წყლის ზედაპირის ღონეზე გაყვანილია მილთა სისტემა. ამ მილების ზედა მხარეზე დამაგრებულია საქშენები, რომლებშიც ტუმბოთი მიწოდებული თბილი წყალი 5—12 მ წყ. სე. წნევით გაიფრქვევა 2—3 მეტრ სიმაღლეზე, ხოლო შემდეგ ბრუნდება აუზში.

გასახეფი წყლის დანაჟარგი ცირკულაციაში მყოფი წყლის რაოდენობის 2—4,5% შეადგენს. საქშენებში გასახეფი თბილი წყლის მიწოდებაზე იხარჯება მანქანის მიერ

გამობეზავებული ენერჯის დაახლოებით 1 - 1,5% . სასხური აუზების გამოყენებას აგრეთვე ნაწილობრივად ზღუდავს მის ზემოთ წარმოქმნილი ნისლი.

ღია საშხეფურები წარმოადგენენ ხის ძელაკების ან თამასების ჰორიზონტალურ სისტემას, რომლებზედაც ზემოდან ქვემოთკენ ჩამოინდება თბილი გასაგრილებელი წყალი. ზოგჯერ ასეთი საშხეფურის ზემოთ აწყობენ საშხეფ საქშენებს. მიუხედავად იმისა, რომ ატმოსფერულ ჰაერს ყოველი მხრიდან შეუძლია საშხეფურში შეღწევა, მაინც მისი გამაგრილებელი მოქმედება შეიძლება მნიშვნელოვანი იყოს მაოლოდ ქარის დროს. ასეთი საშხეფურების ნაკლოვანებებია ქარის არსებობაზე მისი მუშაობის დამოკიდებულება, ქარის მიერ წყლის წვეთების დიდი რაოდენობით წარტაცება და დიდი რაოდენობით ნისლის გავრცელება.

დახურულმა ანუ კოშკურმა საშხეფურებმა ფართო გავრცელება მოიპოვა. ასეთ შემთხვევაში განიხილება წვეთური და აფსკური საშხეფურები, ჩვეულებრივად წვეთურ საშხეფურებს იყენებენ.

ნაკ. 4—18. ზე წარმოდგენილია დახურული საშხეფურის მოქმედების სქემა:

(1) სარწყავი მოწყობილობა, რომელიც წვეთური საშხეფურის შემთხვევაში შეესებულა ჰორიზონტალური ძელაკებით, ხოლო აფსკური საშხეფურის შემთხვევაში—ვერტიკალური ფარებით;

(2) წყლის გასანაწილებელი ლარები ცხარას ზემოთ;

(3) სარწყავი მოწყობილობის დახურული გარსაცმი (ხის ფარები, რკინა-ბეტონის, ფურცლოვანი რკინის ცილინდრი);

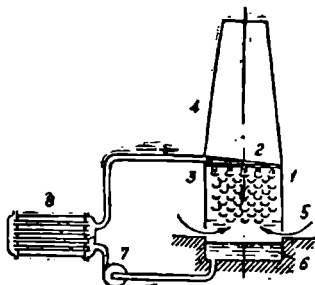
(4) გარსაცმ 3-ზე დაყენებული ამწოვი გილი, ბუნებრივი წვეის შესაქმნელად;

(5) გამაგრილებელი ჰაერის შესასვლელი ფანჯრები;

(6) კოშკის ქვემოთ მიწაში მოთავსებული წყლის შემკრები აუზი;

(7) კონდენსატორში გამაცივებული წყლის მისაწოდებელი ტუმბო.

(8) ზედაპირული კონდენსატორი.



ნაკ. 4—18. დახურული საშხეფური.

რიგ შემთხვევებში კოშკურ საშხეფურებში აწყობენ ჰაერის იძულებით ცირკულაციას. ასეთ შემთხვევაში საშხეფურში გამაგრილებელი ჰაერის მიწოდება ხორციელდება ვენტრილატორების საშუალებით.

ოკთქლის მანქანების რიგშლირება

4—18. ზოგადი ცნებანი ოკთქლის მანქანის რიგშლირებაზე

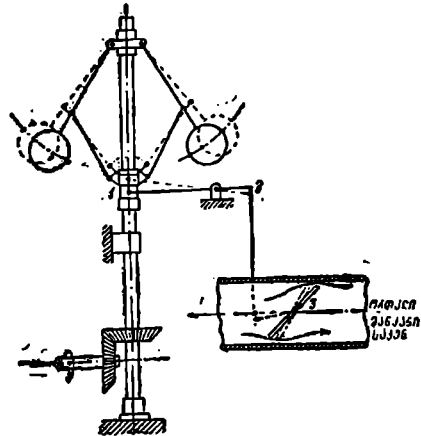
ოკთქლის მანქანის თანაბარი სედა შესაძლებელია მაშინ, როდესაც მანქანაში მოქმედ მამოძრავებელი ძალები წინაღობათა ძალების ტოლია. აღნიშნული ტოლობის დარღვევის შემთხვევაში, მაშინვე ადგილი ექნება ან მამოძრავებელი ძალების ან წინაღობათა ძალების სიჭარბეს. მამოძრავებელი ძალების სიჭარბის შემთხვევაში ადგილი ექნება ბრუნთა რიცხვის გადიდებას, ხოლო წინაღობათა ძალების გადიდების შემთხვევაში ბრუნთა რიცხვის შემცირებას.

იძის გაშო, რომ მამოძრავებელი ძალები და წინაღობის ძალები ორთქლის მანქანის მუშაობის დროს ცვლილებას განიცდიან, ორთქლის მანქანებს უყენებენ ავტომატური რეგულირებისათვის შესაფერის ხელსაწყოებს. ამგვარ ხელსაწყოებს მიეკუთვნება რეგულატორი და მქნევარა.

რეგულატორი დატვირთვის შესაბამისად არეგულირებს ორთქლის მანქანის სიმძლავრეს, ხოლო მქნევარა კი მანქანის ლილვის ერთი ბრუნვის დროს სვლის თანაბრობის შენარჩუნებას უწყობს ხელს. მაშასადამე, რეგულატორი არის ხელსაწყო, რომელიც ავტომატურად მოქმედებს ან ორთქლშემშვებ მილში დაყენებულ სარქველზე ან ორთქლგამანაწილებელი ორგანოს მექანიზმზე. პირველ შემთხვევაში ადგილი აქვს ორთქლის წნევის შემცირებას — დროსელირებას და ამ პროცესს ხ ა რ ი ს ხ ო ბ რ ი ე რ ე გ უ ლ ი რ ე ბ ა ს უწოდებენ. ხოლო მეორე შემთხვევაში რეგულატორი ორთქლგამანაწილებელ ორგანოზე მოქმედებით შევსების ხარისხს ცვლის და ამ პროცესს რ ა ო დ ე ნ ო ბ რ ი ე რ ე გ უ ლ ი რ ე ბ ა ს უწოდებენ.

ორივე შემთხვევაში ინდიკატორული დიაგრამის ფართობი და, მაშასადამე, ორთქლის მანქანის სიმძლავრეც, იზრდება ან მცირდება.

დ რ ო ს ე ლ უ რ ი რ ე გ უ ლ ი რ ე ბ ი ს, ც ე ნ ტ რ ი დ ა ნ უ ლ ი ს ა ხ ი ს რ ე გ უ ლ ა ტ ო რ ი ს მოქმედების პრინციპი ნათელია ნაკ. 4—19-ზე ნაჩვენები სქემიდან. ორთქლის მანქანის დატვირთვის გაზრდის დროს მცირდება რეგულატორის ლითონის ბურთების ბრუნვის სიჩქარე და ცენტრიდანული ძალა, რის შედეგად ჩამოვშვება რეგულატორის ქურო (1), რასაც შეესაბამება ჰორიზონტალური ბერკეტის მარჯვენა ბოლოს (2) აწევა და, როგორც სქემიდან ჩანს, დროსელის საფარის (3) გაღების ზრდა.



ნაკ. 4—19. დროსელი რეგულირების სქემა (ცენტრიდანული რეგულატორი).

მანქანის დატვირთვის შემცირებისას ბრუნვის სიჩქარე იზრდება, რეგულატორის ლითონის ბურთების ცენტრიდანული ძალა ქუროს (1) ზემოთ აწევს, ხოლო ჰორიზონტალური ბერკეტის მარჯვენა ბოლო სახსარი (2) ძირს ეშვება, რაც დროსელის საფარის გაღების შემცირებას უზრუნველყოფს.

ცხადია, რომ უხმაური ორთქლის დროსელირება, ე. ი. ხელოვნურად საწყისი წნევის შემცირება ორთქლის მანქანის თერმული მარჯი კმედების კოეფიციენტის შემცირებას იწვევს. მაშასადამე, დროსელური რეგულირების შემთხვევაში მცირდება მანქანის ეკონომიკრობა. მიუხედავად ამისა, მცირე სიმძლავრის მანქანებში, კონსტრუქციის სიმარტივის გამო, დროსელური რეგულატორები გამოყენებას პოულობენ.

ნაკ. 4—20, ა-ზე წარმოდგენილია დროსელური რეგულირებით მოამუშავე ორთქლის მანქანის ინდიკატორული დიაგრამები.

მთლიანი ხაზით შემოფარგლული დიაგრამა მიეკუთვნება შემთხვევას, როდესაც დროსელის ფარი მთლიანად ღიაა, ხოლო წყვეტილი ხაზები შეესაბამისება დროსელის ფარის შემცირებულ გაღებებს.

ასეთი წესით რეგულირებას პირობით ხარისხობრივ რეგულირებას უწოდებენ, სინანდელივით კი არის როგორც ხარისხობრივი, ისე ნაწილობრივად რაოდენობრივი რეგულირება. როგორც აღნიშნული იყო, უხმარი ორთქლის მოკვეთით რეგულირებას რაოდენობრივი ეწოდება, რადგან მის დროს რეგულატორი ცვლის შევსების ხარისხს ორთქლის წნევის შემცირების გარეშე. სარკვევით ორთქლგანაწილების დროს რეგულატორი გაუღენას ახდენს მხოლოდ შემწვებ სარკვევლზე, ცვლის რა შევსების პერიოდს მანქანის დატვირთვის შეესაბამისად.

ნაკ. 4-20. ბ-ზე ნაჩვენებია სარკველიანი ორთქლგანაწილებით მომუშავე ორთქლის მანქანის ინდიკატორული დიაგრამები. მანქანის დატვირთვის შემცირების მიხედვით მცირდება შევსების ხარისხი, ხოლო ორთქლგანაწილების დანარჩენი ფაზები უცვლელი რჩება.

ნაკ. 4-20. რეგულირების პროცესში ინდიკატორული დიაგრამის ცვლილება.

ნაკ. 4-21. ა-ზე წარმოდგენილია ერთი მკვეთარით ორთქლგანაწილებისათვის მოძრაი ექსცენტრიკის სქემა.

თუ ორთქლგანაწილება მკვეთარით ხორციელდება, მაშინ ორთქლით შევსების ხარისხის ცვლილება მოძრაი ექსცენტრიკების გამოყენებით მიიღწევა.

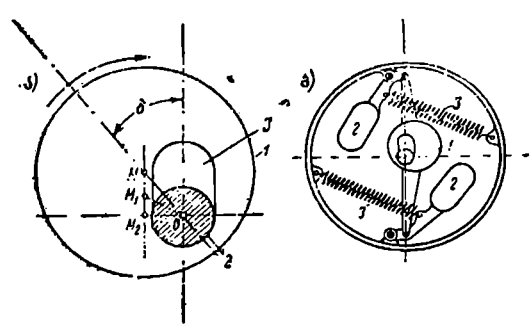
ნაკ. 4-21, ა-ზე წარმოდგენილია ერთი მკვეთარით ორთქლგანაწილებისათვის მოძრაი ექსცენტრიკის სქემა.

1) ექსცენტრიკი; 2) ლილვი; 3) ამონაპერი ექსცენტრიკში, რომლის მიხედვით ხდება ექსცენტრიკის გადაადგილება ლილვზე რეგულატორის საშუალებით, მანქანის დატვირთვის მიხედვით.

ნაკვეთზე ნაჩვენებია ექსცენტრიკის მდებარეობაში ექსცენტრისიტეტი მაქსიმალური OM მნიშვნელობის ტოლია (ნ წინსწრების კუთხის დროს), ამის შესაბამისად მანქანა იმუშაავებს მაქსიმალური შევსების ხარისხით.

ექსცენტრიკის ცენტრის ქვემოთკენ გადაადგილებისას მაგალითად, M_1 წერტილში, როდესაც ექსცენტრისიტეტი იქნება OM_1 , შევსების ხარისხი სათანადოდ შეიცვლება.

ნაკ. 4-21, ბ-ზე ნაჩვენებია ლერძული ბრტყელი რეგულატორის სქემა გადასაყენებელი ექსცენტრიკით (1). როდესაც მანქანის დატვირთვა შემცირდება, გააზრდება ბრუნთა რიცხვი, რის შედეგად გადიდდება ტვირთების (2) ცენტრიდანული ძალა. ტვირთების გადიდებული ცენტრიდანული ძალა დაძლევს რა ზამბარების (3) წინალობას, გამოიწვევს



ნაკ. 4-21. ლერძული რეგულატორიანი მოძრაი ექსცენტრიკის სქემა.

ნაკ. 4-21, ბ-ზე ნაჩვენებია ლერძული ბრტყელი რეგულატორის სქემა გადასაყენებელი ექსცენტრიკით (1). როდესაც მანქანის დატვირთვა შემცირდება, გააზრდება ბრუნთა რიცხვი, რის შედეგად გადიდდება ტვირთების (2) ცენტრიდანული ძალა. ტვირთების გადიდებული ცენტრიდანული ძალა დაძლევს რა ზამბარების (3) წინალობას, გამოიწვევს

ექსცენტრიკის (1) გადაადგილებას ქვემოთენ; ე. ი. შემცირდება ექსცენტრისიტი. მანქანის გადატირთვის შემთხვევაში შემცირდება ბრუნთა რიცხვი. ე. ი. შემცირდება ტვირთების (2) ცენტრიდანული ძალა და ზამბარაკები (3) მიიზიდვენ ტვირთებს ცენტრისაკენ და ვაზრდიან ექსცენტრისიტეტს. ექსცენტრისიტეტის გადიდება კი გამოიწვევს შევსების ხარისხის გადილებას.

შეენიშნავთ, რომ ორთქლმავლებში ექსპლოატაციის პირობების შესაბამისად აერთმატური რეგულირება არ გამოიყენება და ორთქლმავლის ორთქლის მანქანის რეგულირება ხდება მემანქანის ხელით, რისთვისაც ორთქლმავალს გააჩნია როგორც სადროსელო, ისე შევსების ხარისხის რეგულირება. განვიღუღო რეგულატორების გარდა, იშვიათ შემთხვევებში, ორთქლის მანქანებში აგრეთვე გამოიყენება ინერციული რეგულატორები, რომელთა მუშაობის პრინციპი დაჯანგარიშება ჩვეულებრივად განიხილება მანქანათა ნაწილებისა და მექანიზმების თეორიის კურსის შესწავლისას.

4-18. რმშულებათრმბის უთანაბრობისა და უბრძოლობის ხარისხი

ორთქლგამანაწილებელ მექანიზმთან დაკავშირებული რეგულატორის სისტემაში ხახუნის უთანაობისას, თუ ქუროს ზედა მდგომარეობის დროს ბრუნთა რიცხვის აღენიშნავთ n_1 -ით და ქუროს ქვედა მდგომარეობაში n_2 -ით, მაშინ ბრუნუის უთანაბრობის თეორიული ხარისხი (ანუ რეგულირების უთანაბრობის ხარისხი) განისაზღვრება ფორმულით

$$\delta_m = \frac{n_1 - n_2}{n_{საშ.}} \quad (4-33)$$

სადაც $n_{საშ.}$ ბრუნთ არის ბრუნთა რიცხვის საშუალო სიდიდე [$n_{საშ.} = 0,5(n_1 + n_2)$].

რეგულატორის უთანაბრობის თეორიული ხარისხის მნიშვნელობა შეკუთბს ზღვრებში $\delta_m = 0,02 \div 0,08$.

უთანაბრობის ნამდვილი ხარისხი მეტია, ვიდრე უთანაბრობის თეორიული ხარისხი. რეგულატორი, რომელიც დაკავშირებულია ორთქლგამანაწილებელ ორგანოებთან, რომ გამოყენილ იქნეს წონასწორობიდან, საჭიროა მის ქუროზე გარედან იმოქმედოს გარკვეულმა ძალამ, რომელიც დაძლევის ხახუნს თვით რეგულატორში და ორთქლგანაწილების ორგანოებში. მაშასადამე, რომ მიღწეულ იქნეს რეგულატორის ქუროს ზედა მდგომარეობა, ამისათვის გარე დამატებითი ძალის მისაღებად საჭიროა ბრუნთა რიცხვის n_1 -ის გადიდება რომელიც Δn სიდიდით. რეგულატორის ქვედა მდგომარეობის მისაღწევად საჭიროა ბრუნთა რიცხვის დამატებითი შემცირება Δn სიდიდით. აქედან გამოჰდინარეობს, რომ რეგულატორის უთანაბრობის ნამდვილი ხარისხი

$$\delta_{გ} = \frac{(n_1 + \Delta n) - (n_2 - \Delta n)}{n_{საშ.}} = \frac{n_1 - n_2}{n_{საშ.}} + \frac{2\Delta n}{n_{საშ.}} = \delta_m + \varepsilon \quad (4-34)$$

სადაც $\varepsilon = \frac{2\Delta n}{n_{საშ.}}$ არის რეგულირების უგარძნობლობის ხარისხი ანუ რეგულატორის უგარძნობლობის ხარისხი. უქანასკნელი დამოკიდებულია ხახუნის ძალაზე როგორც თვით რეგულატორში, ისე ორთქლგანაწილების ორგანოებში, რომლებზედაც მოქმედებს რეგულატორი. რეგულირების უგარძნობლობის ხარისხის მნიშვნელობა შეკუთბს ზღვრებში $\varepsilon = 0,03 \div 0,07$.

რეგულატორის მდგომარეობის მუშაობისათვის დაცული უნდა იყოს პირობა $\varepsilon > \delta_{გ}$, სადაც $\delta_{გ}$ არის მქნეარას უთანაბრობის ხარისხი.

შენეარას უთანაბრობის ხარისხი ისაზღვრება ფორმულით

$$\delta_{\text{კენ.}} = \frac{w'_{\text{კენ.}} - w_{\text{მინ.}}}{w_{\text{საშ.}}} \quad (4-35)$$

სადაც $w'_{\text{კენ.}}$ და $w_{\text{მინ.}}$ არის ლილვის მაქსიმალური და მინიმალური კუთხური სიჩქარეები ერთი ბრუნვის ფარგლებში;

$w_{\text{საშ.}}$ — საშუალო კუთხური სიჩქარე ლილვის მთელი ბრუნვის დროს.

მსუბუქი შენეარის დროს $\delta_{\text{კენ.}} = \frac{1}{30} - \frac{1}{50}$ (ან 3 — 2%), ხოლო მძიმე შენეარის

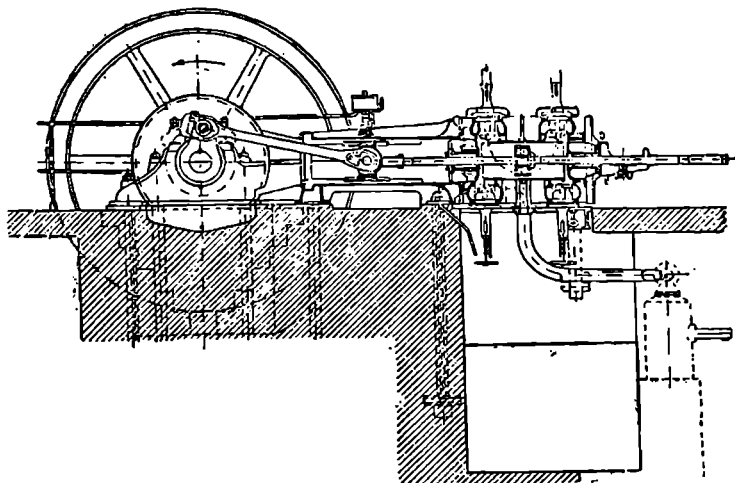
დროს $\delta_{\text{კენ.}} = \frac{1}{100} \div \frac{1}{300}$ (ან 1 — 0,3%).

თ ა ვ ი 4-8

ორთქლის მანქანების კონსტრუქციული ტიპები

4-20. ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ხტაციონარული მანქანების ზოგიერთი კონსტრუქცია

ნაკ. 4-22-ზე ნაჩვენებია ორმხრივი ქმედების ერთჯერადი გაფართოების ერთცილინდრიანი ორთქლის მანქანა. ორთქლის მანქანა მუშაობს კონდენსატორის გარეშე უკუწნევით და სარქველებიანი ორთქლგანაწილებით. ორთქლის მანქანის ეფექტური სიძ-



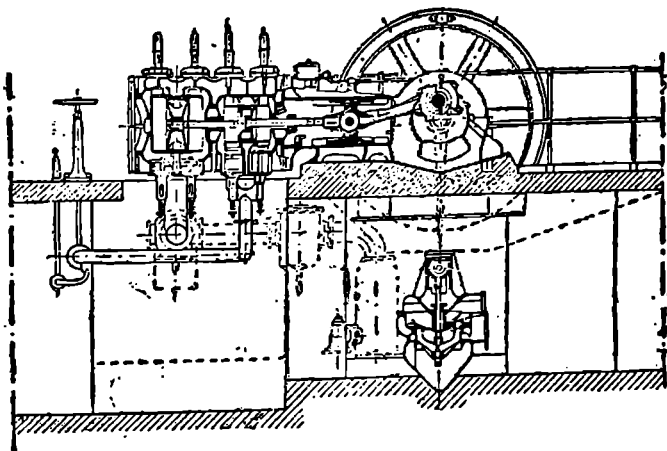
ნაკ. 4-22. ჰორიზონტალური მარტივი გაფართოების ერთცილინდრიანი ორთქლის მანქანა.

ძლავრეა $N_e = 250$ ც. ძ., ცილინდრის დიამეტრი $D = 405$ მმ, დგუშის სვლის სიღღე $S = 800$ მმ, ხოლო ბრუნთა რიცხვი $n = 150$ ბრ/წთ.

ორთქლის მანქანას აქვს მძიმე შენეარა; მანქანას მოძრაობაში მოჰყავს ელექტროგენერატორი, რომელიც ნაკვეთზე ნაჩვენებია არ არის. ორთქლის მანქანის ცილინ-

დრის გასწვრივ მიიზარებდა განმანაწილებელი ლილევი (ნაქვზე ნაჩვენები არ არის), რომელსაც მოძრაობაში მოყავს რეგულატორი და ორთქლგამანაწილებელი სარქველები.

ნაკ. 4—23-ზე გამოსახულია ორჯერადი ვაფართოების ორცილინდრიანი ჰორიზონტალური ორთქლის ტან დემ მანქანა. ორთქლის მანქანის სრული ეფექტური სიმძლავრეა $N_e = 200$ ც. ძ., მაღალი წნევის ცილინდრის დიამეტრი $D_1 = 310$ მმ, ხოლო დაბალი წნევის ცილინდრის დიამეტრი კი $D_2 = 520$ მმ. მანქანის დეჟუსის სვლა $S = 350$ მმ. ხოლო ბრუნთა რიცხვი $n = 200$ ბრ/წთ. ორთქლის მანქანას დაყენებული აქვს შერევის წესით მომუშავე კონდენსატორი, რომელიც ვაადგილებულია მანქანის ქვემოთ—სარდაფში.



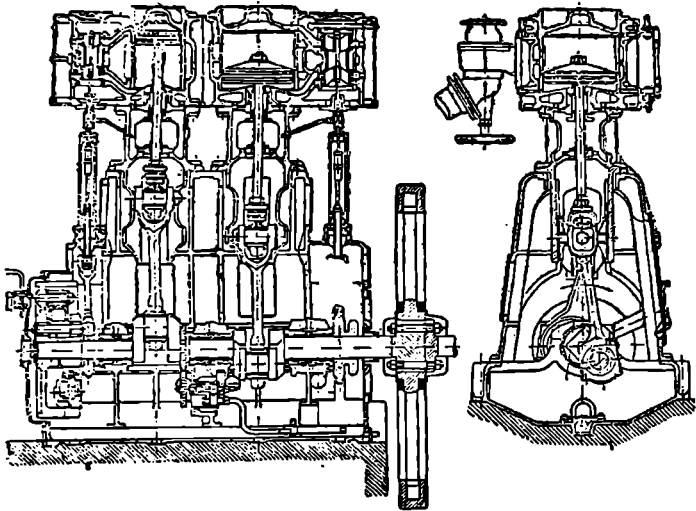
ნაკ. 4—23. ჰორიზონტალური ორჯერადი ვაფართოების ტან დემ მანქანა.

მანქანის ორივე ცილინდრი ერთ მთლიან სხმულს წარმოადგენს. ორთქლგამანაწილებელი სარქველები ისეა მოწყობილი, რომ მაღალი წნევის ცილინდრის ზედა სარქველები ანხორციელებენ ნამუშევარი ორთქლის გამოშვების პროცესს, ხოლო დაბალი წნევის ცილინდრის ქვედა სარქველები კი შეშვების პროცესს. ორთქლის მანქანის რეგულირება განხორციელებულია ღერძითი ბრტყელი რეგულატორით, რომელიც მაღალი წნევის ცილინდრის პირდაპირ განმანაწილებელ ლილეზეა დაყენებული.

ნაკ. 4—24-ზე ნაჩვენებია ვერტიკალური ორჯერადი ვაფართოების კომპაუნდ მანქანა. ორთქლის მანქანა მუშაობს ატმოსფერულ ჰაერში ნამუშევარი ორთქლის გაშვებით. ორთქლის განაწილება განხორციელებულია ცილინდრული მკვეთარებით, მაღალი წნევის ცილინდრში შიგა შეშვებით და დაბალი წნევის ცილინდრში გარე შეშვებით. ორთქლის მანქანის რეგულირებისათვის გამოყენებულია ღერძითი რეგულატორი მოკვეთით. ორთქლის მანქანის მოძრაი ნაწილების შეზეთვა განხორციელებულია შეშვითი ტუმბოს საშუალებით, რომელიც მუხლა ლილვის შუა ძირითადი საკისრის ქვემოთაა ვაადგილებული.

მანქანას არა აქვს ხილული მოძრაი ნაწილები, მთელი მექანიზმი დახურულია გარსაცმით. აღნიშნულის გამო შენობაში საცხების ვაშეფებას არა აქვს ადგილი. აღწერილ მანქანებს იყენებენ მცირე სიმძლავრის ელექტროსადგურებში. ვინაიდან მანქანა მუშა-

ობს კონდენსატორის გარეშე და ადგილი აქვს ატმოსფერულ ჰაერში ნამუშევარი ორთქლის გაშვებას, ძლიერ გადიდებულია ორთქლის ხვედრითი ხარჯი და მუშაობენ ძლიერ დაბალი ეკონომიური მარგი ქმედების კოეფიციენტით.



ნაკ. 4-21 ვერტიკალური ორჯერადი გაფართოების კომპაუნდ მანქანა.

4-21. ლოკომობილები და მათი მოწყობილობა

ლოკომობილი წარმოადგენს ორთქლძალურ დანადგარს, რომელიც ერთ მთლიანობაში აერთიანებს ორთქლის მანქანას, ორთქლის ქვაბს და დამხმარე მოწყობილობას. კონსტრუქციულად ასეთ დანადგარში ორთქლის მანქანა უშუალოდ იდგმება ორთქლის ქვაბზე, რომელიც მანქანას ეწესახურება საყრდენ საძირკველად. მთლიანად დანადგარი გამორჩევა მცირე გაბარიტული ზომებით, ტრანსპორტაბელობით.

ლოკომობილები გამოიყენება, როგორც ორთქლის ძრავები, მრეწველობისა და სოფლის მეურნეობის საჭიროებისათვის. ლოკომობილები გამოიყენება მცირე და საშუალო სიმძლავრის ელექტროსადგურებში ელექტროგენერატორების ამძრავებად და ზოგიერთ შემთხვევაში აგრეთვე მანქანა-იარაღებისა და ტრანსპისიების უშუალოდ მოძრაობაში მოსაყვანად. აღნიშნულის გარდა, ლოკომობილებს იყენებენ როგორც თბოძალურ დანადგარებს, რომელნიც მუშაობენ უკუწვეით ან ორთქლის შუალედური ართმევით წარმოების საჭიროებისათვის. ხშირად ლოკომობილები გამოიყენება როგორც სათბოფიკაციო დანადგარები, განსაკუთრებით სოფლის მეურნეობის საჭიროებისათვის.

ამჟამად საბჭოთა კავშირში ლოკომობილები მზადდება შემდეგი ტიპების:

- 1) П — გადასადგილებელი;
- 2) СК — კონდენსაციური სტაციონარული;
- 3) СТК — თბოფიკაციური სტაციონარული ორთქლის შუალედური ართმევით;
- 4) СТ — თბოფიკაციური უკუწვეით.

4 - 3 ცხრილში მოცემულია ზოგიერთი ლოკომობილის ტექნიკური მახასიათებლები.

ცხრილი 4-3

ლოკომობილების ტექნიკური მახასიათებლები

მახასიათებელი	ლოკომობილების ტექნიკური მახასიათებლები						
	П-25	П-38	П-75	С-125	СН-250	СН-4	Т-4
ნომინალური სიმძლავრე ეფ. ე. ძ-ბით	25	38	75	125	250	350	250
მაქსიმალური ხანმოკლე სიმძლავრე ე. ძ.	30	46	90	150	350	420	300
ლილვის ბრენთა რიცხვი წუთში	300	375	280	280	187	187	250
ორთქლის წნევა ატმ-ით	13	15	12	15	15	15	15
ორთქლის გადასურების ტემპერატურა °C	300	320	330	350	300	350	350
ორთქლის ქვაბის ხერების ზედაპირი მ-ით	8,35	10,15	21,7	22,9	49,2	72	72
ორთქლგადამსურებლის ხერების ზედაპირი მ-ით	3,47	5,1	10,0	23,6	46,6	61	61
ცეცხლიკებიანი ცხურას ფართობი მ-ით	0,53	0,53	0,88	1,04	1,35	2,18	2,18
მაღალი წნევის ცილინდრის დიამეტრი მმ-ით	140	140	210	190	280	320	320
დაბალი წნევის ცილინდრის დიამეტრი მმ-ით	—	—	—	370	560	640	—
დგუმის სელის სიდიდე მმ-ით	230	230	340	360	470	520	480
წნევა კონდენსატორში ატმ-ით	—	—	—	0,12	0,12	0,12	—
ორთქლის ხვედრითი ხარჯი კვ/ეფ. ე. ძ სთ	9,5	9,0	8,5	5,4	5,25	5,25	8,1
პირობითი სათბობის ხარჯი კვ-ით ერთ ცხენის ძალაზე საათში, როდესაც $Q_{შვ} = 7000$ კვალ/კვ	1,4	1,4	1,25	0,77	0,75	1,75	2,6
						0,75	1,25

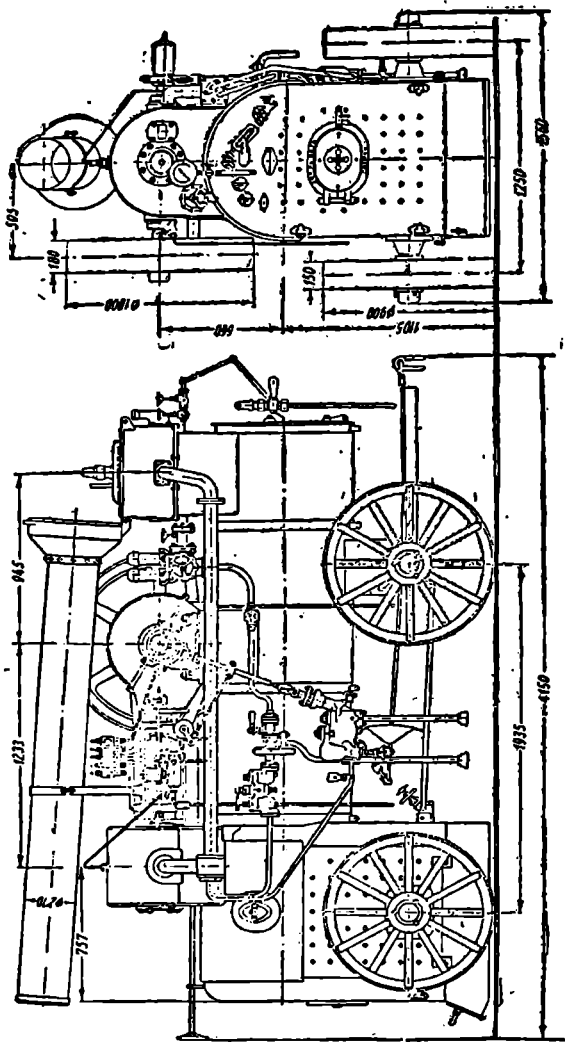
როგორც აღნიშნული იყო, სოფლის მეურნეობაში ფართო გამოყენებას პოულობს გადასაადგილებელი ლოკომობილები, რომლებსაც ზოგჯერ სასოფლო-სამეურნეო ლოკომობილებს უწოდებენ. ნაქ. 4-25-ზე ნაჩვენებია გადასაადგილებელი სასოფლო-სამეურნეო ლოკომობილის П-38 საერთო ხედი.

П-38 მარკის ლოკომობილი, რომლის ნომინალური სიმძლავრეა 38 ცხენის ძალა, წარმოადგენს თვლებზე დადგმულ ორთქლძალურ აგრეგატს. ლოკომობილი შედგება ორთქლის ქვაბისაგან, ორთქლის მანქანისა და დამხმარე მოწყობილობებისაგან.

ლოკომობილს არა აქვს კონდენსატორი და მუშაობს ატმოსფერულ ჰაერში ნამუშევარი ორთქლის, განდევნით გამოსაბოლქვე კონუსში ვატარებით. თუ ლოკომობილს დაეუყენებთ საჭირო სიმაღლის საკვამლე მილს ან სხვა სახის წვევის მოწყობილობას, მაშინ შესაძლებლობა შეიქმნება ნამუშევარი ორთქლის გამოყენებისა სიმძლავრის შეუმცირებლად. ასეთ ლოკომობილებში ნამუშევარი ორთქლი მიიღება 0,5 ატმ-მდე წნევით.

ლოკომობილის მუშაობის დროს შესაძლოა ორთქლის ქვაბიდან ტენიანი ნაჯერი ორთქლის ართმევა. როდესაც ლოკომობილი ანვითარებს ნომინალურ სიმძლავრეს, ე. ი.

38 ცენის ძალას, შესაძლოა პარალელურად ყოველ საათში მეურნეობის საკურობი-
სათვის ართმეულ იქნეს ყოველ საათში 100 კგ ორთქლი.



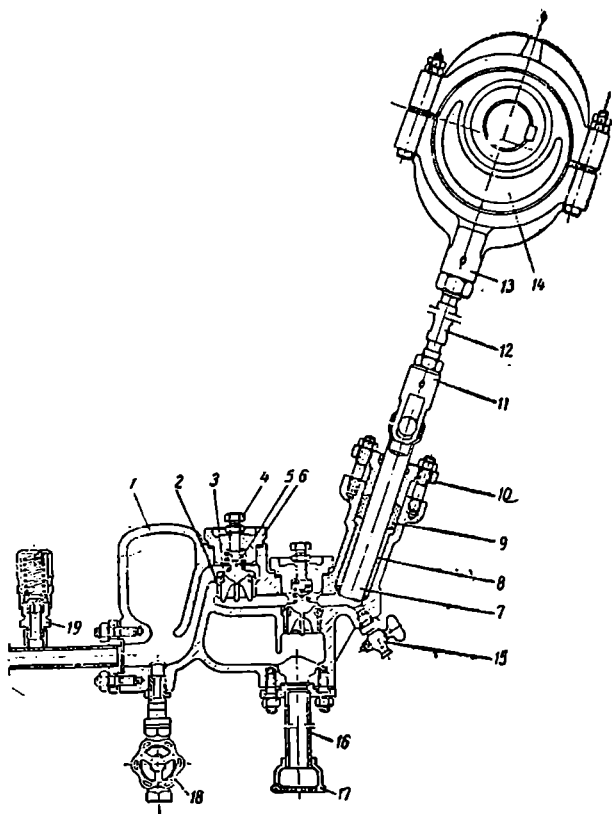
ნაკ. 4-25. II-38 მარჯის ლოკომობილის საერთო ხედი.

ლოკომობილის სა-
ცეცხლეში შეიძლება
დაიწვას სხვადასხვა სა-
ხის ნახშირი, რომელ-
თა ნაცრიანობა არ
აღემატება სათბობის
მშრალი მასისათვის —
— 23%.

ამავე საცეცხლე-
ში შესაძლოა დაიწ-
ვას შეშა ტენიანობათ
35%-მდე და ტორფი
ტენიანობით 40%-მდე
და ნაცრიანობით —
— 35%-მდე. თუ ლოკო-
მობილებისათვის ავი-
ლებთ სპეციალურ სა-
ცეცხლებს, მაშინ შე-
იძლება გამოყენებულ
იქნეს უფრო მეტი ტე-
ნიანობის მქონე სათ-
ბობი.

ლოკომობილის კონ-
სტრუქცია საკურო შემ-
თხვევაში სპეციალურ
საყრდენებზე სტაციო-
ნარულად დაყენებს
საშუალებას იძლევა.
ორთქლის ქვაბის კვე-
ბა ხორციელდება ყვინ-
თა ტუმბოთი, რომე-
ლიც ნაჩვენებია ნაკ.
4-26-ზე. ყვინთა ტუმ-
ბო მოძრაობაში მოდის
შანქანის მუხლა ლილ-
ვის საშუალებით.

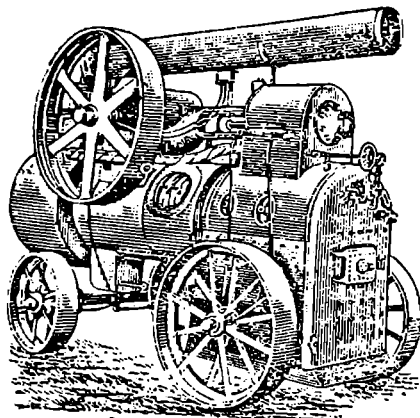
სამარაგო მკვებავ ხელსაწყოდ ლოკომობილებში გამოყენებულია ინვექტორები. საკ-
ვები წყლის შესათბობად ლოკომობილს აქვს მილოვანი წყლის შემთბობი. ლოკომობილის



ნაკ. 4 - 26. ყვინთა ტუნზო.

1-კორპუსი, 2-სარქელის ბუდე, 3 სარქული, 4-ხაბრევი ჰაჭიკი, 5-ხაჭარაკი, 6-საბურაკი, 7-ყვინთა, 8-გრუნდბუქი, 9-ჩოხალი, 10-დასაპირებელი კიბა, 11-ჩანგალი, 12-მუჯი, 13-ბუდე, 14-მსაცენტრაცი, 15-საქერო ოჯანი, 16-მუჯი მილი, 17-მიმღები ხადე, 18-გადსაშვები ვენტოლი, 19-დამცველი სარქული.

მანქანა წარმოადგენს ორმხრივი კმედების ერთცილინდრიან მანქანას. ორთქლვანაწილე-
ბა განხორციელებულია დგუშებიანი მკვეთარით, რომელიც მოძრაობაში მოდის მანქანის



ნაკ. 4—27. ლოკომობილი П—75.

კომობილის გარე ხედი. ეს არის სტაციონარული ლოკომობილების ტიპური კონს-
ტრუქცია:

ნაკ. 4—29-ზე ნა-
ჩვენებია თბოფიკაცი-
ური სტაციონარული
ლოკომობილი СТ—
125, რომელსაც აქვს
ერთცილინდრიანი ორ-
თქლის მანქანა.

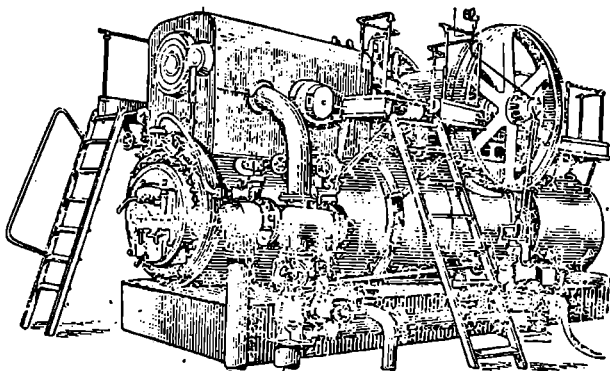
მიუხედავად იმი-
სა, რომ ლოკომობი-
ლის სქემიდან ნათელია
თბოფიკაციური ლო-
კომობილის მოქმედ-
ების პრინციპი, მაინც
შევნიშნავთ, რომ მე-
ორე ზეთგამომყოფი-
დან (16) გამოსუ-
ლი გასუფთავებული
ნამუშევარი ორთქლი
გამოიყენება თბომომარაგებისათვის. ნამუშევარი ორთქლის ნაწილი შეიძლება ართმეულ
იქნეს სხვადასხვა მიზნისათვის ვენტილიდან (17), ხოლო ორთქლის დანარჩენი რა-
ოდენობა შედის თბოგადამკვეთში (18), სადაც ხდება წყლის გათბობა თბოფიკაციის მი-
ზნებისათვის.

იმეამად საბჭოთა კავშირში შემოაქვთ უნგრეთიდან, ჩეხოსლოვაკიიდან, ფინეთიდან
და გერმანიის დემოკრატიული რესპუბლიკიდან მცირე რაოდენობით სტაციონარუ-
396

მუხლა ლილვზე დაყე-
ნებული ღერძული რე-
გულატორით. სიმძლა-
ვრის გადაცემა ხორ-
ციელდება მარცხენა
მხარეს მოთავსებული
მქნევარაზე მოდებული
ღვედის საშუალებით.

გადასაადგილებე-
ლი ლოკომობილები-
დან ამჟამად ქარხნები
უშეებენ П—75 მარკის
ლოკომობილს, რომ-
ლის გარე ხედი ნაჩვენებია
ნაკ. 4—27-ზე.

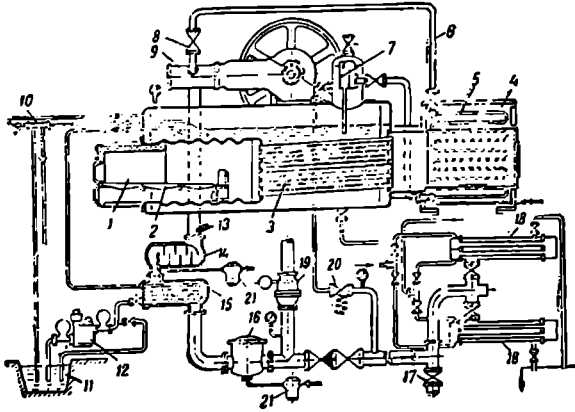
ნაკ. 4—28-ზე ნა-
ჩვენებია კონდენსაცი-
ური სტაციონარული
CK—125 მარკის ლო-



ნაკ. 4—28 ლოკომობილი CK—125.

ლი ლოკომობილები. უნგრეთის CL—28 მარკის კონდენსაციური სტაციონარული ლოკომობილების სიმძლავრე არის 60 ც. ძალა. მანქანის ბრუნთა რიცხვი $n = 280$ ბრ/წთ. გადახურებულ ორთქლის წნევა არის 14 ატკ და ტემპერატურა 320 °C.

ფინეთის „სამპო“-ს მარკის ლოკომობილების სიმძლავრე არის 175 ცხენის ძალა. მას აქვს კონდენსატორი და ორმაგი გაფართოებით მომუშავე ორცილინდრიანი ორთქლის მანქანა. მანქანის ბრუნთა რიცხვი $n = 200$ ბრ/წთ. ასეთი ლოკომობილების ორთქლის წნევა, გადახურების ტემპერატურა და მუშაობის ეკონომიურობა გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე საბჭოთა ლოკომობილებისა.



ნაკ. 4—29. CT—125 მარკის თბოფაქციური ლოკომობილის სქემა.

1-წინასყიდველი, 2-სუბსტიტუციური ცხარე, 3-გადამუშავებელი მილები, 4-საქაპალი კაპრა, 5-ორთქლიანი გადამხურებელი ორთქლის მილი, 7-ორთქლ-სამარხი, 8-საპეტა კვანძი, 9-ორთქლ-სამარხი, 10-საქაპალი, 11-საქაპალი წყლის ავარი, 12-ტენი, 13-საქაპალი ორთქლის გასაღები მილი, 14-პირველი ზედაპირული, 15-წყლის შენობი, 16-მარჯვენა ზედაპირული, 17-ორთქლის აბრეშვილი, 18-თბოგადამუშავებელი, 19-საქაპალი, 20-გადამუშავებელი საქაპალი, 21-საქაპალი.

ჩემოსლოვაკიდან და გერმანიის დემოკრატიული რესპუბლიკიდან შემოაქვთ დიდი სიმძლავრის (300 ც. ძ. ზევით) ლოკომობილები.

ლოკომობილების დადებით მხარეებად შეიძლება ჩაითვალოს:

- 1) დანადგარის კომპაქტურობა, რაც ნაკლებობათა მშენებლობაზე ხარჯების შემცირების საშუალებას იძლევა;
- 2) ორთქლის მანქანისათვის სპეციალური საძირკვლის უთანაობა, მანქანა დამაგრებულია ზემოდან თვით ორთქლის ქვაბზე;
- 3) მოსახურების, მონტაჟისა და რემონტის სიმარტივე;
- 4) ნებისმიერი სახის სათბობის გამოყენების შესაძლებლობა, მათ შორის სოფლის მეურნეობის წარმოების ნარჩენისა;
- 5) მნიშვნელოვანი ხანმოკლე გადატვირთვის შესაძლებლობა;
- 6) ნამუშევარი ორთქლის გამოყენების შესაძლებლობა გათბობისა და ტექნოლოგიური მიზნებისათვის.

აღნიშნული დადებითი მხარეების შედეგად ლოკომობილებმა მოიპოვა ფართო გამოყენება როგორც მრეწველობაში, ისე სოფლის მეურნეობაში, როგორც თბოძალურმა დანადგარებმა სიმძლავრით 25—1000 ცხენის ძალამდე.

გადასაადგილებელი ლოკომობილების ეკონომიური მარჯი ქმედების კოეფიციენტი, როდესაც ისინი გამოყენებულია მხოლოდ, როგორც ძალური დანადგარები ელექტროენერჯის გამოსამუშავებლად, განისაზღვრება 6—8% ით. კონდენსატორიანი ლოკომობილების ეკონომიური მარჯი ქმედების კოეფიციენტი იზრდება 10 ÷ 11%-მდე.

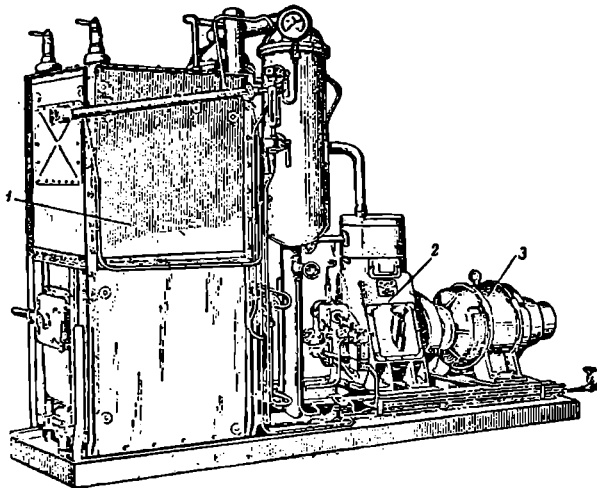
მნიშვნელოვანად ხელსაყრელია ლოკომობილების გამოყენება კომბინირებულად როგორც ელექტროენერჯის, ისე სითბური ენერჯის გამოსამუშავებლად. თანამედროვე თბოეკოსური ლოკომობილების ეკონომიური მარჯი ქმედების კოეფიციენტი აღწევს 60-70% მდე, როდესაც ელექტროენერჯისთან ერთად მომხმარებელს გადაეცემა სითბური ენერჯია—ცხელი წყლისა და ორთქლის სახით.

4-22. ახალი ტიპის ორთქლძალური დანადგარები სოფლის მეურნეობისათვის

მიუხედავად რიგი დადებითი მხარეებისა, ლოკომობილს ახასიათებს ზოგიერთი ნაკლოვანება, როგორცაა სიმძლავრის ერთ ცხენის ძალაზე მოსული ლითონის დიდი წონა (Π-75 მარკის ლოკომობილი იწონის 7,5 ტონას), დაბალი ეკონომიური მარჯი ქმედების კოეფიციენტი და სხვ. ამიტომ რიგი წლების განმავლობაში ტრადიციულად სა-

თანადო მუშაობა, რათა შექმნილიყო ლოკომობილებთან შედარებით უფრო სრულყოფილი ორთქლძალური დანადგარი, რომელიც თავისუფალი იქნებოდა იმ ნაკლოვანებებისაგან, რომლებითაც ხასიათდებიან ლოკომობილები.

სოფლის მეურნეობის მექანიზაციის სრულიად საკაფირო სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტის (ВИМ) მიერ შეიქმნა და მრეწველობამ უკვე სერიული გამოშვებისათვის აითვისა ახალი მსუბუქი ორთქლძალური დანადგარები ПУ-1. ასეთი დანადგარის გა-



ნაკ. 4-30. ПУ-1 მარკის ორთქლძალური დანადგარი.

1-ნაწილებიანი ორთქლის კვაბი, 2-სწრაფი სვლის ორთქლის მანქანა, 3-დანადგარის საერთო ხაზისზე დადგმული სინკრონული ელექტროენერჯატორი.

რე ხედი ნაჩვენებია ნაკ. 4-30-ზე. ПУ-1 ორთქლძალური დანადგარი დაახლოებით ორჯერ მსუბუქია ასეთივე სიმძლავრის ლოკომობილზე და თბომომარაგებისათვის გამოდინებული ნამუშევარი ორთქლის სითბოს გამოყენების საშუალებას იძლევა. დანადგარი მომარაგებულია წვევის სპეციალური წარმოქმნელებით, რომლებიც იძლევიან საშუალებას ნამუშევარი ორთქლი არ იქნეს გადინებული ატმოსფერულ ჰაერში. განხილული დანადგარები ლოკომობილებთან შედარებით მუშაობენ უფრო ეკონომიურად, რადგან დანადგარში გამოყენებულია, შედარებით ლოკომობილებთან, მაღალი საწყისი პარამეტრებიანი გადახურებული ორთქლი. ორთქლის წნევაა 22 კგ/სმ² და გადახურების ტემპერატურა 375°C.

დანადგარის საცეცხლეს დიდი ზომები საშუალებას იძლევა გამოყენებულ იქნეს

დაბალი ხარისხის სათბობები, მათ შორის ტორფი, შეზა და მურა ნახშირები მოქარბე-
ბული ტენიანობითა და ნაკრიანობით. დანადგარს აქვს სპეციალური მოწყობილობა საქვა-
ბე წყლის შიგა თერმული დაწვევისათვის, რაც იძლევა საშუალებას ქვაბი გვევროთ
მაღალი სიხისტის მქონე წყლით. თუ ლოკომობილის გაწვევისათვის საჭიროა 2 : 3
საათი და ზოგჯერ ცოტა მეტიც, **ЛПУ—1** დანადგარის გაწვევისათვის საჭიროა მხოლოდ
35 — 45 წუთი.

ქვემოთ მოყვანილია **ЛПУ—1** მარკის ძირითადი ტექნიკური მონაცემები.

ЛПУ—1 ორთქლძალური დანადგარის ტექნიკური მახასიათებლები

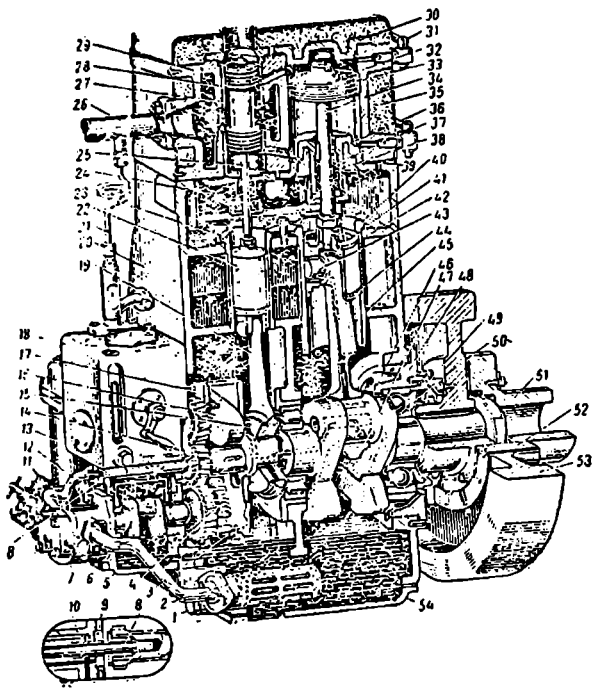
ნომინალური სიმძლავრე .	40 ც. ძ.
ორთქლის წნევა .	22 კგ/სმ ²
გადახურებული ორთქლის ტემპერატურა	375 °C
მანქანის ბრუნთა რიცხვი	1000 ბრ/წთ.
ცილინდრის დიამეტრი	125 მმ
დგუშის სვლის სიღიფე	120 მმ
ქვაბის ორთქლმწარმოებლობა	300 კვ/სთ.
ქვაბის ხურების ზედაპირი	8 მ ²
ორთქლგადამხურებლის ხურების ზედაპირი	3,5 მ ²
ქვაბის წყალტევადობა .	250 ლიტრი
საცეცხლეს ცეცხლარიქვიანა ცხურას ფართობი	0,46 მ ²
საცეცხლეს მოცულობა	0,52 მ ³
ორთქლის ზვედრითი ხარჯი .	7,2 კგ/ც. ძ. სთ.
პირობითი სათბობის ხარჯი ვრთ ცხენის ძალახე საათში	1 კგ/ც. ძ. სთ.
დანადგარის მთელი წონა .	2200 კგ
სიგრძე	3680 მმ
სიგანე	1320 მმ
სიმაღლე	2400 მმ
ელექტროგენერატორი .	СГ—35/6
გამანაწილებელი ფარი . .	ЦАП—35 р (ტიპის)

როგორც აღნიშნული იყო, **ЛПУ—1** დანადგარს აქვს ერთცილინდრიანი შევული ორ-
მბრივი ქმედების ორთქლის მანქანა მკვეთარული ორთქლგანაწილებით. ბრუნთა რიც-
ხვისა და ორთქლის წნევის მიხედვით ის მიეკუთვნება მაღალი ბრუნვისა და გადიდებული
წნევის ორთქლის მანქანებს.

ЛПУ—1 ორთქლძალური დანადგარის ორთქლის მანქანა ნაჩვენებია ნაკ. 4—31-ზე,
ხოლო მისი პრინციპული სქემა — ნაკ. 4—32-ზე.

იმავე სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის (ВИМ) მიერ შემუშავებულია და გადაცე-
მულია სერიული გამოწვევისათვის ახალი ორთქლძალური დანადგარი **СПУ—125**, რომლის
ორთქლის მანქანის სიმძლავრეა 125 ცხენის ძალა. ორთქლის ქვაბი თავისი კონსტრუქ-
ციით მსგავსია **ЛПУ—1** დანადგარის ქვაბისა. დანადგარის ორთქლის მანქანა შედგება

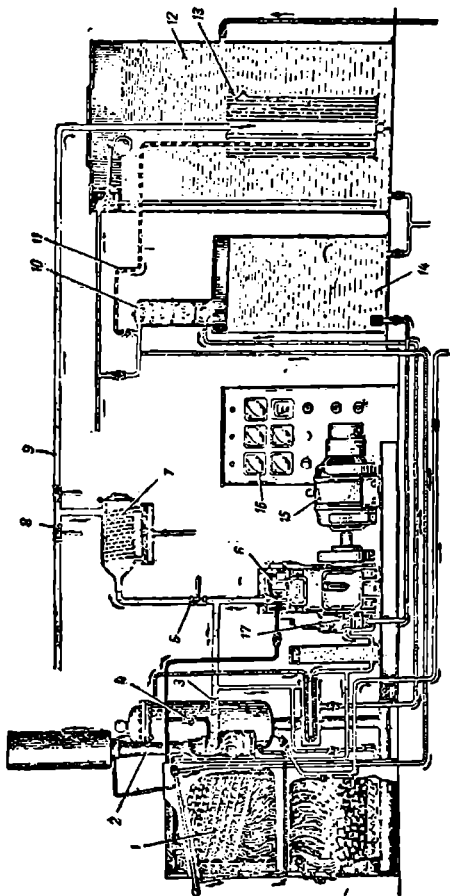
ორი პორიზონტალური ცილინდრისაგან; მას აქვს ბრუნთა რიცხვი 750 ბრ/წთ. აბ. გამად ახალი მსუბუქი ორთქლძალური დანადგარების შექმნაზე მუშაობს აგრეთვე ცენტრალური ქვაბტურბინის სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტის მოსკოვის ფილიალი (МО



ნაკ. 4—31. ЛПУ—1 ორთქლძალური დანადგარის სწრაფი სვლის ორთქლის მანქანა.

1-ჩამონაშენი საყობი, 2-ხეობივლები, 8-ბრუნთა რიცხვის სარეგულირებელი განივი, 4-რეგულატორის ხაზბარაკი, 5-წყლის საყვები ტუბო, 6-ზეთსადენი, 7-ზეთის ტუბო, 8-მუხლა ლიფთან ზეთის მისაწოდებელი მილაკი, 9-კარტერის წინა სახურავი, 10-მაყურბირი, რებელი მილისი, 11-ზეთის ფილტრი უბში გაწმენდასთვის, 12-დამწვევი ზეთსადენი, 13-ფილტრი სუფთა გაწმენდასთვის 14-დამხმარებ მოწყობილობათა ამძრავი კიბანა, 15-ჰომბრავი გაქვრბირი, 16-ტიტოვი, 17-ცენტრიდანული რეგულატორის კორპუსი, 18-ლუმბრიატორი, 19-მეფთვარის ბარბაცა, 20-კარტრა, 21-ზეთსადენი, 22-მეფთვარის მცოცი, 23-მასრა, 24-ჩოხალი, 25-3-ვეთარის კოცი, 26-ორთქლის შეწვები მილი, 27-მეფთვარა, 28-მეფთვარის მასრა, 29-ცილინდრის ბლაკი, 30-ცილინდრის ზედა სახურავი, 31-გამოსადინებელი თქანი, 32-დგუმი, 33-დგუმის რგოლი, 34-კოცი, 35-სითბური იზოლაცია, 36-ცილინდრის ქვედა სახურავი, 37-38-ჩოხალის რგოლები, 39-ზეთსადენი, 40-მცოცის მასრა, 41-მცოცი, 42-მემაქვირბირი რგოლი, 43-თითი, 44-ზეთსადენი რგოლი, 45-თითი, 46-მუხლა ლიფი, 47-ბარბაცის საყობის სახურავი, 48-საყობის გარსაკრი, 49-სახურავი, 50-ზეთარეკვი რგოლი, 51-ქვრის მილუბი, 52-ქვრის რბილი თითი, 53-მეფთვარა, 54-მეფთვი.

ЦКТИ), მათ მიერ უკვე შექმნილია სანიმუშო გადასაადგილებელი დანადგარები სიმძლავრით 25 და 100 ც. ძ.



ნაკ. 4.—32. მოწყ.—1 ორთქლისური დანადგარი პონტიკული სკემა.
 1-ორთქლის ტუბი, 2-სადავლი, 3-ბოლი, 4-ბოლი სივრთისაგან, 5-ჩაქვნი გახაფიბული ოყანი, 6-ბოლი სივრთისაგან, 7-ხუთკუთხედი, 8-ბოლის ახრბეი ოყანი, 9-ორთქლის ოყანი, 10-დებარატი, 11-კანფერატი დანადგარული შილი, 12-აქსი ბოხის ბუქნულირბისაგან, 13-ბოლი, 14-ბოლი, 15-ბოლი, 16-ბოლი, 17-ბოლი.

ბანსოფილბა მისუთა

ოტოქლის ზარბინეზი

თ ა ვ ი 5-1

ძირითადი ცნებანი

5-1. ოტოქლის ბუზბინეზის მოქმედების პრინციპი და მათი კლასიფიკაცია

ოტოქლის ტურბინები ეწოდება ისეთ როტაციულ ძრავებს, რომლებშიაც ადგილი აქვს ოტოქლის პოტენციალური ენერჯის გარდაქმნას ჯერ კინეტიკურ ენერჯიად და შემდგომ კინეტიკური ენერჯის გარდაქმნას ტურბინის ლილვის ბრუნვის მექანიკურ ენერჯიად.

ოტოქლის ტურბინის მთავარ ნაწილს წარმოადგენს როტორი, რომელიც ტურბინის მუშაობის პროცესში მოიყვანება ბრუნვით მოძრაობაში.

როტორი შედგება ლილვისაგან, რომელზედაც დამაგრებულია ერთი ან რამდენიმე დისკო. დისკოს წრებაზე დამაგრებულია მუშა ნიჩბები; ამ ნიჩბებზე გადინების დროს ოტოქლს ტურბინის როტორი მოჰყავს ბრუნვით მოძრაობაში და სრულდება მუშაობა. ტურბინის როტორის ლილვის ბოლოზე დაყენებული ქუროს საშუალებით მოძრაობაში მოიყვანება ელექტროგენერატორი.

მუშა ნიჩბებიანი ყოველი დისკოს წინ დამაგრებულია საქშენებიანი აპარატი, რომელიც რამდენიმე უძრავი საქშენისაგან შედგება. როგორც ტექნიკური თერმოდინამიკიდან ცნობილია, საქშენები განკუთვნილია ოტოქლის პოტენციალური ენერჯის კინეტიკურ ენერჯიად გარდასაქმნელად. საქშენებში ჰაერის დროს ოტოქლის წნევა მცირდება და იზრდება მისი ჰაერის სიჩქარე.

საქშენიდან დიდი სიჩქარით გამოდინებული ოტოქლის ჰაერი შედის მუშა ნიჩბებში და იქ ასრულებს მუშაობას. მუშა ნიჩბებში მუშაობის შესრულების შემდეგ ნამუშევარი ოტოქლი შემციურებული სიჩქარით სტოვებს ოტოქლის ტურბინას.

საქშენებიანი აპარატი შესაბამისი მუშა ნიჩბებიან დისკოსთან ერთად ქმნის წნევის საფეხურს. საერთოდ ოტოქლის ტურბინები შედგებიან ერთი ან რამდენიმე, ე. ი. წნევათა მრავალი საფეხურისაგან.

ნაქ. 5-1-ზე ნაჩვენებია წნევის ერთსაფეხურიანი უმარტივესი ოტოქლის ტურბინის როტორის სქემა.

ოტოქლის ტურბინის როტორის ლილვზე (1) დამაგრებულია მრუდბაზოვანი მუშა ნიჩბებიანი (3) დისკო (2). დისკოს წინ უძრავად დაყენებულია საქშენებიანი აპარატი (4). ისრით (5) ნაჩვენებია საქშენში ოტოქლის შესასვლელი, ხოლო ციფრით (6) საქშენიდან მუშა ნიჩბებზე ოტოქლის შედინება.

ოტოქლის ჰაერი შევა რა დიდი სიჩქარით მუშა ნიჩბებში, ოტოქლის ნაწილაკები მის ჩაზნექილ ზედაპირზე აწარმოებენ დაწოლას ცენტრიდანული ძალის მოქმედებით. ამ ძალით წარმოებულ მუშაობას ეწოდება აქტიური, ხოლო ასეთი მუშაობის დროს წნევის საფეხურს—აქტიური საფეხური.

აქტიური პრინციპით მიმუშავე ორთქლის ტურბინის მუშა ნიჩბებში გავლისას ორთქლის წნევა არ იცვლება.

შესაძლებელია მეორე შემთხვევა, როდესაც მუშა ფრთებზე ხდება ორთქლის წნევის დაცემა. წნევის შემცირებას თან ერთვის ორთქლის სიჩქარის გადიდება მუშა ნიჩბების მიმართ და განსაკუთრებული განზიდვის ძალის აღძვრა, რომელსაც რეაქტიული წნევა ეწოდება. ამ წნევით წარმოებულ მუშაობას რეაქტიული ეწოდება.

როდესაც წნევის საფეხურში ერთდროულად მიიღება აქტიური და რეაქტიული მუშაობები, მაშინ საფეხურს უწოდებენ რეაქტიულს.

ორთქლის ტურბინების კლასიფიკაცია მათში მიმდინარე სითბური პროცესისა და მათი დანიშნულების მიხედვით ქვემოთყვანილი ნიშნების საფუძველზე ხდება.

ა) ორთქლის ტურბინიდან გამოძავილი ნამუშევარი ორთქლის სითბოს გამოყენების მიხედვით;

ბ) მუშა ნიჩბებში სითბური პროცესის ხასიათისა და საფეხურთა რაოდენობის მიხედვით;

გ) კორპუსების, ე. ი. ცილინდრების მიხედვით.

ნამუშევარი ორთქლის სითბოს გამოყენების მიხედვით ორთქლის ტურბინები იყოფა შემდეგნაირად:

1. სუფთა კონდენსაციური ტურბინები, რომლებიც ასრულებენ მხოლოდ ელექტროგენერატორების ამძრავების ფუნქციებს. ასეთ ტურბინებში მთელი ნამუშევარი ორთქლი მიეწოდება კონდენსატორებში, რომლებიც მუშაობენ ღრმა ვაკუუმით (0,03—0,05 ატა). ასეთი ღრმა ვაკუუმით მიმუშავე კონდენსატორების გამაცივებელი წყლის სითბო არ გამოყენება მისი დაბალი ტემპერატურის გამო.

თანამედროვე სუფთა კონდენსაციურ ორთქლის ტურბინებში შუალედურ წნევათა საფეხურებიდან აწარმოებენ ორთქლის ნაწილის ართმევას, ქვების საკეები წყლის შეთბობისათვის (ე. წ. საკეები წყლის რეგენერაციული შეთბობისათვის);

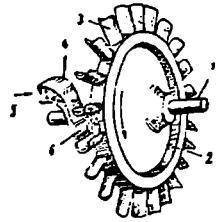
2. ტურბინები გაუარესებული ვაკუუმით, რომელთა კონდენსატორებში არ არის ღრმა ვაკუუმი და მათგან გამოძავალ გამაცივებელ წყალს შედარებით მაღალი ტემპერატურა აქვს. გადიდებული ტემპერატურის მქონე გამაცივებელი წყალი გამოიყენება გათბობისა და ცხელი წყლით მომარაგებისათვის და სხვ.;

3. ტურბინები უკუწნევით, რომლებსაც ნამუშევარი ორთქლი გამოდის ატმოსფერულ წნევაზე მეტი წნევით; ასეთ შემთხვევაში ნამუშევარი ორთქლი გამოიყენება გათბობისათვის, ტექნოლოგიური მიზნებისათვის და სხვ.;

ამავე ტიპს მიეკუთვნება ე. წ. წინ ჩართული ტურბინები, რომლებშიც ორთქლი შედის მაღალი წნევით, ხოლო მათგან გამოდინებული ნამუშევარი ორთქლი გამოიყენება საშუალო წნევის ტურბინებში;

4. ტურბინები ორთქლის შუალედური ართმევით, რომლებშიც ახდენენ შუალედურ საფეხურებში ორთქლის ნაწილის ართმევას წარმოების საჭიროებისათვის ან სხვადასხვა მიზნისათვის, ხოლო ორთქლის დანარჩენი ნაწილი გაივლის მომდევნო საფეხურებს და შემდგომ მიეწოდება კონდენსატორს;

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ორთქლის შუალედური ართმევა შეიძლება განხორციელდეს როგორც გაუარესებული ვაკუუმით მომუშავე, ისე უკუწნევიან ტურბინებში;



ნაქ. 5—1. უმარტივესი ტურბინის რატორის სქემა.

1—ორთქლის ტურბინის ლილეი, 2—დასკო, 3—მუშა ნიჩბები, 4—საკეები, 5—გარეჟალის გაუარესების გზა.

5. ტურბინები ორთქლის შუალედური მიწოდებით (ორი წნევის ტურბინები), რომლებიც გამოიყენება უხმაური. ე. ი. ახალი ორთქლი ორთქლის ქვაბებიდან და წარმოებულია ორთქლის უარეებიდან, ორთქლის მანქანებიდან და სხვ) მიღებული ნამუშევარი ორთქლი.

მუშა ფრთებში სითბური პროცესის ხასიათისა და საფეხურთა რაოდენობის მიხედვით ორთქლის ტურბინები იყოფა შემდეგნაირად:

1. აქტიური ორთქლის ტურბინები წნევათა ერთი საფეხურით და სიჩქარეთა ერთი საფეხურით;
2. აქტიური ტურბინები წნევათა ერთი საფეხურით და სიჩქარეთა ორი ან სამი საფეხურით;
3. აქტიური ტურბინები წნევათა მრავალი საფეხურით;
4. რეაქტიული ტურბინები მრავალსაფეხურიანი;
5. კომბინირებული აქტიური ტურბინები, რომლებშიც ორთქლი ჯერ გაივლის სიჩქარეთა საფეხურებიან დისკოს ნიჩბებს და შემდეგ წნევათა აქტიური საფეხურების ნიჩბებს;

6. კომბინირებული აქტიურ-რეაქტიული ტურბინები, რომლებშიც უხმაური — ახალი ორთქლის შესავლის მხრიდან აქტიური პრინციპით მომუშავე რამდენიმე საფეხურია, ხოლო მომდევნო წნევათა საფეხურები მუშაობენ რეაქტიული პრინციპით.

კორპუსების, ე. ი. ცილინდრების მიხედვით ტურბინები არსებობენ ერთკორპუსიანი და მრავალკორპუსიანი.

5—2. თანამედროვე ორთქლის ტურბინის მოქმედების სქემა

წნევათა საფეხურებიანი ორთქლის ტურბინების შესწავლისას, როგორც უკვე ზემოთ აღვნიშნეთ, ვარჩევთ აქტიურ და რეაქტიულ საფეხურებიან ტურბინებს.

თანამედროვე ორთქლის ტურბინებში უპირატეს გამოყენებას პოულობს წნევათა აქტიური საფეხურებიანი ტურბინები.

როგორც უკვე ვიცით, აქტიური პრინციპით მომუშავე წნევათა საფეხურში ორთქლის წნევის შემცირება ხდება მხოლოდ საქმენებში, ხოლო მუშა ნიჩბებში გაღინებისას ორთქლი ინარჩუნებს მუდმივ წნევას.

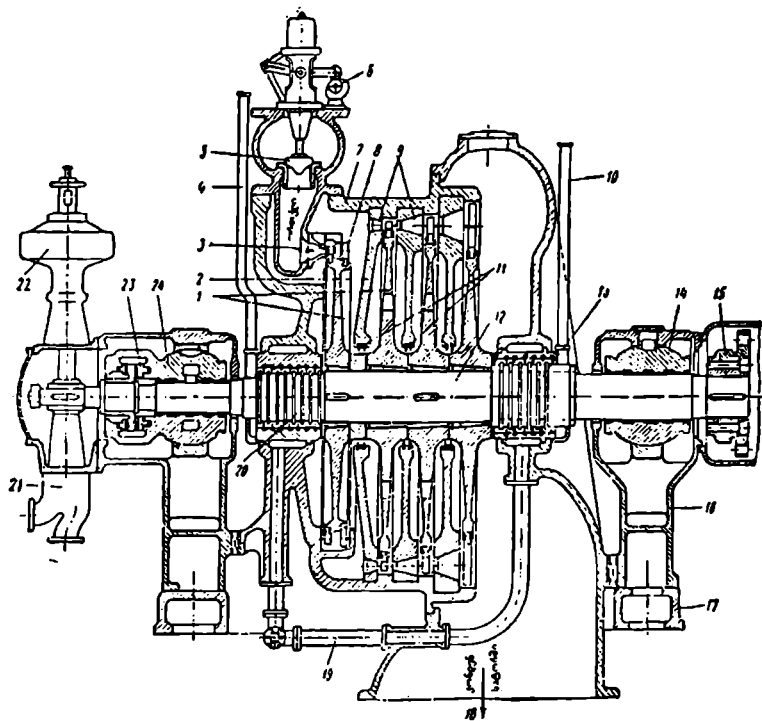
ასეთ შემთხვევაში მუშაობა სრულდება მოძრავი მუშა ფრთის მრუდხაზოვან ზედაპირზე ორთქლის ქაველის ცენტრიდანული დაწოლის ძალის მოქმედებით.

ნაკ. 5—2-ზე ნაჩვენებია მრავალსაფეხურიანი აქტიური ორთქლის ტურბინის სქემატური განივი კრილი. ტურბინის ნაჩვენები განივი კრილი ნათელ წარმოდგენას იძლევა ორთქლის ტურბინის კონსტრუქციულ ელემენტებზე და მათი შეთანწყობილ მუშაობაზე.

როგორც ტურბინის სქემატური განივიკრილიდან ჩანს, ტურბინა შედგება წნევის ოთხი საფეხურისაგან. ჩვეულებრივ პირველი საფეხურის საქმენები წრეხაზის მხოლოდ ნაწილზე არიან განლაგებული, ამაში გამოისახება საფეხურის ე. წ. პარციალური მოქმედება. ესეი აღნიშნულია პარციალობის ხარისხი; იგი წარმოდგენს საქმენებით დაკავებული რკალის სიგრძის ფარდობას საფეხურის საანგარიშო წრეხაზის მთელ სიგრძესთან.

მცირე სიმძლავრის ტურბინებში შეიძლება დაყენებულ იქნეს სულ 1 ან 2 საქმენი. დანარჩენ შემთხვევებში პირველი საფეხურის პარციალობის ხარისხი შეადგენს 0,2—0,4 და უფრო მეტს.

ტურბინის სიმძლავრის რეგულირებისათვის ჩვეულებრივად ცვლიან პირველი საფეხურის პარციალობის ხარისხს. ხშირ შემთხვევაში პირველ საფეხურს ამზადებენ მუშა ნიჩბების ორი წყებით, ე. ი. ორგვირავიანი, როგორც ეს ნაჩვენებია ნაკ. 5—2-ზე.



ნაკ. 5—2. ორბრუნის ტურბინის სტრუქტურული განივი კრილი.

1-შუბა დისკოები, 2-დიადრავები, 3-პირველი საუბურის საქმენი, 4-მაყენ შალა მალაღ წვეის მზიდან, 5-ორბრუნეშვები სარქველი, 6-ორბრუნეშვების მუშტა ლილეი, 7-ტურბინის კოპუსი (ვალინფორი), 8-ძეშა ნიხბები, 9-საქმენის აპარატები დიადრავებში, 10-მაყენ მილი დახალი წვეის მზიდან, 11-ლაბირინტული შეჭვიდოვანანი დიადრავებში, 12-ტურბინის ლილეა, 13-შეჭვიდოვანანი დახალი წვეის მზიდან, 14-საუბრენი საქისარი დახალი წვეის მზიდან; 15-ულსუაუკეჩატრთან მისაერთებელი კურა, 16-საქისრის ბოლოანი, 17-საძირკვლის ჩარჩო, 18-კონვენსატორში ორბრუნის გაშვება, 19-ორბრუნის მიწოდება შეჭვიდოვანან, 20-შეჭვიდოვანანი მალაღ წვეის მზიდან, 21-საქისრის მთავარი ტუქობი, 22-საქისრის მთავარი რეგულატორი, 23-საბრუნენი საქისარი, 24-საყენანანი საქისარი.

ზირელი საფეხურის საქმენებთან უხმარი (ახალი) ორთქლის მიწოდება ხორციელდება მარეგულირებელი სარქველებით (5).

ორთქლის ტურბინის უკანასკნელი საფეხურიდან გამოდინებული ნაქუმეყარი ორთქლი მილყელის (18) საშუალებით მიეწოდება კონდენსატორში. როდესაც ორთქლის ტურბინისა და ელექტროგენერატორის ბრუნთა რიცხვები ერთნაირია, მაშინ მათი ლილვების ბოლოების ერთმანეთთან მიერთება ხორციელდება ქუროს (15) საშუალებით.

ხშირად, განსაკუთრებით მცირე სიმძლავრეების ტურბინების შემთხვევაში ტურბინის ლილვსა და ელექტროგენერატორის ლილვს შორის იდგმება კბილა რედუქტორი, ტურბინის ბრუნთა რიცხვის შესამცირებლად.

ნაკ. 5—2 ზე ნაჩვენებია სქემის მიხედვით რეგულირებისათვის გამოყენებულია ცენტრიდანული რეგულატორი (22), რომელიც დაკავშირებულია მარეგულირებელ სარქველებთან ზეთის სერეოპოტორის საშუალებით. §

5—3. ტურბინების ძირითადი ღებულები

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ორთქლის ტურბინის მთავარ კონსტრუქციულ ნაწილებს შეადგენს წრიულ მოძრაობაში მყოფი დეტალების ერთობლიობა — რ ო ტ ო რ ი და უძრავი დეტალების ერთობლიობა — ს ტ ა ტ ო რ ი.

ტურბინის კონსტრუქციის მთავარ ნაწილს შეადგენს მბრუნავი როტორი. როგორც ნაკ. 5—1-ზე იყო ნაჩვენები, როტორი შედგება ლილვისაგან და მასზე დამაგრებული მუშა ნიჩბებიანი დისკოსაგან.

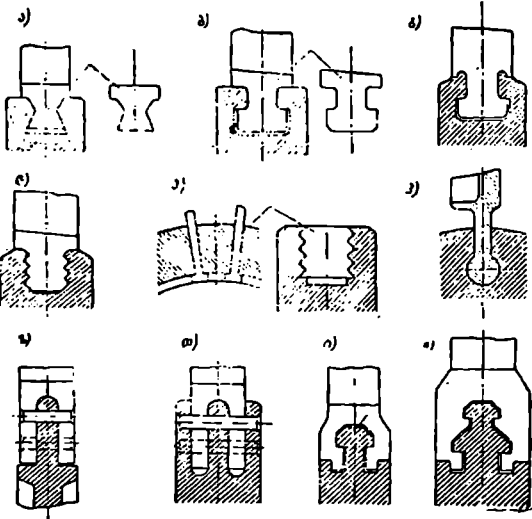
ამასთან ერთად მცირე წრეხაზული სიჩქარეების დროს დისკოების ნაცვლად გამოიყენება დოლური როტორები.

როტორის ლილვზე დაყენებულ დისკოს ფერსაში წრეხაზზე ამოჩარხულ ლარში დასამაგრებლად მუშა ნიჩბებს აქვს ამა თუ იმ ფორმის ბოლოები.

ნაკ. 5—3-ზე ნაჩვენებია ორთქლის ტურბინების მუშა ნიჩბების ბოლოების ზოგიერთი ტიპობრივი ფორმა.

ნაკვთზე ჩანს, რომ გარე მხრიდან მუშა ნიჩბების ბოლოებზე მიერთებულია საბანდაეო ლენტის, რომელიც ფრთების არხს კვრავს.

ტურბინის მუშა დისკოს (თვლების) ცენტრალურ ნაწილს ეწოდება მორავი, ხოლო მუშა ნიჩბების მისამაგრებლად მომარჯვებულ გასქელებულ ნაწილს, დისკოს პერიფერიაზე, ეწოდება ფერსო.



ნაკ. 5—3. სხვადასხვა ფორმის ბოლოებიანი მუშა ნიჩბების დამაგრების ხერხები.

ა-ზერსის ბოლოები, ბ და გ-T-მაგარი ბოლო, დ-იხილა ბოლო, ე-მუშა ნიჩბის გაბრუნვის ბოლო (და კბილა შეადგენს სხვადასხვა), ვ-ლაქალის კონსტრუქციის მუშა ნიჩბი, ზ და თ-ორთქლი ბოლოები (შეფრთხილეს ჩაქვანა), ი-გარე T-მაგარი ბოლო, კ-ორთქლი ვარი T-მაგარი ბოლო.

დისკოს დანიშნულებაა, ვინაიდან ის ყრუდ არის დამაგრებული ლილვზე, მუშა ფრთებიდან ლილვზე მგრეხავი მომენტის გადაცემა. თუ ორთქლის ტურბინები მუშაობს მაღალი და ზემაღალი წნევის ორთქლით, მაშინ მაღალი წნევის საფეხურებისათვის დისკოებს ხშირად ჩარხავენ ლილვთან ერთად ერთ ნაქედლიან.

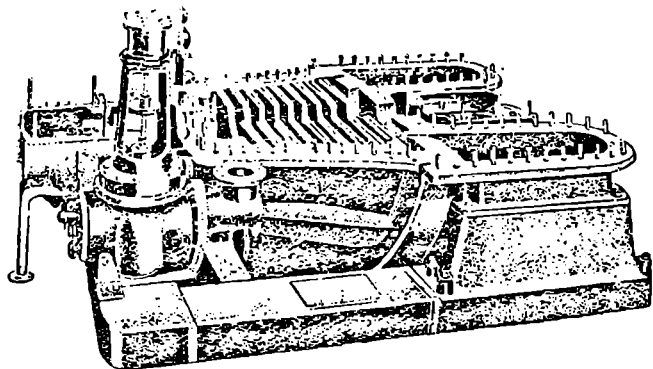
რეაქტიულ ტურბინებში მცირე წრეხაზული სიჩქარეების დროს, როდესაც დისკოების მაგივრად იყენებენ ღრუტანიან ნაქედ დოლს, რომელიც ლილვის ნაწილს წარმოადგენს, მუშა ნიჩბების გვირგვინები მაგრდება ამ დოლის ზედაპირზე.

ორთქლის ტურბინის ლილვებს ამზადებენ საფეხურებიანს, შუა ნაწილში გადიდებული დიამეტრით. ლილვების დასამზადებლად გამოიყენება მცირედლევირებული ქრომონიკელიანი და სხვა მაღალხარისხოვანი ფოლადი.

სტატორის, ე. ო. ტურბინის უძრავი ნაწილის ცალკეულ ნაწილებს წარმოადგენენ საძირკვლის ჩარჩო (ფილა), კორპუსი (ცილინდრი), დიფრაგმები და მათში დაყენებული მიმართველი აპარატები.

ტურბინის საძირკვლის ჩარჩო (ფილა) წარმოადგენს ღრუტანიან თუჯის ჩამონახამს, რომლის დანიშნულებაა საძირკველზე ვერტიკალური დატვირთვების გადაცემა. მცირე სიმძლავრის აგრეგატებში ტურბინას და ელექტროგენერატორს აქვთ ერთი საერთო ჩარჩო.

ორთქლის ცილინდრი (კორპუსი) შიგა მხრიდან განიცილის ორთქლის წნევის გავლენას, ხოლო უკანასკნელ საფეხურებში, სადაც ორთქლის წნევა ნაკლებია ატმოსფერო-



ნაკ. 5-4. ტურბინის კორპუსი.

რული ჰაერის წნევაზე, ცილინდრის გარე ზედაპირი განიცილის ჰაერის შემკუმშავ დაწნევას.

ტურბინის ცილინდრს ყოველთვის აქვს ჰორიზონტალური სახსნელი. შესაძლოა საკირო შემთხვევაში ცილინდრს ჰქონდეს ვეეული სახსნელი.

ცილინდრები მზადდება თუჯის ან ფოლადის სხმულიდან, ხოლო მაღალი წნევის შემთხვევაში გამოიყენება სხმული ფოლადი ან ნაქედი კონსტრუქციები.

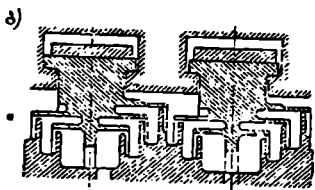
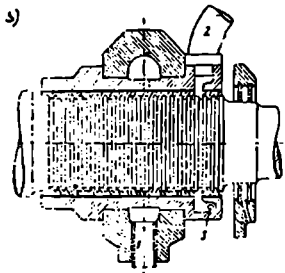
ტურბინებში უნძარი ორთქლის შესაშვები არხები განგარიშებულია ორთქლის სიჩქარისათვის 35-60 მ/წმ, ხოლო ნამუშეგარი ორთქლის გამოსაშვებ მილყელში დაშვებულია გამოდინების სიჩქარე 75-140 მ/წმ.

ნაკ. 5-4-ზე ნაჩვენებია ორთქლის ტურბინის ცილინდრის (კორპუსის) ქვედა ნახევარი საძირკვლის ფილიანად ერთად (ნამუშეგარი ორთქლის გამოსაშვები ნაწილი

მარჯვენა მირიანაა). დიაფრაგმებად წოდებულია დისკოებს შორის უძრავად დაყენებული ტიხრები, რომელთა პერიფერიულ ნაწილში დაყენებულია მიმართული აპარატები, უკანასკნელები ამავე დროს ასრულებენ საქშენების ფუნქციებს. დიაფრაგმების მასალად გამოიყენება თუჯი და თუ წნევა აღემატება $20 \div 25$ კგ/სმ² და გადახურების ტემპერატურა 250°C -ს, ნაჭედი ფოლადი.

მიმმართველი აპარატების ქვეშ იგულისხმება საქშენები, ხოლო სიჩქარეთა საფეხურებში მიმმართველი ნიჩბები აგრეთვე პროფილირებული კვეთის აქტიური მუშა ნიჩბების მსგავსი არიან. წნევის აქტიური საფეხურების საქშენების სეგმენტებს კი შეიძლება მეტად სხვადასხვანაირი კონსტრუქცია ჰქონდეთ.

ორთქლის ტურბინების კონსტრუქციულ ლეტალებში საბასუნისმგებლო ლეტალს წარმოადგენს შემჭიდროება, რომლებიც თავისი ადგილსამყოფელის მიხედვით იყოფა გარე და შიგა შემჭიდროებებად.



გარე შემჭიდროებას მიეკუთვნება ის შემჭიდროება, რომელიც როგორც მაღალი, ისე დაბალი წნევის მხრიდან გააღვილებულია იმ ადგილას, სადაც ლილვი გამოდის ცილინდრიდან. შიგა შემჭიდროებანი კი დაყენებულია დიაფრაგმებში წნეების საფეხურებს შორის.

თავისი კონსტრუქციის მიხედვით შემჭიდროებანი არსებობს ლაბირინტული, რომლებიც ყველაზე უფრო მეტად გამოიყენებიან და, აგრეთვე, ნახშირისა და წყლის.

ნაქ. 5 - 5 ზე ნაჩვენებია ლაბირინტული შემჭიდროების ტიპობრივი კონსტრუქცია.

როგორც ნაკეთიდან ჩანს, ლაბირინტული შემჭიდროება შედგება რამდენიმე საფეხურისაგან.

ორთქლის ტურბინის საკისრები იყოფა საყრდენ და საბრჯენ საკისრებად. პირველის დანიშნულებაა შეეუღლი დატვირთვის ათვისება, მეორესი კი ტურბინის ღერძის გასწვრივ მიმართული ძალების მოქმედებისაგან როტორის ღერძული გადაადგილების თავიდან აცილება. როგორც საყრდენი, ისე საბრჯენი საკისრები არსებობენ სხვადასხვა კონსტრუქციის.

ნაქ. 5—5. ლაბირინტული და ნაძვერი შემჭიდროებანი.
ა—ლაბირინტული შემჭიდროება დაბალი წნევის მხრიდან, 1—ორთქლის მიწოდება, 2—მასუ მალა, 3—საწვეტი, 4—ნაძვერი შემჭიდროება.

თ ა ვ ი 5 2

მუშა პროცესი, ენერჯიის გარდაქმნა საქშენებსა და მუშა ნიჩბებზე და სითბოს გამოყენება ტურბინებში

5—4. მუშა პროცესი და ენერჯიის გარდაქმნა საქშენებსა და მუშა ნიჩბებზე

პირველ რიგში განვიხილოთ იქნება აქტიური პრინციპით მომუშავე ტურბინებში მიმდინარე პროცესები. როგორც წინა თავში იყო აღნიშნული, აქტიურ ტურბინებში ორთქლის პოტენციალური ენერჯიის გარდაქმნა კინეტიკურ ენერჯიად მიმდინარეობს

საქშენებში და შემდგომ ორთქლის კინეტიკური ენერჯიის გარდაქმნა ტურბინის ლილვის ბრუნვითი მექანიკურ ენერჯიად მიმდინარეობს მუშა ნიჩბებში.

ნაკ. 5—6-ზე ნაჩვენებია ორთქლის სითბოშემცველობის ვარდნა საქშენში გარემოზე სითბოს გადაცემის უთანაობისას, ე. ი. როდესაც დაშვებული იქნება, რომ საქშენში ორთქლი ფართოდება ადიამატურად გარე მუშაობის შესრულების გარეშე.

საქშენიდან გამოდინებისას ადგილი აქვს ორთქლის წნევის შემცირებას და სითბოშემცველობის ვარდნას, რის შედეგად იზრდება ორთქლის გამოდინების აბსოლუტური სიჩქარე. თუ საქშენიდან გამოდინებისას ორთქლის სიჩქარეს აღვნიშნავთ c_1 მ/წმ-ით, მაშინ იგი

ალკურვილი იქნება $\left(\frac{c_1^2}{2g}\right)$ კგმ/კგ კინეტი-

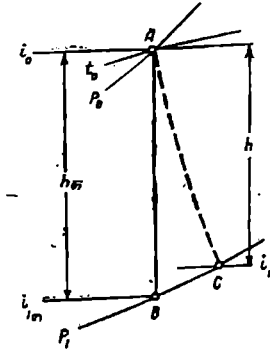
კური ენერჯიით.

საქშენში გადინებისას თუ ადგილი არ ექნება გარემოზე ორთქლის სითბოს გადაცემას, მაშინ ორთქლის სითბოშემცველობის ვარდნა განისაზღვრება სიდიდით

$$h = (i_0 - i_1) \text{ კკალ/კგ,}$$

სადა i_0 კკალ/კგ არის ორთქლის სითბოშემცველობა საქშენის წინ,

i_1 კკალ/კგ — ორთქლის სითბოშემცველობა საქშენიდან გამოდინებისას.



ნაკ. 5—6. საქშენში მიმდინარე პროცესი i_s -დიაგრამაზე.

ნაკ. 5—6-ზე A წერტილით $(i-s)$ დიაგრამაზე გამოსახულია ორთქლის მდგომარეობა საქშენის წინ. საქშენში ორთქლის ადიამატური გაფართოებისას ადგილი რომ არ ჰქონდეს კარგვებს, მაშინ ორთქლის სითბოშემცველობის ვარდნის სიდიდე გამოისახებოდა ვერტიკალური ხაზის AB მონაკვეთით და ეს ტოლი იქნებოდა $AB = h_0 = i_0 - i_{10}$ კკალ/კგ.

მაშასადამე, ამ შემთხვევაში ორთქლის სითბოშემცველობის ვარდნის სიდიდეს უნდა შეესაბამებოდეს კინეტიკური ენერჯიის ნაზრდი

$$h_0 = A \left(\frac{c_1^2}{2g} - \frac{c_0^2}{2g} \right),$$

ხოლო გამოდინების აბსოლუტური სიჩქარე ტოლი იქნება

$$c_1 = \sqrt{\frac{2g}{A} h_0 + c_0^2} = \sqrt{8380 h_0 + c_0^2} = 91,53 \sqrt{h_0 + \frac{A c_0^2}{2g}} \text{ მ/წმ.}$$

ვინაიდან საქშენში გაფართოებისას ადგილი აქვს კარგვებს, ამიტომ საქშენიდან გამოდინებისას ორთქლის აბსოლუტური სიჩქარე მიიღება შედარებით მცირე სიდიდისა და განისაზღვრება ფორმულით

$$c_1 = \varphi c_{10} = \varphi \sqrt{8380 h_0 + c_0^2} = \sqrt{8380 \varphi^2 h_0 + \varphi^2 c_0^2} = 91,53 \sqrt{h + \frac{A c_0^2}{2g} \varphi^2} \quad (5-1)$$

სადაც φ არის საქშენის სიჩქარის (შემცირების) კოეფიციენტი.

აღნიშნული მიზეზით ორთქლის სიჩქარის შემცირება დაკავშირებულია საქშენში ორთქლის კინეტიკური ენერჯიის ნაწილის კარგვასთან, რაც შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

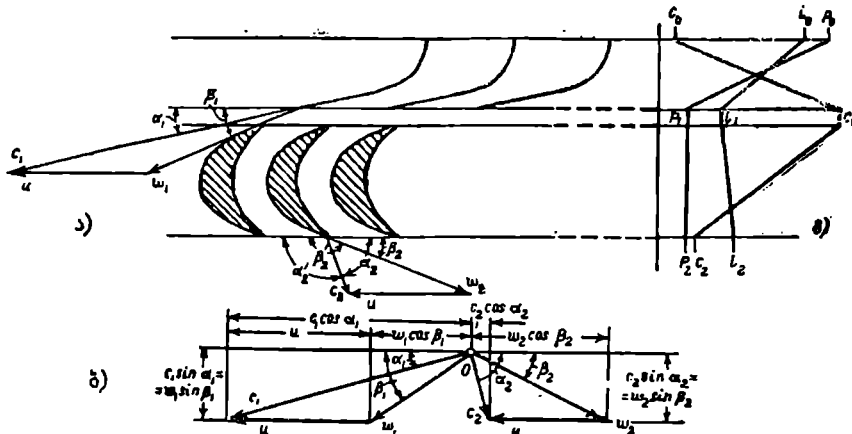
$$h_{\text{საქ.}} = \frac{A}{2g} (c_0^2 - c_1^2) = \frac{2c_0^2}{2g} (1 - \varphi^2) = \left(h_0 + \frac{Ac_0^2}{2g} \right) (1 - \varphi^2); \quad (5-2)$$

ეს უკანასკნელი გარდაიქმნება სითბურ ენერგიად და ადიღებს ორთქლის სითბო-
შემცველობას i_{10} -დან i_1 -მდე, რის შედეგად ორთქლის გამოდინების კინეტიკურ ენერგი-
ად გარდაიქმნება სითბოშემცველობის ნამდვილი ვარდნა $h = \varphi^2 h_0 = i_0 - i_1$ და სა-
ქშენში მიწოდებული ორთქლის კინეტიკური ენერგიის ნაწილი $\frac{Ac_0^2}{2g} \varphi^2$.

ვინაიდან სინამდვილეში საქშენში მიწოდებისას ორთქლის სიჩქარე c_0 საქშენიდან
გამოდინებრს სიჩქარესთან c_1 შედარებით მეტად მცირეა, მას უგულებელყოფენ და თვლი-
ან რომ $c_0 = 0$. ამიტომ ფორმულები (5-1) და (5-2) მიიღებენ შემდეგ სახეს:

$$c_1 = 91,53 \sqrt{h} \quad \text{და} \quad h_{\text{საქ.}} = h_0 (1 - \varphi^2).$$

საქშენიდან გამოდინებული ორთქლი განსაზღვრული აბსოლუტური სიჩქარით შე-
დის ტურბინის დისკოს მუშა ნიჩბებში, როგორც ეს ნაჩვენებია ნაქ. 5-1-ზე.



ნაქ. 5-7. ორთქლის გადინების სქემა აქტიურ საფეხურში

c_1 აბსოლუტური სიჩქარით საქშენიდან გამოდინებული ორთქლის ნაკადი რომელი-
ღაც α_1 დახრის კუთხით შედინდება ტურბინის მუშა ნიჩბებზე, რომელთა არხებში გავ-
ლენას ორთქლი შეიცვლის მოძრაობის მიმართულებას და გამოდინდება მათგან c_2 აბ-
სოლუტური სიჩქარით.

ვინაიდან ორთქლი მუშა ნიჩბების არხში გავლისას იცვლის მიმართულებას და
ფრთების ჩანქნილი ზედაპირი განიცდის ორთქლის დაწნევას, ტურბინის ე.წ. როტო-
რი, ე. ი. ლილევი მუშა ნიჩბებით მომარაგებული დისკოთი მოდის ბრუნვით მოძრაობა-
ში. ტურბინის როტორის ბრუნვა რიცხვი პირობადებულია ე. წ. მუშა ნიჩბების მოძრაო-
ბის საშუალო წრიული სიჩქარით ω მ/წმ.

ნაქ. 5-7-ზე ნაჩვენებია ორთქლის გადინების სქემა ორთქლის ტურბინის აქტიურ
საფეხურში.

ნაქ. 5-7, ა-ზე ნაჩვენებია საქშენებისა და მუშა ნიჩბების განლაგების სქემა (კრი-
ლი ნიჩბების სამალის შუა ადგილზე). ვინაიდან მუშა ნიჩბები მოძრაობენ წრიული სი

ჩქარით $\omega = \frac{\pi D n}{60}$, ორთქლის მუშა ნიჩბებში შესვლის ფარდობითი სიჩქარე w_1

ტოლია c_1 და μ სიჩქარეთა გეომეტრიული სხვაობისა და განისაზღვრება ორთქლის ნიჩბებში შესვლის სიჩქარეთა სამკუთხედების აგების საშუალებით. მუშა ნიჩბებში ორთქლის შესვლისა და გამოსვლის სიჩქარეთა სამკუთხედები ნაჩვენებია როგორც ნაკ. 5-7, ა-ზე, ისე ცალკე ნაკ. 5-7, ბ-ზე.

ორთქლის ფარდობითი სიჩქარე მუშა ნიჩბებიდან გამოსვლისას w_2 ნაკლებია, ზედრე მასში შესვლისას w_1 . ორთქლის ფარდობითი სიჩქარის შემცირება აღირიცხება ნიჩბის სიჩქარის კოეფიციენტი ψ და გამოდინების სიჩქარე წარმოიღვინება შემდეგი სახით:

$$w_2 = \psi w_1. \quad (5-3)$$

მუშა ნიჩბების სიჩქარის კოეფიციენტი, ისე როგორც საქშენის სიჩქარის კოეფიციენტი, ისაზღვრება ექსპერიმენტული წესით.

ფარდობითი სიჩქარის შემცირება დაკავშირებულია მუშა ნიჩბებში ორთქლის ნაკადის კინეტიკური ენერჯის კარგვასთან, რომელიც ტოლია

$$h_6 = \frac{A}{2g} (w_1^2 - w_2^2) = \frac{A w_1^2}{2g} (1 - \psi^2) = \frac{A w_1^2}{2g} \left(\frac{1}{\psi^2} - 1 \right) \quad (5-4)$$

კინეტიკური ენერჯის ამ დანაკარგით პირობადებულია მუშა ნიჩბებიდან გამოდინებული ნამუშევარი ორთქლის სითბოშემცველობის გადიდება.

ნამუშევარი ორთქლის ნიჩბებიდან გამოდინების აბსოლუტური სიჩქარე c_2 წარმოადგენს გეომეტრიულ ჯამს u_2 და μ სიჩქარეებისა და მისი სიდიდე და გამოდინების კუთხე α_2 ისაზღვრება გამოდინების სიჩქარეთა სამკუთხედების აგების საშუალებით, როგორც ეს ნაჩვენებია ნაკ. 5-7, ბ-ზე. ამავე ნაკვთზე ნაჩვენებია ყველა სიჩქარის გეგმილების სიდიდეები დისკოს სიბრტყეზე (წრებაზული მდგენელი სიჩქარების) და დისკოს მარტობ მიმართულებაზე (სიჩქარების ღერძული მდგენელი).

თუ გამოვიყენებთ სიჩქარეთა სამკუთხედებს, შესაძლოა განისაზღვროს ორთქლის ნაკადის მთელი დაწოლის გეგმილის სიდიდე დისკოს სიბრტყეზე (წრებაზული დაწნევა) და ღერძულ მიმართულებაზე (ღერძული დაწნევა). მუშა ნიჩბზე ორთქლის ნაკადის მთელი დაწოლის სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს იმპულსის კანონის (მოძრაობის რაოდენობის) დახმარებით, რომლის მიხედვით ძალის ნამრავლი დროის ელემენტზე (ძალის იმპულსი) მასისა და სიჩქარის ნამრავლის მთელი გეომეტრიული ცვლილების (მოძრაობის რაოდენობის) ტოლია.

ძალის იმპულსი დროის ერთეულში (წამში) თვით ამ ძალის სიდიდის ტოლია.

თუ ტურბინის ნიჩბებში გამავალი ორთქლის წამური რაოდენობა არის G კგ/წმ, მაშინ ნიჩბების არხში შემავალი ორთქლის მოძრაობის რაოდენობა ტოლია $\frac{G}{g} c_1$,

სადაც ისარი c_1 -ზე ნიშნავს, რომ მოძრაობის რაოდენობა არის ვექტორული სიდიდე. ნიჩბებიდან გამომავალი ნამუშევარი ორთქლის მოძრაობის რაოდენობა ტოლია $\frac{G}{g} c_2$,

და იმპულსის კანონი გამოისახება ვექტორული განტოლებით

$$\vec{P} = \frac{G}{g} (c_1 - c_2).$$

დისკოს სიბრტყესა და ღერძულ მიმართულებაზე სიჩქარეთა გეგმილები სრული წრებაზული დაწნევის განსაზღვრის საშუალებას იძლევიან:

$$P_x = \frac{G}{g} (c_1 \cos \alpha_1 + c_2 \cos \alpha_2) = \frac{G}{g} (w_1 \cos \beta_1 + w_2 \cos \beta_2). \quad (5-5)$$

ერთი წამის განმავლობაში G კგ ორთქლის მიერ ტურბინის ნიჩბზე წარმოებული წამური მუშაობა ანუ სიმძლავრე ისაზღვრება გამოისახულებით

$$L_u = P_u \cdot u = \frac{G u}{g} (c_1 \cos \alpha_1 + c_2 \cos \alpha_2) = \frac{G u}{g} (\omega_1 \cos \beta_1 + \omega_2 \cos \beta_2). \quad (5-6)$$

ერთი კილოგრამი ორთქლის მიერ წარმოებული მუშაობა ანუ ხვედრითი მუშაობა ისაზღვრება გამოსახულებით

$$l_u = \frac{L_u}{G} = \frac{u}{g} (c_1 \cos \alpha_1 + c_2 \cos \alpha_2) \text{ კგმ/კგ}. \quad (5-7)$$

ნაკ. 5-7, გ-ზე ნაჩვენებია ორთქლის წნევის, აბსოლუტური სიჩქარისა და სითბოშემცველობის ცვლილებანი საქშენში და მუშა ნიჩბებში მისი ვაელისას.

როგორც წინა თავში იყო აღნიშნული, აქტიურ პრინციპთან ერთად აგრეთვე გამოიყენება ტურბინების მუშაობის რეაქტიული პრინციპი.

რეაქტიული ტურბინის საქშენში ადგილი აქვს ორთქლის ნაწილობრივ გაფართოებას რომელიდაც უშუალოდ წნევაზე და კინეტიკურ ენერჯიად გარდაქმნას საფეხურში მთელი სითბოშემცველობის ვარდნის ნაწილისა $(1-\rho)h_0$, სადაც ρ არის საფეხურში მუშა ნიჩბებზე მოსული სითბოშემცველობის მთელი ვარდნის ნაწილი; სიდიდე ρ -ს უწოდებენ ტურბინის რეაქციის ხარისხს.

მუშა ნიჩბებზე ორთქლი განაგრძობს გაფართოებას და წნევის შემცირებას საბოლოო სიდიდემდე. ამასთან ორთქლის ფარდობითი სიჩქარე w_1 იზრდება w_2 სიჩქარემდე.

ნაკ. 5-8-ზე ნაჩვენებია ორთქლის ტურბინის რეაქტიულ საფეხურში მიმდინარე პროცესი is დიაგრამაზე.

ორთქლი საქშენში ფართოვდება p_1 წნევიდან p_2 წნევამდე, და ორთქლი საქშენიდან გამოდის აბსოლუტური სიჩქარით

$$c_1 = \varphi \sqrt{8380 (1-\rho) h_0 + c_0^2} = \sqrt{8380 (1-\rho) h' + \varphi^2 c_0^2} \text{ მ/წმ}. \quad (5-8)$$

ნაკ. 5-8. ორთქლის ტურბინის რეაქტიულ საფეხურში მიმდინარე პროცესი is დიაგრამაზე.

ორთქლის შესვლის სიჩქარეთა სამკუთხედი, როდესაც მოცემულია α_1 კუთხის სიდიდე, საშუალებას იძლევა განისაზღვროს ფარდობითი სიჩქარე w_1 და მუშა ნიჩბებში ორთქლის შესვლის β_1 კუთხე. ორთქლის სითბოშემცველობა მუშა ნიჩბებში შესვლისას, საქშენში დანაქარვის გამო განისაზღვრება C_1 წერტილით is დიაგრამაზე (ნაკ. 5-8.)

მუშა ნიჩბებზე ადგილი აქვს ორთქლის შემდგომ გაფართოებას, რის გამო ნიჩბებს შორის ვასადინებელი არხი შევიწროვებოდა, როგორც ეს ნაჩვენებია ნაკ. 5-9, ა-ზე. მუშა ნიჩბებში ორთქლის გაფართოებით საბოლოო წნევამდე შეპირობებულია ფარდობითი სიჩქარის w_2 -ს ზარბაზნად, რომლის სიდიდე ისაზღვრება ფორმულით:

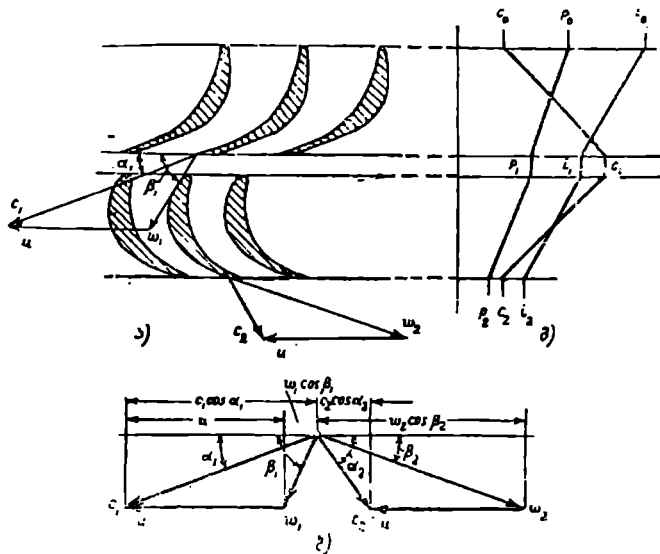
$$w_2 = \varphi \sqrt{8380 \cdot \rho \cdot h_0 + w_1^2} = \sqrt{8380 \cdot \rho \cdot h'' + \varphi^2 \cdot w_1^2} \quad (5-9)$$

ნაკ. 5-9, გ-ზე ნაჩვენებია წნევის, აბსოლუტური სიჩქარისა და სითბოშემცველობის ცვლა.

მუშა ნიჩბებიდან გამოდინებულ ნამუშევარ ორთქლს აქვს c_2 აბსოლუტური სიჩქარე და კინეტიკური ენერჯია

$$h_2 = \frac{A \cdot c_2^2}{2g}, \quad (5-10)$$

რომელიც გამოუყენებელი რჩება ამ საფეხურში. რაც შეიძლება სითბოშემცველობის შეტი ვარდნის გამოსაყენებლად ორთქლს ატარებენ არა ერთ საფეხურში, არამედ რამდენ



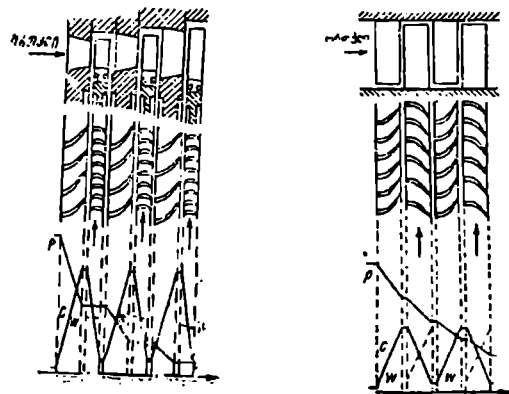
ნაკ. 5-9. ორთქლის გადინების სქემა რეაქტიულ საფეხურში.

ნიმე საფეხურში, ე. ი. ორთქლი თანამიმდევრობით გადის რიგ საფეხურებს და სითბო-შემცველობის ვარდნა ხდება თანდათანობით რამდენიმე საფეხურში.

ნაკ. 5-10-ზე ნაჩვენებია ორთქლის წნევის, აბსოლუტური და ფარდობითი სიჩქარეების გრაფიკები წნევის სამი საფეხურისაგან შემდგარი აქტიური ტურბინისათვის. როგორც წნევითა გრაფიკიდან ჩანს, ორთქლის წნევა ეცემა მხოლოდ საქმენებში, ხოლო მუშა ნიჩბებში გაელისას რჩება მუდმივი. ფარდობითი სიჩქარე უმნიშვნელოდ ეცემა მუშა ნიჩბებზე ხახუნის გამო.

აბსოლუტური სიჩქარის გრაფიკს აქვს სერვის-მაგვარი სახე, მიემართება რა ზემოთ საქმენებში და ეშვება რა ქვემოთ ნიჩბებზე.

ნაკ. 5-11-ზე ნაჩვენებია რეაქტიული ტურბინის წნევის ორი მოსაზღვრე საფეხურისათვის გასადინებელი ნაწილის სქემა, ორთქლის წნევის, აბსოლუტური და ფარდობითი სიჩქარეების გრაფიკებით.



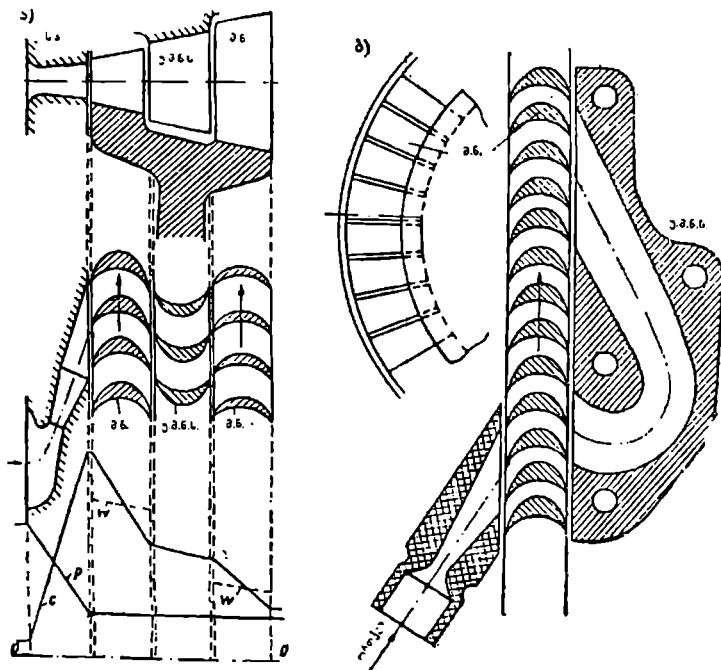
ნაკ. 5-10. სამსაფეხურიანი აქტიური ტურბინის გასადინებელი ნაწილის სქემა გრაფიკებით.

ნაკ. 5-11. ორსაფეხურიანი რეაქტიული ტურბინის გასადინებელი ნაწილის სქემა გრაფიკებით.

როგორც გრაფიკიდან ჩანს, ორთქლის წნევის შემცირებას ადგილი აქვს როგორც საქშენებში, ისე მუშა ნიჩბებზე.

ორთქლის აბსოლუტური სიჩქარის გრაფიკი პრინციპულად არ განსხვავდება შესაბამისი მრავალსაფეხურიანი აქტიური ტურბინის გრაფიკისაგან, ხოლო ფარდობითი სიჩქარეები მუშა ნიჩბებში გადინებისას ორთქლის გაფართოების გამო დიდდება.

ნაკ. 5—12-ზე ნაჩვენებია სიჩქარის ორსაფეხურიანი წნევის საფეხურის ორი შემთხვევა. მათგან პირველში (ა) არის მუშა ნიჩბების ორი წყება და ერთი შუალედური წყება უძრავი ნიჩბებისა, რომელთა დანიშნულებაა მხოლოდ ორთქლის ჰაერის მიმართულების შეცვლა და ამიტომ მათ მიმმართველი ეწოდებათ.



ნაკ. 5—12. სიჩქარის ორსაფეხურიანი წნევის აქტიური საფეხურის სქემები.

ს. ა.-საქშენის აპარატი, ფ. შ. ნ. ს.-უძრავი მიმმართველი ნიჩბების სტრუქტურა, შ. ნ.-მუშა ნიჩბების გვირგვინი, უ-წვევათა გრაფიკი, ც-აბსოლუტურ სიჩქარეთა გრაფიკი, ა-ფარდობითი სიჩქარეთა გრაფიკი.

მეორე შემთხვევაში (ბ) ორთქლის ჰაერი მუშა ნიჩბების ერთსა და იმავე გვირგვინზე ორჯერ ვადის, ასრულებს რა შუალედურ შემობრუნებას განსაკუთრებული ფორმის მიმმართველ აპარატებზე. ნაკ. 5—12, ა-ზე ნაჩვენები გრაფიკები გვიჩვენებენ, რომ ორთქლის წნევის დაცემა ხდება მხოლოდ საქშენ აპარატებში და როგორც მიმმართველ, ისე მუშა ნიჩბებზე წნევა რჩება მუდმივი, ხოლო აბსოლუტურ სიჩქარეს, საქშენში გადინების შემდეგ აქვს ნიჩბების ყოველ წყებაზე საფეხურიანი დაცემა.

ტურბინის საფეხურში ძირითადი დანაკარგებია: საქშენებში $h_{საქ}$, მუშა ნიჩბებში h_6 და გამოღინების სიჩქარით h_2 . ისინი საზღვრავენ ფარდობითი მარგი ქმედების კოეფიციენტს. მუშა ნიჩბებზე $\eta_{ფ. 6.}$, რომლის მნიშვნელობა აქტიური საფეხურისათვის ისაზღვრება ფორმულით:

$$\eta_{ფ. 6.} = \frac{h_{თ.} - h_{საქ} - h_6 - h_2}{h_{თ.}} = 1 - \zeta_{საქ} - \zeta_6 - \zeta_2, \quad (5-11)$$

სადაც $\zeta_{საქ}$, ζ_6 და ζ_2 არის საქშენში, ნიჩბში და გამოღინების სიჩქარით დანაკარგების ფარდობითი სიდიდეები.

ფარდობითი მარგი ქმედების კოეფიციენტი მუშა ნიჩბებზე ($\eta_{ფ. 6.}$) წარმოადგენს ერთ კილოგრამ ორთქლზე მოსული მექანიკური მუშაობის ფარდობას საფეხურში სითბოშემცველობის თეორიულ ვარდნასთან. (5-7) ფორმულის საფუძველზე (5-11) ფორმულის შრიცხველი შეიძლება გამოისახოს შემდეგი სახით:

$$h_{თ.} - h_{საქ} - h_6 - h_2 = A l_u = \frac{A u}{g} (c_1 \cos \alpha_1 + c_2 \cos \beta_2).$$

გამოვიყენებთ რა სიჩქარეთა სამკუთხედებს (ნაქ. 5-7, ბ), შეიძლება დაიწეროს:

$$\begin{aligned} l_u &= \frac{u}{g} (c_1 \cos \alpha_1 + u_2 \cos \beta_2 - u) = \frac{u}{g} (c_1 \cos \alpha_1 + \psi u_1 \cos \beta_1 - u) = \\ &= \frac{u}{g} \left[c_1 \cos \alpha_1 - u + \psi (c_1 \cos \alpha_1 - u) \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} \right] = \frac{u}{g} (c_1 \cos \alpha_1 - u) \times \\ &\times \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} \right) = \frac{c_1^2}{g} x (\cos \alpha_1 - x) \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} \right), \end{aligned}$$

სადაც $x = \frac{u}{c_1}$.

მუშა ნიჩბებზე ორთქლის სასარგებლო მუშაობა ნებისმიერი c_1 და $h_{თ.}$ სიდიდების დროს დამოკიდებულია x სიჩქარეთა ფარდობის სიდიდეზე. თუ პირველი მიახლოებით ჩავთვლით, რომ ψ და $\frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1}$ არ არიან დამოკიდებული x სიდიდეზე, მაშინ სა-

სარგებლო მუშაობისა და ნიჩბებზე მ. ქ. კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა მიიღება პირობისათვის

$$\frac{d l_u}{d x} = 0, \quad \text{ე.} \quad \frac{d \left[\frac{c_1^2}{g} x (\cos \alpha_1 - x) \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} \right) \right]}{d x} = 0.$$

მაშასადამე, $\frac{c_1^2}{g} \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} \right) (\cos \alpha_1 - 2x) = 0,$

ე. ი. როდესაც

$$x = \frac{u}{c_1} = \frac{1}{2} \cos \alpha_1. \quad (5-12)$$

(5-12) ფარდობა წარმოადგენს მთავარ პირობას აქტიურ საფეხურში მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტის მიღებისათვის. თეორიულად მ. ქ. კოეფიციენტის უდიდესი მნიშვნელობა მიიღება, როდესაც კუთხე $\alpha_1 = 0$, მაგრამ ეს შეუძლებელია.

ამიტომ აქტიური საფეხურებისათვის იღებენ $\alpha_1 = 12 \div 14^\circ$, იქვეათ შეიმოხვევებში იღებენ 10° . როდესაც უფოზე α_1 -ის სიდიდე იღება მოყვანილ ფარგლებში, მიიღება უხელსაყრელესი სიჩქარეთა ფარდობა $\frac{u}{c_1} = 0,45 \div 0,48$.

ანალოგიური მსჯელობით მივაღწეოთ დასკვნამდე, რომ რეაქტიულ საფეხურებში მაქსიმალური სასარგებლო მუშაობა მიიღება, როდესაც

$$\alpha = \frac{u}{c_1} = \cos \alpha_1 \quad (5-13)$$

რეაქტიული საფეხურებისათვის იღება $\alpha_1 = 16 \div 20^\circ$ და სიჩქარეთა ფარდობა მიიღება $\frac{u}{c_1} = 0,9 \div 0,94$.

შევნიშნავთ, რომ გამოდინების სიჩქარის ენერგია ყოველთვის არ იკარგება; შესაძლებელია მისი გამოყენება მომდევნო საფეხურში.

რეაქტიული ტურბინის საფეხურებში გამოდინების სიჩქარის ენერგია მთლიანად ან მისი უმეტესი ნაწილი გამოიყენება, ხოლო აქტიურ ტურბინებში გამოიყენება ნაწილი.

ჩვეულებრივ ორთქლის გამოდინების სიჩქარის გამოყენების μ კოეფიციენტს აქვს მნიშვნელობა $0,5 \div 0,6$.

გარდა იმ დანაქარებებისა, რომლებიც მხედველობაში იყო მიღებული (5-11) ფორმულის შედგენისას, საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს ორთქლთან დისკოს ხახუნით და ვენტლაკით გამოწვეული დანაქარებები და, აგრეთვე, ნიჩბებში შეუსვლელად ორთქლის გადადინებით და ორთქლის ტენიანობით გამოწვეული დანაქარებები. ხახუნსა და ვენტლაკიაზე დაქარგული $N_{\text{ხ.გ.}}$ სიმძლავრის განსაზღვრისათვის მოყვანილია სტოდოლის ფორმულა:

$$N_{\text{ხ.გ.}} = \lambda \cdot \gamma \cdot |AD^2 + B(1 - \varepsilon)D| \cdot l^{1,5} \cdot \left(\frac{u}{100}\right)^3 \text{ კვტ.} \quad (5-14)$$

სადაც l — მ არის ნიჩბების საშუალო დიამეტრი;

ε — პარციულობის ხარისხი (საფეხურის);

μ მ/წმ — წრიული სიჩქარე;

γ კგ/მ³ — ხვედრითი წონა;

l სმ — ნიჩბების სიმაღლე;

λ , A და B — კოეფიციენტები.

გადახურებული ორთქლისათვის λ იღება ერთის ტოლი, ხოლო ტენიანი ნაჯერი ორთქლისათვის

$$1,2 \div 1,3; \quad A \approx 1,0 \quad B \approx 0,6.$$

ერთ კილოგრამ ორთქლზე მოსული დანაქარგი ხახუნსა და ვენტლაკიაზე სითბური ერთეულებით შეადგენს:

$$h_{\text{ხ.გ.}} = \frac{860 \cdot N_{\text{ხ.გ.}}}{3600 \cdot G} \text{ კკალ/კგ.} \quad (5-15)$$

ცხადია, რომ მცირე სიმძლავრის ორთქლის ტურბინებში დიდი მნიშვნელობა აქვს დანაქარებს ხახუნსა და ვენტლაკიაზე, ხოლო რაც შეეხება დიდი სიმძლავრის ტურბინებში ის შეადგენს უმნიშვნელო სიდიდეს.

ორთქლის ნაწილი ერთი საფეხურიდან მეორე საფეხურში გადადინდება შემკიდრობების საშუალებით ისე, რომ მუშა ნიჩბებზე არ მოხვედებიან და არ აწარმოებენ მუ-

შაობას. შექვიდროებრს საშუალებით ვიდადინებული ორთქლის რაოდენობა $G_{აააა}$ შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს შემდეგი სახის მიახლოებითი ფორმულით:

$$G_{აააა} = f \sqrt{\frac{g(p_1^2 - p_2^2)}{z \cdot p_1 \cdot p_2}}$$

სადაც p_1 კგ/მ² და p_2 კგ/მ² არის ორთქლის წნევა შექვიდროების წინ და შემდეგ;
 $f = \pi \cdot d \cdot z$ — რგოლური ღრეზის ფართობი;
 p_1 მ²/კგ — ორთქლის ხვედრითი მოცულობა შექვიდროების წინ;
 z — თხემების რაოდენობა.

ამრიგად, სითბური ენერჯიის დანაკარგი გადადინების საშუალებით განისაზღვრება

$$h_{აააა} = \frac{G_{აააა}}{G} \cdot h_{ა.} \quad (5-16)$$

დაბალი წნევის საფეხურში ორთქლი ხდება ნაჯერი და მისი ტენიანობა თანდათან იზრდება. ორთქლში ტენის არსებობა იწვევს დამატებით დანაკარგებს. ამ დანაკარგის ზუსტი გაანგარიშება გაძნელებულია. დაახლოებით თვლიან 1% დანაკარგს ყოველ 1% ტენზე.

მაშასადამე, დანაკარგი საფეხურში შეიძლება განისაზღვროს გამოსახულებით

$$h_{ააა} = (1 - x) \cdot h_{ა.} \quad (5-17)$$

სადაც x არის ტენიანი ნაჯერი ორთქლის სიმზრალის ხარისხი.

როდესაც განსაზღვრულია ყველა დანაკარგი, ადვილად განისაზღვრება საფეხურის მარგი ქმედების კოეფიციენტი და მის მიერ განვითარებული სიმძლავრე.

მთელი დანაკარგების ჯამი ტოლი იქნება:

$$\Sigma h_{დაანაკარგი} = h_{ააა} + h_{ააბ} + (1 - \mu) h_{ააოა} + h_{ა. გ.} + h_{აააა} + h_{ააა},$$

ხოლო ერთ კილოგრამ ორთქლზე მოსული სასარგებლო მუშაობად გარდაქმნილი ორთქლის სითბოშემცველობის ვარდნა განისაზღვრება ტოლობით

$$h = h_{ა.} - \Sigma h_{დაანაკარგი} \text{ კკალ/კგ.}$$

მაშასადამე, ორთქლის ტურბინის საფეხურის შიდა ფარდობითი მარგი ქმედების კოეფიციენტი

$$\eta_{ა.} = \frac{h_{ა.} - \Sigma h_{დაანაკარგი}}{h_{ა.}} = 1 - \frac{\Sigma h_{დაანაკარგი}}{h_{ა.}} = 1 - \eta_{ააა} - \eta_{ააბ} - \eta_{ააოა} - \eta_{ა. გ.} - \eta_{ააა} - \eta_{ააა} \quad (5-18)$$

საფეხურის მთელი მუშაობა დროის ერთეულში, ე. ი. საფეხურის სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულით:

$$N_i = \frac{3600}{860} G (h_{ა.} - \Sigma h_{დაანაკარგი}) = 4,186 G \cdot h = 4,186 G \cdot \eta_{ა.} \cdot h_{ა.} \text{ კვტ.} \quad (5-19)$$

სადაც G ორთქლის წამური ხარჯია, ხოლო $4,186 = \frac{3600}{860} = \frac{427}{102}$ არის გამრავლი კკალ/წამის გადაყვანისთვის კილოვატებში.

ადვილი წარმოსადგენია ის დიაგრამაზე როგორც ერთსაფეხურიან, ისე მრავალსაფეხურიან ტურბინებში სასარგებლოდ გამოყენებული სითბოშემცველობის ვარდნა,

ენერჯის ზემომოყვანილი ყველა დანაკარგის გათვალისწინებით (სახელმძღვანელოში მოყვანილი არ არის).

თუ ერთი საფეხურის შემოხყევამი ორთქლის სითბოშემცველობის თეორიული ვარდნა არის $h_{თ.}$, ხოლო სასარგებლო მუშაობად გარდაქმნილი სითბოშემცველობის ვარდნის გამოყენებული სიდიდეა h (ნაკ. 5—8), მაშინ ანალოგიურად მრავალსაფეხურიან ტურბინში იქნება $H_{თ.}$ და H . ცხადია, რომ ცალ-ცალკე საფეხურებში სითბოშემცველობათა თეორიული ვარდნების ჯამი მეტი იქნება, ვიდრე მთელ ტურბინაში სითბოშემცველობის მთელი თეორიული ვარდნა, ე. ი.

$$\Sigma h_{თ.} > H_{თ.}$$

ფარდობას

$$z = \frac{\Sigma h_{თ.} - H_{თ.}}{H_{თ.}}$$

ეწოდება სითბოს დაბრუნების კოეფიციენტი. საფეხურებში სითბოშემცველობის თეორიული ვარდნების ჯამი.

$$\Sigma h_{თ.} = (1 + z) H_{თ.}$$

ზემოაღნიშნულით პირობადებულია, რომ მრავალსაფეხურიანი ტურბინის შიგა ფარდობითი მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობა შედარებით უფრო მეტია, ვიდრე ერთსაფეხურიანი ტურბინის.

ერთსაფეხურიანი ტურბინის სიმძლავრის განმსაზღვრელი ფორმულის (5—19) ანალოგიური ფორმულით შეიძლება განისაზღვროს მრავალსაფეხურიანი ტურბინის სიმძლავრე:

$$N_i = 4,186 \cdot G \cdot H = 4,186 \cdot G \cdot H_{თ.} \cdot \eta_{ფ. i} \text{ კვტ.}$$

ან

$$N_i = \frac{D \cdot H}{860} = \frac{D \cdot H_{თ.} \cdot \eta_{ფ. i}}{860} \text{ კვტ.}$$

სადაც D კგ/სთ არის ორთქლის საათური ხარჯი.

ორთქლის ტურბინის მიერ განვითარებული სიმძლავრე, რომელიც გადაეცემა ლილვის ბოლოზე დაყენებულ ქუროს, ისაზღვრება ტოლობით:

$$N_c = N_i \cdot \eta_{ფ. ბ.}$$

სადაც $\eta_{ფ. ბ.}$ არის ტურბინის მექანიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

სიმძლავრე ელექტროგენერატორის სალტებზე ისაზღვრება ფორმულით

$$N = N_i \cdot \eta_{ფ. ბ.} \cdot \eta_{ფ. გ.}$$

სადაც $\eta_{ფ. გ.}$ არის ელექტროგენერატორის მ. ქ. კოეფიციენტი. ორთქლის ხვედრითი ხარჯი განისაზღვრება ფორმულით

$$d = \frac{D}{N} = \frac{860}{H \cdot \eta_{ფ. ბ.} \cdot \eta_{ფ. გ.}} \text{ კგ/კვტ სთ.} \quad (5-20)$$

ორთქლის საათური ხარჯი $D = d \cdot N$ კგ/სთ, ან

$$D = \frac{860 \cdot N}{(\eta_0 - \eta_2) \cdot \eta_{ფ. ბ.} \cdot \eta_{ფ. გ.}} \text{ კგ/სთ,} \quad (5-21)$$

სადაც η_0 კვალ/კვ არის ორთქლის სითბოშემცველობა საქშენში შესვლისას, ე. ი. საწყისი სითბოშემცველობა;

η_2 კვალ/კვ — ნამუშევარი ორთქლის სითბოშემცველობა ტურბინის ბოლო საფეხურის მუშა ნიშნებიდან გამოსვლისას.

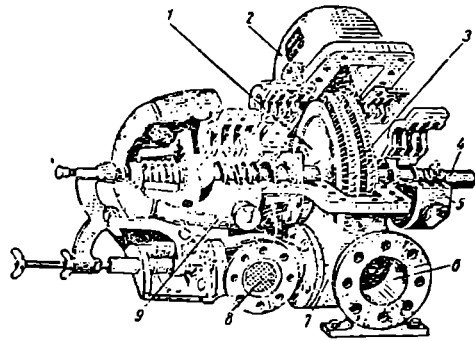
ორთქლის ტურბინების კონსტრუქციები

5-8. ტურბინების კონსტრუქციები

ნაკ. 5-13-ზე ნაჩვენებია სიჩქარეთა ორსაფეხურიანი ერთდისკოიანი აქტიური ტურბინა. ასეთი ტურბინები დამიზარე დანიშნულებისაა და გამოიყენება ტუმბოების, პერის კომპრესორებისა და სხვათა მოძრაობაში მოსაყვანად. მათი სიმძლავრე იღება 20-40 კვტ-ი და მუშაობენ უქუწნევით. ასეთი ტიპის ტურბინები იგება აგრეთვე გადიდებული სიმძლავრეებისათვის (1000-2000 კვტ).

ასეთი ტიპის ორთქლის ტურბინები საერთოდ მუშაობენ არა-ეკონომიურად და იძლევიან ორთქლის გადიდებულ ხვედრით ხარჯს.

ნაკ. 5-14-ზე ნაჩვენებია კიროვის ქარხნის მრავალსაფეხურიანი კონდენსაციური AK-3,5 მარკის აქტიური ტურბინის გარე ხედი. გადახურებული ორთქლის საწყისი პარამეტრებია $p_1 = 16$ ატა და $t_1 = 350$ °C. კონდენსატორში წნევა $p_2 = 0,04$ ატა. ტურ-

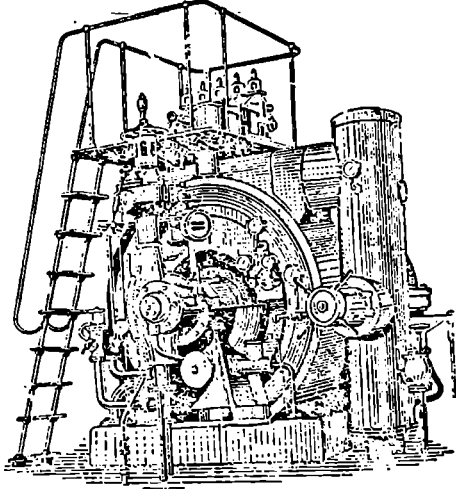


ნაკ. 5-13. სიჩქარეთა ორსაფეხურიანი ერთდისკოიანი აქტიური ტურბინის გარე ხედი:

1-ტურბინის ფისკა, 2-კორპუსის ზედა სახურავი, 3-მუშა ნიჩხები, 4-ლილვა, 5-მ-საქისებები, 6-მ-საქმეჯარა ორთქლის გაოსადინებელი მაღული, 7-კორპუსის ქვედა ნაწილი, 8-მუშაირი ორთქლის ტურბინაში მოსაყვებელი მილუვლო.

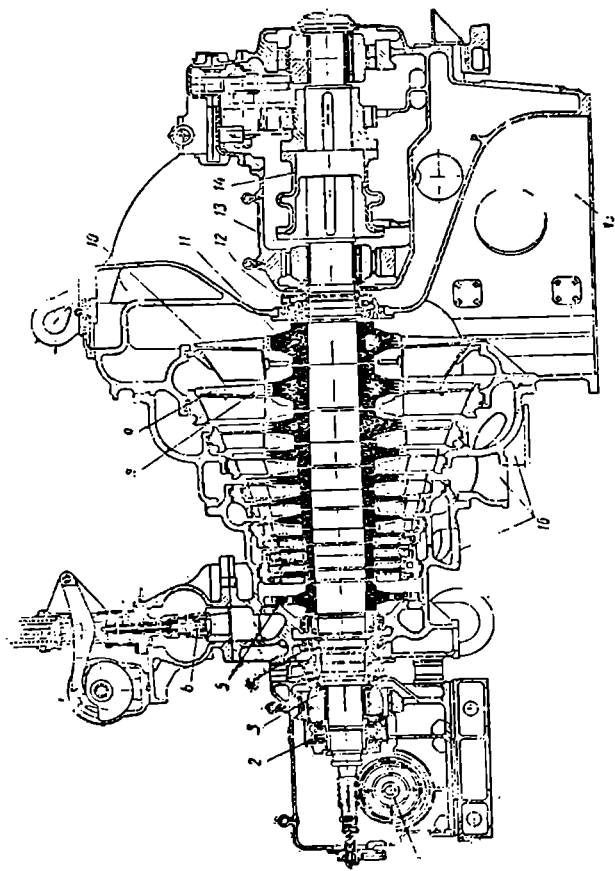
ბინის სიმძლავრეა 3500 კვტ და ბრუნთა რიცხვი $n = 3000$ ბრ/წთ.

ნაკ. 5-15-ზე ნაჩვენებია ერთცილინდრიანი AK-50-2 მარკის კონდენსაციური აქტიური ტურბინის სიგრძივი ქრილი. ტურბინა დამზადებულია ლენინგრადის სტალინის სახელობის ლითონის ქარხნის (ЛМЗ) მიერ. ტურბინის სიმძლავრეა 50000 კვტ, ხოლო ბრუნთა რიცხვი 3000 ბრ/წთ. ტურბინა მუშაობს საშუალო პარამეტრების მქონე გადახურებული ორთქლით, $p_1 = 29$ ატა და $t_1 = 400$ °C. ტურბინა შედგება 12 აქტიურ წნევითა საფეხურისაგან. ტურბინისა და მასთან მიერთებული ელემტროგენერატორის საერთო სიგრძე არის 25 მ. ორთქლის ხვედრითი ხარჯი ეკონომიური დატვირთვისას 4,5 კგ/კვტ-საათი.



ნაკ. 5-14. მრავალსაფეხურიანი კონდენსაციური AK-3,5 მარკის ტურბინის გარე ხედი.

უკანასკნელი დისკოს წიხა დისკოს ბუშა ნიჩბები სიმძლავრეყ დიკოფილია ორ იარუსად. ზედა (9) და ქვედა (8) იარუსებად. შუშა ნიჩბების ზედა იარუსში (9) ორ თქლის საერთო რაოდენობის 30% განიციდის სრულ გაფართოებას და არინდება.



ნაკ. 5—15. ერთილიწროიანი **AK—50—2** მარკის 50000 კვტ სიმძლავრის კონდენსაციური აქტიური ტურბინის სტრუქტურული დიაგრამა. 1—რეგულატორის ლილე, 2—საბრუნე საცხარი, 3 და 12—საყრდენი საცხარები, 4 და 13—ლაბორირული შექცობის, 5—პირველი მარჯვლადი დისკო, 6—საბრუნე ღილაკი, 7—გამაზაფრულედი დისკოს წიხა დისკოს შუშა ნიჩბების ქვედა და ზედა იარუსები, 8—უკანასკნელი დისკოს ბუშა ნიჩბები, 9—უკანასკნელი დისკოს ზედა იარუსში, 10—დრეკადი ქერი კლტეროქცეობის მიზონე-საღესი, 11—სამბრუნე ორბლეს კონდენსატორში გახდინებლი ზილეფი, 12—პირველი ორბლეს აბრუნე-საღესი, 13—სამბრუნე ორბლეს რეგულაციული ზედა იარუსის საყრდენი-საღესი.

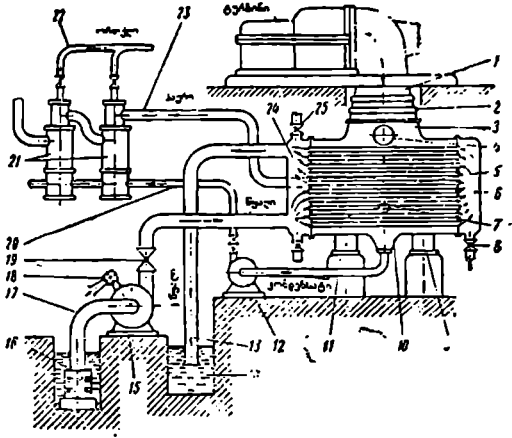
კონდენსატორში, ხოლო ნიჩბების ქვედა იარუსში ადგილი აქვს ორთქლის არასრულ გაფართოებას. ნიჩბების ქვედა იარუსიდან (8) ორთქლი ზედის უკანასკნელი დისკოს შუშა ნიჩბებში გაფართოების დასრულებებისათვის.

ორთქლის ტურბინებისათვის ჩვეულებრივ გამოიყენება ზედაირული კონდენსატორები. ვინაიდან ზედაირულ კონდენსატორებში ორთქლი უშუალოდ არ ემება გამაცივებელ წყალს, კონდენსატი მიიღება წმინდა და გამოსადეგია ორთქლის ქვაბების საკვებ წყლად.

ნაკ. 5—16-ზე ნაჩვენებია ზედაირული კონდენსატორის სივრძივი კრილი. ზედაირული კონდენსატორების მუშაობისათვის საჭიროა სამი ტუმბო: 1) გამაცივებელი წყლის საცირკულაციო ტუმბო, 2) კონდენსატის ტუმბო, 3) ჰაერტუმბო, რომელიც ამოტუმბავს ჰაერს და მასთან ერთად ავრთვევ არაკონდენსირებულ ორთქლს.

ორთქლის ტურბინების კონდენსატორები მუშაობენ ღრმა ვაკუუმით. თანამედროვე ზედაირულ კონდენსატორებში წნევა მიიღება 0,03±0,05 ატა. კონდენსატორების მიღების გარე ზედაირები წარმოადგენენ მის გაციევის ზედაირს F მ². ამ ზედაირის საშუალებით ხორციელდება კონდენსირებული ორთქლის მიერ სითბოს გადაცემა გამაცივებელ წყალზე. ჩვეულებრივ ტურბინიდან გამოღრმებული ტენიანი ნაჟერი ორთქლის ტენიანობა არ აღემატება 8—10% და კონდენსატორში კონდენსირდება თითქმის მუდმივი წნევის დროს.

საერთოდ ზედაირულ კონდენსატორებში გავლისას გამდინარე წყლით გაციევის შემთხვევაში, გამაცივებელი წყლის ტემპერატურა დიდდება მხოლოდ $10 \pm 15^{\circ}C$, ე. ი. $t_2 = t_1 + (10 \pm 15^{\circ}C)$. გამაცივებელი წყლის ტემპერატურა t_2 კონდენსატორიდან გამოსვლისას ჩვეულებრივ 4—6 °C ნაკლებია, ვიდრე ორთქლის ტემპერატურა (t_1) კონდენსატორში. თუ ზედაირულ კონდენსატორში ერთი საათის განმავლობაში მიწოდებული ნამუშევარი ორთქლის რაოდენობას აღვნიშნავთ D კგ/სთ და გამაცივებელი წყლის საათურ ხარჯს W კგ/სთ, მაშინ გაციევის ჯერადობა, ე. ი. ერთი კილოგრამი ორთქლის კონდენსაციისათვის საჭირო გამაცივებელი წყლის ხარჯი $m = \frac{W}{D}$ კგ/კგ.



ნაკ 5—16. ზედაირული კონდენსატორის დაყენების სქემა.

- 1-ტურბინიდან ნამუშევარი ორთქლის გაშლისაშუბი მიღელი, 2-ტალირანი კომპენსატორი, რომელიც ტურბინის გაშლისაშუბი მიღელი (1) მიტრებულა ზედაირულ კონდენსატორთან, 3-ორთქლის მიღელი კონდენსატორის ძალეული, 4-პილი ატმოსფერულ სარქველსავე ორთქლის არჩენისათვის, 5-კონდენსატორის მიღელი, 6-კონდენსატორის წყლის კაბრა (მარცხენა), 7-მიღელი კონდენსატორიდან ჰაერის გაწოვისათვის მწყლის ხაზისაშუბი ოწყანი, 8-მომრავი საყრდენება, 9-პილი კონდენსატის არჩენისათვის, 10-კონდენსატორის უძრავი საყრდენება, 11-კონდენსატის ტუმბო, 12-საშუბის მილი შემთხარი წყლისათვის, 13-სარჩი მილი, 14-გამაცივებელი წყლის საცირკულაციო ტუმბო, 15-გამაცივებელი წყლის მიწოდებელი არხი, 17-გამაცივებელი წყლის შექვივი მილი, 18-გამდინარე ორთქლზე ორთქლიანი ექსტრი (ჰუბობის დაწყების წინ წყლის შექვივისათვის), 19-საგვალთი გამაცივებელი წყლის საწინო მიწვი, 20-კონდენსატის საჭირბი მილი, 21-ორთქლზე დაიანი გვეჭობი (ორსაფხურთან), 22-მიღელი ექსტრირი ორთქლის მისაწოდებლად, 23-მილი ექსტრირი ჰაერის მიწოდებისათვის, 24-კონდენსატორის წყლის კაბრა (მარცხენა), 25-არხი კონდენსატორის წყლის კაბრიდან ჰაერის გაშლისაშუბად.

თუ წყლისათვის სითბოტევადობას მივიღებთ ერთის ტოლს, ზედამიწული კონდენსატორისათვის შეიძლება დაიწეროს სითბოს ბალანსის განტოლება შემდეგ სახით:

$$D(i_2 - t_2) = W(t_2 - t_1), \quad (5-22)$$

სადაც i_2 კვალ/კვ არის კონდენსატორში შემავალი ნამუშევარი ორთქლის სითბოშემცველობა;

t_2 C კონდენსატორში მიღებული კონდენსატის ტემპერატურა.

(5-22) ბალანსის განტოლებიდან გაცივების ჯერადობა

$$m = \frac{i_2 - t_2}{t_2 - t_1} \text{ კვ/კვ} \quad (5-23)$$

კონდენსატორებში გამაცივებელი წყლის მოძრაობის სიჩქარე იღება ფარგლებში 2—2,7 მ/წმ. თვით კონდენსატორში მიღები ისე უნდა იყოს განლაგებული, რომ კონდენსატის პროცესში მიღებს შორის უზრუნველყოფილ იქნეს ორთქლის მოძრაობის სიჩქარის შედმივობა, დაახლოებით 50—70 მ/წმ. გამაცივებელი წყლის გაგრილების მეთოდების შესახებ იხილეთ წინა განყოფილებაში (ორთქლის მანქანების საკონდენსაციო მოწყობილობანი).

5-8. ზომადი ცნებანი ორთქლის ტურბინების რემონტისათვის

როგორც ორთქლის მანქანების განყოფილებაში უკვე იყო აღნიშნული, სიმძლავრის რეგულირების ამოცანა მდგომარეობს ტურბინის გარე დატვირთვასა და მის მიერ განვითარებულ სიმძლავრეს შორის შესაბამისობის შენარჩუნებაში. პირდაპირი რეგულირება, რომელიც ჩვეულებრივად გამოიყენება ორთქლის მანქანებისათვის ტურბინის რეგულატორებს მნიშვნელოვანი წინააღმდეგობით დატვირთვად. საჭირო იქნებოდა მძლავრი ტურბინებისათვის დიდი რეგულატორების დაყენება, დიდი გადაამადვილებელი ძალით.

როგორც წესი, მეტად მცირე სიმძლავრის ორთქლის ტურბინების გარდა, გამოიყენება არაპირდაპირი რეგულირება, ე. ი. რეგულატორსა და ორთქლ-განმანაწილებელს შორის ჩაირთვება ზეთის სერვომოტორი. ამ შემთხვევაში რეგულატორი მხოლოდ ზეთის სერვომოტორის მექანიზმის მართავს, რაზედაც საჭიროა ძლიერ მცირე სიდიდის ძალეა. ორთქლ-განმანაწილებელსა სარკველების გადაადგილება კი ზეთის ენერჯის ხარჯზე სერვომოტორის დგუშით ხორციელდება. როგორც აღნიშნული იყო, პრაქტიკულად ტურბინის მიერ განვითარებული სიმძლავრე უნდა ეთანადებოდეს დატვირთვას. განტოლებით

$$N_i = \frac{D(i_2 - i_1)}{860} \text{ კვტ}, \quad (5-24)$$

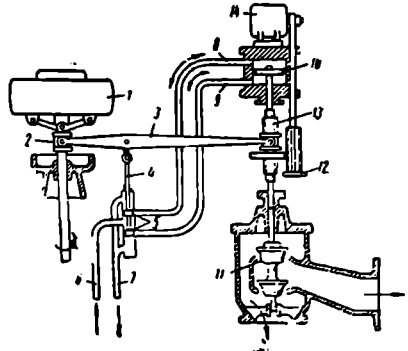
გამოისახება ძირითადი დამოკიდებულება ტურბინის სიმძლავრესა; ორთქლის ხარჯსა და სითბოშემცველობის ვარდნას შორის. უკანასკნელ განტოლებაში i_0 და i_2 არის ორთქლის საწყისი და საბოლოო სითბოშემცველობათა სიდიდეები.

(5-24) განტოლებიდან ნათლად ჩანს, რომ ტურბინის სიმძლავრის რეგულირება შეიძლება განხორციელდეს ორთქლის ხარჯის ცვლით (რაოდენობრივი ანუ საქმენებით რეგულირება) ან სითბოშემცველობის ვარდნის, ე. ი. ორთქლის მუშაობის უნარიანობის ცვლით (ხარისხობრივი ანუ დროსიკლური რეგულირება).

ხშირად გამოიყენება ე. წ. კომბინირებული—შერეული რეგულირება, რომლის დროს ერთდროულად იცვლება როგორც ორთქლის ხარჯი, ისე სითბოშემცველობის ვარდნის სიდიდე. ორთქლის ტურბინებისათვის გამოიყენება რეგულატორები სხვადასხვა კონს-

ტრუქციის, მაგრამ საილუსტრაციოდ სახელმძღვანელოში მოგვყავს მხოლოდ ერთ-ერთი მათგანის მუშაობის პრინციპის აღწერა.

ნაკ. 5—17-ზე ნაჩვენებია დროსელური რეგულირების სქემა, სადაც სერვომოტორს აქვს გადატანილი მოძრაობაში მყოფი დგული 10. რეგულირების მოქმედება აქ იწყება იმით, რომ რეგულატორის ქუროთი აიწევა ან დაიწევა თავის შუა ნაწილში მკვეთარასთან 5 დაკავშირებული პორიზონტალური ბერკეტის 3 მარცხენა ბოლო, ხოლო რეგულირების მოქმედება მთავრდება იმით, რომ ამავ ბერკეტის მარჯვენა ბოლო დგულის კოკიდან გადაადგილდება უკუმიმართულებით, ასე რომ მკვეთარა ბრუნდება თავის ნიტირალურ მდებარეობაში, რაშიც მდგომარეობს, ამ შემთხვევაში, ხისტი (ბერკეტი) უქუავემირის არსი.



ნაკ. 5—17. ზეთის სერვომოტორიანი, დროსელირებით მომუშავე რეგულატორის მუშაობის სქემა.
 1-ცენტრიდანული რეგულატორი, 2-რეგულატორის ქურთ, 3-პორიზონტალური ბერკეტი, 4-მკვეთარის წევა, 5-ზეთის გამანაწილებელი მკვეთარა, 6 (2-8) ატა წევის მქონე აბალი ზეთის მისაწოდებელი მილი; 7 (0,2-1,2) ატა წევის მქონე ზეთის ასარიზებელი მილი, 8 და 9-ზეთის ცილინდრთან მკვეთარის კაბრის შეპერადებული მილები, 10-სერვომოტორის დგული, 11-დროსელის სატყელო, 12-მკანისტი ბრუნვა რიქვის ხელთი მკვეთარის, 13-ქურო, 14-ელექტროძრავა.

ბანყოფილება მიმჭვსა

კომპარსორები

თ ა მ ი 6-1

ზოგადი ცნებანი კომპარსორების მუშაობის შესახებ

6-1. კომპარსორების დანიშნულება და მათი კლასიფიკაცია

სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგში ფართო გამოყენებას პოულობს განსაზღვრულ წნევამდე შეკუმშული ჰაერი ან სხვა რომელიმე სახის აირი. ჰაერის ან აირების შეკუმშვის პროცესი ხორციელდება სპეციალურ მანქანებში, რომლებსაც კომპარსორებს უწოდებენ. კომპარსორებში შეკუმშვის პროცესის ჩასატარებლად საჭიროა განსაზღვრული რაოდენობის გარე მუშაობის დახარჯვა.

კომპარსორების ტიპების ერთ-ერთ განმასხვავებელ ძირითად ნიშნად მიღებულია შეკუმშვის ბოლოს წნევის სიდიდე. ამ ნიშნის მიხედვით კომპარსორები პირობით დაყოფილია შემდეგ ტიპებად: ვენტილატორები, რომელთა დანიშნულებაა ჰაერის შეკუმშვა 1 ატა წნევამდე და, აგრეთვე, მისი დაჭირხენა და მიწოდება მომხმარებელთათვის; ჰაერსაბერები, რომლებიც შეკუმშავენ ჰაერს 3-4 ატა წნევამდე; დეჟეინი და ტურბოკომპარესორები, რომლებიც გამოიყენებიან ჰაერის უფრო მაღალ წნევამდე შეკუმშვისათვის. დეჟეინი კომპარესორები, რომლებიც ჰაერს 10 ატა წნევამდე კუმშავენ, მიეკუთვნებიან დაბალი წნევის კომპარესორებს, ხოლო, რომლებიც ჰაერს 10 ატა-ზე მეტ წნევამდე კუმშავენ, მიეკუთვნებიან მაღალი წნევის კომპარესორებს.

კონსტრუქციული გაფორმების მიხედვით კომპარესორები შეიძლება დაიყოს ერთმანეთისაგან არსებითად განსხვავებულ რამდენიმე ჯგუფად. მათგან უმთავრესს წარმოადგენენ:

1) დეჟეინი კომპარესორები, უქუქცევალ-გადატანითი მოძრაობის მქონე დეჟეინებით;

2) ფირფიტოვან-როტაციული კომპარესორები მბრუნავი დეჟეინით;

3) როტაციული კომპარესორები ორი მბრუნავი დეჟეინით;

4) ნიჩბებიანი ცენტრიდანული;

5) ლერძული ნიჩბებიანი;

6) ჰაელური და სხვ.

კომპარესორების ზემომოყვანილი ჯგუფიდან პროგრამის შესაბამისად წინამდებარე სახელმძღვანელოში განხილული იქნება მხოლოდ დეჟეინი ჰაერის კომპარესორები. დეჟეინ კომპარესორებში ჰაერის შეკუმშვა ხდება ცილინდრის მუშა სიღრმეების

მოცულობის ცვლილების გამო, მასში დგუშის ვადატანით მოძრაობის შესრულების დროს.

ცილინდრების ღერძის განლაგების მიხედვით კომპრესორები არსებობენ პორიზონტალური, ვერტიკალური, V-სა და W-ს მაგვარი.

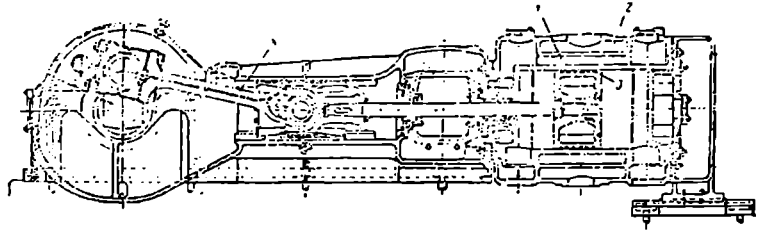
საფეხურების მიხედვით კომპრესორები გამოიყენება: ერთსაფეხურიანი, ორსაფეხურიანი და მრავალსაფეხურიანი.

დანიშნულების მიხედვით კომპრესორები არსებობენ სტაციონარულ და გადასადგილებელი.

6-2. დგუშინი კომპრესორების მუშაობის პრინციპი და მათი უმთავრესი ტიპების სქემატი

პირველი განყოფილების (ტექნიკური თერმოდინამიკა) (1-57) პარაგრაფში განხილული იყო დგუშინი კომპრესორის მუშა ციკლი და მოყვანილი იყო იზოთერმული, ადიაბატური და პოლიტროპული შეკუმშვის შემთხვევებისათვის დახარჯული მუშაობის გამოსათვლელი ფორმულები.

ნაჯ. 6-1-ზე ნაჩვენებია ქარხნა „კომპრესორის“ ერთსაფეხურიანი ორბრძვიკმედეების პორიზონტალური კომპრესორი



ნაჯ. 6-1. „კომპრესორის“ ქარხნის ერთსაფეხურიანი პორიზონტალური კომპრესორი. 1-მუშა ცილინდრი; 2-ცილინდრის ქარხნი გამაიყვებელი წლისათვის, 3-დგუშის უმთავრეს-ვადატანითი მოძრაობით, 4-ბარბაცა, 5-მუშა ლილვი.

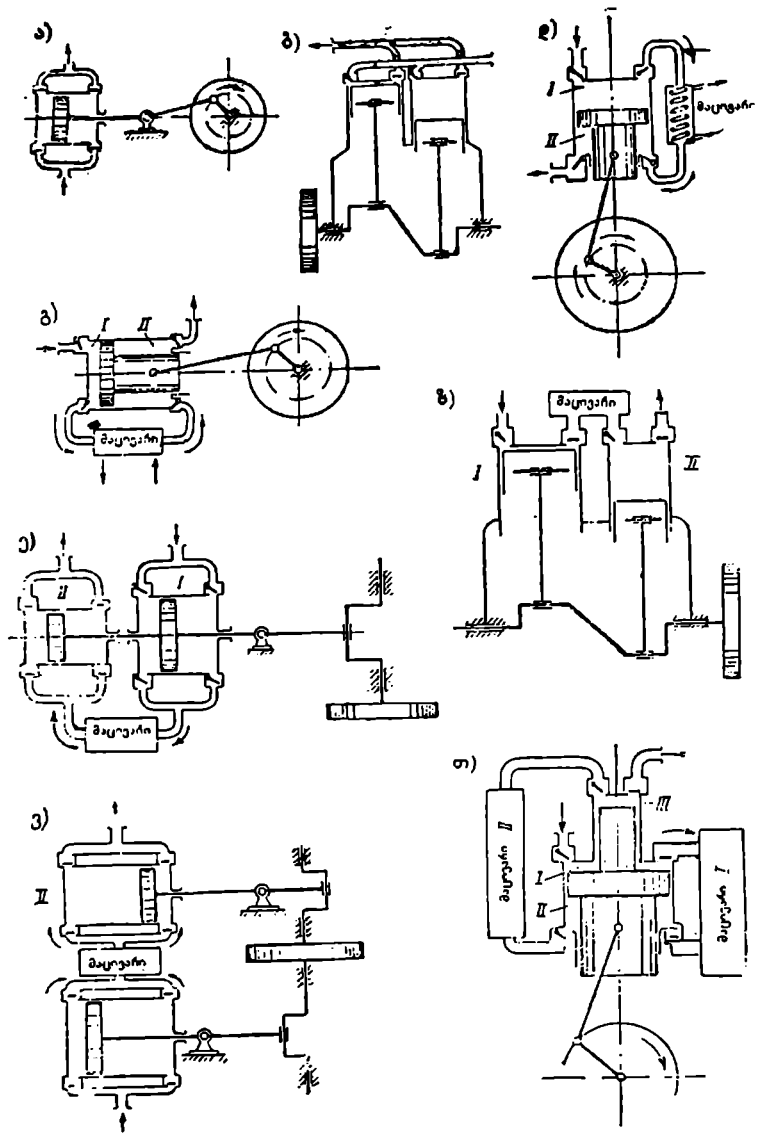
კომპრესორის ცილინდრის ორივე ღრუში ჰაერის შეკუმშვას ასრულებს დგუში დავისი უკუქცევა-დადატანითი მოძრაობის დროს. აღნიშნული მოძრაობის განხორციელებისათვის დგუში დაკავშირებულია კოკის, ბარბაცას და მრუდმბარას საშუალებით მუხლა ლილვთან, რომელიც ბრუნვით მოძრაობას რომელიმე სახის ამძრავისაგან ღებულაბს.

დგუშიან კომპრესორში მთელი მუშა პროცესი სრულდება დგუშის ორი სვლის დროს, ე. ი. მუხლა ლილვის ერთხელ შემობრუნებისას. კომპრესორის ცილინდრის როგორც მარცხენა, ისე მარჯვენა მხარეში სრულდება მუშა ციკლი, ამისათვის თითოეული მათგანი აღჭურვილია როგორც შეწოვი, ისე დამჭირბი სარქველით.

დგუშის პირველი სვლის დროს შეწოვი სარქველიდან ცილინდრის სიღრუვეში შეწოვება ატმოსფერული ჰაერი.

დგუშის მეორე სვლის დროს ადგილი ექნება ცილინდრის სიღრუვეში შეწოვილი ჰაერის შეკუმშვის პროცესს და შეკუმშული ჰაერის დაჭირბუნას შეკუმშული ჰაერის დასაგროვებელ ქურქლებში—ბალონებში ან რესიფერში.

კომპრესორის მუშაობის ხარისხობრივი მხარე ხასიათდება შეკუმშვის შემდეგ p_2 და შეკუმშვის წინ p_1 წნევათა ფარდობით. წნევათა ფარდობას $\omega = \frac{p_2}{p_1}$ უწოდებენ



ნაქ. 6-2. დავუშინა კომპრესორის უმთავრესი ტიპების სქემები.

კომპარესორში შეკუმშვის დროს წნევის ზრდის ხარისხს. კომპარესორის მწარმოებლობის, წნევის ზრდის ხარისხისა და კომპარესორის ტიპის შერჩევა დამოკიდებულია შეკუმშულა ჰაერის მომხმარებლის თავისებურებაზე. შეკუმშვის მაღალი წნევებისათვის გამოიყენება მრავალსაფეხრიანი კომპარესორები, რომლებშიც მუშა პროცესები თანამიმდევრობით ხორციელდება ცილინდრის რამდენიმე საფეხურში ან ცალკეულ ცილინდრებში.

საერთოდ ერთსაფეხურიან დგუშიან კომპარესორში, რომელშიაც გამოყენებულია გაცივება, წნევის გადიდების ხარისხს ზღუდავენ $\omega = 5 \pm 5,5$ სიდიდით. მრავალსაფეხურიანი დგუშიანი კომპარესორის ყოველ საფეხურში, როგორც წესი, იზღუდება $\omega = 2,5 \pm 3,5$ წნევის ზრდის ხარისხით.

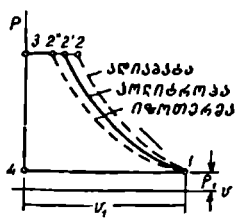
ნაქ. 6-2-ზე ნაჩვენებია ერთ-, ორ- და სამსაფეხურიანი დგუშიანი კომპარესორების ტიპების უმთავრესი კონსტრუქციების სქემები:

- ა — ორმხრივი ქმედების ჰორიზონტალური ერთცილინდრიანი ერთსაფეხურიანი კომპარესორი 200—300 მ³/წთ მწარმოებლობით და 7 ატა-მდე შეკუმშვის წნევით;
- ბ — ერთმხრივი ქმედების (მარტივი ქმედების) ვერტიკალური ორცილინდრიანი ერთსაფეხურიანი კომპარესორი 10 მ³/წთ-მდე მწარმოებლობით;
- გ — ჰორიზონტალური ერთცილინდრიანი ორსაფეხურიანი კომპარესორი, დიფერენციალური დგუშით და შუალედური მაცივრით, 35 მ³/წთ-მდე მწარმოებლობით და 8 ატა-მდე შეკუმშვის წნევით;
- დ — (გ) ტიპის ანალოგიური ვერტიკალური კომპარესორი 50—100 მ³/წთ-მდე მწარმოებლობით და 7—10 ატა-მდე შეკუმშვის წნევით;
- ე — ორმხრივი ქმედების ჰორიზონტალური ორცილინდრიანი ორსაფეხურიანი ტანდემ კომპარესორი, შუალედური გაცივებით, 120 მ³/წთ-მდე მწარმოებლობით;
- ვ — (ე) ტიპის ანალოგიური კომპაუნდ კომპარესორი;
- ზ — ერთმხრივი ქმედების ვერტიკალური ორცილინდრიანი ორსაფეხურიანი კომპაუნდ კომპარესორი 15—30 მ³/წთ-მდე მწარმოებლობით;
- თ — დიფერენციალური დგუშიანი ვერტიკალური ერთცილინდრიანი სამსაფეხურიანი კომპარესორი, 25 მ³/წთ-მდე მწარმოებლობით, 25—100 ატა-მდე (საშუალო წნევის) და 100—200 ატა-მდე (მაღალი წნევის) შეკუმშვის წნევის დროს.

6-3. კომპარესორში შეკუმშული ჰაერის მიღებაზე მუშაობის თეორიული ხარჯი

ნაქ. 6-3-ზე ნაჩვენებია p_v კოორდინატთა სისტემაში ერთი და იმავე რაოდენობის ჰაერისათვის, ერთნაირი საწყისი და საბოლოო წნევების დროს კომპარესორის მუშაობის სამი თეორიული დიაგრამა: 1-2'' იზოთერმული, 1-2' პოლიტროპული და 1-2 ადიაბატური შეკუმშვის პროცესებისათვის.

კომპარესორის მუშაობის თეორიული დიაგრამებიდან ჩანს, რომ კომპარესორში ჰაერის შეკუმშვისას მუშაობის უმცირესი დანახარჯი მიიღება იზოთერმული შეკუმშვის დროს (1-2''-3-4), ხოლო უდიდესი ადიაბატურად შეკუმშვისას (1-2-3-4). პოლიტროპული შეკუმშვისას მუშაობის დანახარჯი წარმოადგენს იზოთერმული და ადიაბატური შეკუმშვისას მუშაობის დანახარჯების საშუალო სიდიდეს. მაშასადამე, ჰაერის შეკუმშვისას სითბოს არივნება იწვევს შეკუმშვაზე დანახარჯული მუშაობის შემცირებას.



ნაქ 6-3. კომპარესორის თეორიული დიაგრამა შეკუმშვის სხვადასხვა პროცესისათვის.

კომპარესორის განხილული პროცესები არის თეორიული, სინამდვილეში ჰაერის შეკუმშვა კომპარესორებში მიმდინარეობს სითბოს ცვლის რთულ პირობებში.

ტექნიკური თეორეტიკის განყოფილების შესწავლისას გავლილი მასალის

გახსენების მიზნით, ქვემოთ მოყვანილია ფორმულები კომპრესორში 1 მ³ შეკუმშული ჰაერის მიღებაზე მუშაობის თეორიული ხარჯის განსაზღვრისათვის:

ა—ჰაერის იზოთერმულად შეკუმშვისას

$$L_{\text{თ. შვ.}} = 2,303 p_1 V_1 \lg \frac{p_2}{p_1} \text{ კგმ/მ}^3. \quad (6-1)$$

ბ—ჰაერის პოლიტროპული შეკუმშვისას

$$L_{\text{პოლიტრ. შვ.}} = \frac{n}{n-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \text{ კგმ/მ}^3. \quad (6-2)$$

გ—ჰაერის ადიაბატურად შეკუმშვისას

$$L_{\text{ად. შვ.}} = \frac{k}{k-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \text{ კგმ/მ}^3. \quad (6-3)$$

კომპრესორის თეორიული პროცესების განხილვისას დაშვებულია, რომ ცილინდრიდან შეკუმშული ჰაერის განდევნა მთლიანად ხდება. სინამდვილეში კი კომპრესორის ცილინდრის მანეთ სიერცეში, რომელიც იქმნება დღუშის განაპირა მდგომარეობასა და ცილინდრის სახურავს შორის, რჩება შეკუმშული ჰაერის ნაწილი. ცხადია, რომ მანეთ მოცულობას გავლენა ექნება კომპრესორის მწარმოებლობაზე.

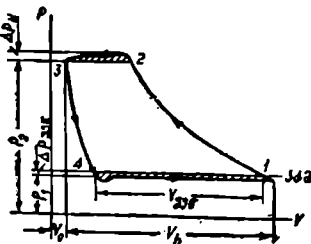
6-4. მრთხაფხუზიანი კომპრესორის ინდიკატორული დიაგრამა

ნაკ. 6-4-ზე ნაჩვენებია ერთსაფეხურიანი კომპრესორის ნამდვილი პროცესის ინდიკატორული დიაგრამა.

კომპრესორში ჰაერის შეწოვის პროცესი მიმდინარეობს ატმოსფერულ წნევაზე ნაკლები წნევის დროს ($p_1 = 1$ ატმ $\Delta p_{\text{შვ.}}$). $\Delta p_{\text{შვ.}}$ წნევის სიდიდე წარმოადგენს დანაკარგს შეწოვის სისტემაში: მილგაყვანილობაში და კომპრესორის ცილინდრის შემწოვ სარქველში. შეწოვის პროცესის ხაზი ყოველთვის არ წარმოადგენს სწორ ხაზს. შეწოვის პროცესის დროს წნევის დანაკარგი მიხლოებით შეადგენს

$$\Delta p_{\text{შვ.}} = (0,05 \text{ } 0,2) p_1 \quad (6-4)$$

შეწოვის ხაზის მიხედვით ინდიკატორულ დიაგრამიდან შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს კომპრესორის მოცულობითი კოეფიციენტი.



ნაკ. 6-4. ერთსაფეხურიანი კომპრესორის ნამდვილი პროცესის ინდიკატორული დიაგრამა.

$$\lambda_0 = \frac{V_{\text{შვ.}}}{V_h} \quad (6-5)$$

ზემოთ უკვე აღნიშნული გექონდა, რომ სინამდვილეში კომპრესორებში ჰაერის შეკუმშვა მიმდინარეობს პოლიტროპულად. როგორც დიაგრამიდან ჩანს, კომპრესორში ჰაერის შეკუმშვის ბოლოს წნევა მეტია დაკვირხვნის სისტემაში. (p_2) წნევაზე Δp_x სიდიდით, რომელიც საკმარისია დაპირხვნავი სარქველის წინააღმდეგობის დასაძლევად.

6-5. კომპრესორის მშარბომბლობა ღა მიწოდების კომფიციენტი

კომპრესორის მშარბომბლობა წარმოდგენს შეწოვის პირობებისათვის გაანგარიშებული დროის ერთეულში შეკუმშული ჰაერის მოცულობას. კომპრესორის მშარბომბლობა შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$V_{\text{მშ}} = V_{\text{აზ}} \frac{p_{\text{აზ}}}{p_{\text{მშ}}} \cdot \frac{T_{\text{მშ}}}{T_{\text{აზ}}} \text{ მ}^3/\text{წთ}, \quad (6-6)$$

სადაც $V_{\text{მშ}}$ და $V_{\text{აზ}}$ არის ჰაერის მოცულობები შეწოვისა და დაქირხვის პირობებისათვის, $\text{მ}^3/\text{წთ}$;

$p_{\text{მშ}}$ და $p_{\text{აზ}}$ —ჰაერის წნევა შეწოვისა და დაქირხვისას, კგ/სმ²;

$T_{\text{მშ}}$ და $T_{\text{აზ}}$ —ჰაერის ტემპერატურა შეწოვისა და დაქირხვისას, (K).

კომპრესორის თეორიული მშარბომბლობა გაანგარიშება ფორმულით

$$V_{\text{თ}} = V_{\text{h}} \cdot n = 0,785 D^2 S n \text{ მ}^3/\text{წთ}, \quad (6-7)$$

სადაც $V_{\text{თ}}$ არის ცილინდრის დიამეტრი, მ-ობით;

S —დგუშის სელის სიდიდე, მ-ობით;

n — ლილვის ბრუნთა რიცხვი, ბრ/წთ.

კომპრესორის ნამდვილი მშარბომბლობა ყოველთვის ნაკლებია თეორიულზე სხვადასხვა სახის დანაჯარგების შედეგად. შეკუმშული ჰაერის ნამდვილი მოცულობისა (შეწოვის პირობებისათვის გაანგარიშებული) და თეორიულად შესაძლო შეკუმშული ჰაერის მოცულობის შეფარდებას უწოდებენ მიწოდების კოეფიციენტს და საზღვრავენ ფორმულით

$$\lambda = \frac{V_{\text{მშ}}}{V_{\text{თ}}}. \quad (6-8)$$

საერთოდ კომპრესორებისათვის მიწოდების კოეფიციენტი იღება

$$\lambda = (0,9 \div 0,98) \lambda_0.$$

თ ა ვ ი 6-2

კომპრესორის სიმძლავრე ღა მ. მ. კომფიციენტი

6-5. კომპრესორის სიმძლავრე

კომპრესორის თეორიული სიმძლავრე, ე. ი. კომპრესორში ჰაერის შეკუმშვზე საჭირო თეორიული სიმძლავრე შეიძლება განისაზღვროს ზოგადი ფორმულით

$$N_{\text{თ}} = \frac{L \cdot V_{\text{თ}}}{60 \cdot 102} \text{ კვტ}, \quad (6-9)$$

სადაც L არის მუშაობა აღებული 1 მ³ ჰაერის მიმართ;

$V_{\text{თ}}$ —კომპრესორის მშარბომბლობა აღებული შეწოვის პირობებისათვის $\text{მ}^3/\text{წთ}$.

კომპრესორის სიმძლავრე იზოთერმული შეკუმშვისას ისაზღვრება ფორმულით

$$N_{\text{თ. იზ}} = \frac{L_{\text{იზ}} \cdot V_{\text{თ}}}{60 \cdot 102} = \frac{2,303 \cdot 10^4}{60 \cdot 102} p_1 V_{\text{თ. იზ}} \lg \frac{p_2}{p_1} = \\ = 3,763 \cdot p_1 \cdot V_{\text{თ. იზ}} \lg \frac{p_2}{p_1} \text{ კვტ}, \quad (6-10)$$

სადაც p_1 არის ჰაერის წნევა შეწოვისას კგ/სმ²;

p_2 —შეკუმშული ჰაერის საბოლოო წნევა კგ/სმ².

კომპრესორის სიმძლავრე ადიაბატური შეკუმშვისას ისაზღვრება ფორმულით

$$N_{\text{ად}} = \frac{L_{\text{ად. შვ.}} \cdot V_{\text{შვ.}}}{60 \cdot 102} = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{p_1}{60 \cdot 102} \cdot V_{\text{შვ.}} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \text{ კვტ. (6-11)}$$

ხოლო კერძოდ ჰაერის კომპრესორისათვის ($k=1,4$)

$$\begin{aligned} N_{\text{ად}} &= \frac{1,4}{1,4-1} \cdot \frac{p_1 \cdot 10^4 \cdot V_{\text{შვ.}}}{60 \cdot 102} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right] = \\ &= 5,719 \cdot p_1 \cdot V_{\text{შვ.}} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{0,286} - 1 \right] \text{ კვტ. (6-12)} \end{aligned}$$

ნამდვილი სიმძლავრე, რომელიც იხარჯება კომპრესორში ჰაერის შეკუმშვის პროცესზე, ისაზღვრება ინდიკატორული დიაგრამის მიხედვით, რის გამოც მას უწოდებენ ინდიკატორულ სიმძლავრეს.

მართივი ქმედების ერთსაფეხურიანი კომპრესორის ინდიკატორული სიმძლავრე ისაზღვრება ფორმულით

$$N_i = \frac{p_i \cdot F \cdot S \cdot n}{60 \cdot 102} = 0,1634 \cdot 10^{-3} \cdot p_i \cdot F \cdot S \cdot n \text{ კვტ. (6-13)}$$

სადაც p_i არის საშუალო ინდიკატორული წნევა კგ/სმ²;

F —დგუშის ფართობი სმ²;

S —დგუშის სვლის სიდიდე მ;

n —კომპრესორის ლილვის ბრუნთა რიცხვი, ბრ/წთ.

ორმხრივი ქმედების ერთსაფეხურიანი კომპრესორის სიმძლავრე გაიანგარიშება ფორმულით

$$\begin{aligned} N_i &= N_{i_1} + N_{i_2} = \frac{S \cdot n}{60 \cdot 102} \cdot (p_{i_1} \cdot F_1 + p_{i_2} \cdot F_2) = \\ &= 0,1634 \cdot 10^{-3} \cdot S \cdot n \cdot (p_{i_1} \cdot F_1 + p_{i_2} \cdot F_2) \text{ კვტ. (6-14)} \end{aligned}$$

სადაც N_{i_1} და N_{i_2} არის კომპრესორის ცილინდრის მარცხენა და მარჯვენა სილრუეების სიმძლავრეები, კვტ;

p_{i_1} და p_{i_2} —კომპრესორის ცილინდრის მარცხენა და მარჯვენა სილრუეების საშუალო ინდიკატორული წნევები, კგ/სმ²;

F_1 და F_2 —დგუშის ფართობი მარცხენა და მარჯვენა სილრუეების მხრიდან, სმ².

6-6. კომპრესორის მ. მ. კომპიციენტობა

კომპრესორში ჰაერის შეკუმშვაზე დახარჯული ინდიკატორული სიმძლავრე უფრო მეტია, ვიდრე თეორიული სიმძლავრე როგორც იზოთერმული, ისე ადიაბატური შეკუმშვისას.

კომპრესორის შიგა იზოთერმული მ. მ. კოეფიციენტი გაიანგარიშება ფორმულით

$$\eta_{\text{იზ}} = \frac{N_{\text{თ. იზ.}}}{N_i} \quad (6-15)$$

ერო. და ორსაფეხურიანი დგუშიანი კომპრესორებისათვის (წყლით გასტეგებით) აიღება $\eta_{იხ.} = 0,69 \div 0,72$.

კომპრესორის შიგა აღიბატური მ. ქ. კოეფიციენტი გაიანგარიშება ფორმულით

$$\eta_{iად.} = \frac{N_{თ.ად.}}{N_i} \quad (6-16)$$

სწვადასხვა ტიპის კომპრესორებისათვის აიღება დაახლოებით $\eta_{iად.} = 0,90 \div 0,97$ კომპრესორის მექანიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტი ისახლერება ფორმულით:

$$\eta_{შპ.} = \frac{N_i}{N_e}, \quad (6-17)$$

სადაც N_e არის ეფექტური სიმძლავრე.

მაშასადამე, ჰაერის შეკუმშვაზე დახარჯული ეფექტური სიმძლავრე უფრო მეტია, ვიდრე ინდიკატორული სიმძლავრე ($N_e > N_i$).

სრული მწარმოებლობის დროს დგუშიანი კომპრესორების მექანიკური მ. ქ. კოეფიციენტი აიღება $\eta_{შპ.} = 0,85 - 0,95$.

კომპრესორის საერთო ანუ ეფექტური, იზოთერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი ისახლერება ფორმულით:

$$\eta_{rიხ.} = \eta_{iიხ.} \cdot \eta_{შპ.} = \frac{N_{თ.იხ.}}{N_i} \cdot \frac{N_i}{N_e} = \frac{N_{თ.იხ.}}{N_e}. \quad (6-18)$$

კომპრესორის საერთო ანუ ეფექტური, აღიბატური მარგი ქმედების კოეფიციენტი ისახლერება ფორმულით:

$$\eta_{rად.} = \eta_{iად.} \cdot \eta_{შპ.} = \frac{N_{თ.ად.}}{N_i} \cdot \frac{N_i}{N_e} = \frac{N_{თ.ად.}}{N_e}. \quad (6-19)$$

თუ კომპრესორი მოძრაობაში მოგვეყვას ელექტროძრავით, მაშინ კომპრესორის დანადგარის სრული მ. ქ. კოეფიციენტი გაიანგარიშება ფორმულით

$$\eta_{კ. დაწდ.} = \eta_e \cdot \eta_{ი.ბ.} \cdot \eta_{გადაკ.} \quad (6-20)$$

სადაც η_e არის ეფექტური მ. ქ. კომპრესორის (იზოთერმული ან აღიბატური);

$\eta_{ი.ბ.}$ — ელექტროძრავის მ. ქ. კ.;

$\eta_{გადაკ.}$ — გადაცემის მ. ქ. კოეფიციენტი.

თ ა ვ ი 6-3

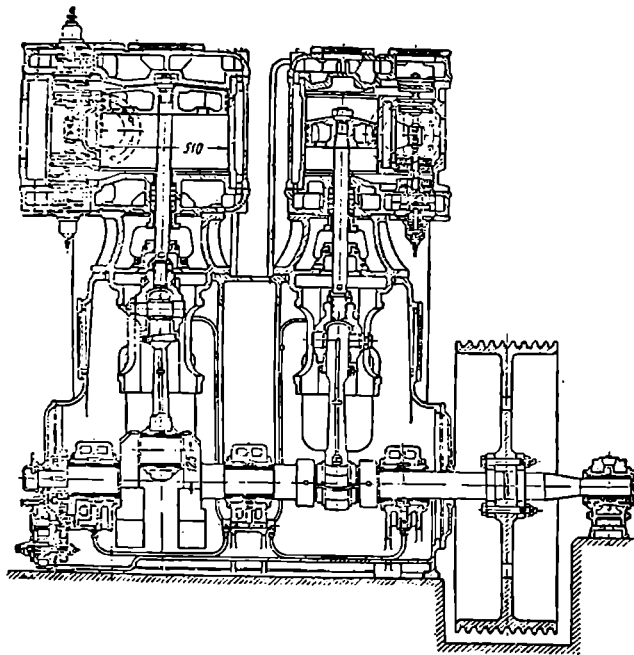
დგუშიანი კომპრესორების კონსტრუქციები და მათი მწარმოებლობის რამდენიმე სერიები

6-7. დგუშიანი კომპრესორების კონსტრუქციები

დაბალი კუმშვისა და მცირე მწარმოებლობის დგუშიანი კომპრესორები უმეტესად იგება ვერტიკალური, რომელთაც ჰორიზონტალურ კომპრესორებთან შედარებით აქვთ უფრო მაღალი მ. ქ. კოეფიციენტები და ნაკლები დანაკარგები ცილინდრის კედლებთან დგუშის მიმდებარეობის არასიმეტრიუროვის გამო.

ვერტიკალურ კომპრესორებში მიიღწევა ცილინდრების შედარებით უფრო თანაბარი შეზეთვა და მექანიკური მარტივი ქმედების კოეფიციენტის გაღივება. ასეთი ტიპის კომპრესორებში სარემონტო-პროფილაქტიკური სამუშაოების დროს შონტაჟისა და დემონტაჟის ჩატარება შედარებით უფრო მოსახერხებელია. ამჟამად უმეტესად იგება სწრაფი სვლის კომპრესორები, რომელთა ლილეი სპეციალური ტიპის ქუროთი მიერთებულია ელექტროძრავის, ორთქლის ან აირის ტურბინების ლილვთან.

ნაქ. 6—1-ზე ნაჩვენებია მანქანათმშენებელი ქარხნის „კომპრესორის“ ერთსაფეხურიანი ჰორიზონტალური კომპრესორი. კომპრესორის მწარმოებლობა არის 60 მ³/წთ 3,5



ნაქ. 6—5. „ბორცის“ ქარხნის ორსაფეხურიანი ორცილინდრიანი ვერტიკალური კომპრესორი.

ბრუნთა რიცხვია 365 ბრ/წთ. შეზეთვა იძულებითია წნევის ქვეშ. შეზეთვის სისტემაში წნევა ხორციელდება კბილანა ტუმბოს საშუალებით. შუალედური მაკივარი მილონია.

6—8. დავუიანი კომპრესორების მწარმოებლობის რამდენიმე სტადია

დღეშიანი კომპრესორების რეგულირება ხორციელდება სხვადასხვა ხერხით:

ა) კომპრესორის მწარმოებლობის რეგულირება დროებით მისი გაჩერებით. თუ კომპრესორი მოძრაობაში მოიყვანება ელექტროამძრავით, შესაძლოა მთელი ავრეგატის გაჩერება ან ქუროს საშუალებით ელექტროძრავთან მიერთებისას კომპრესორის გამორთვა. ორივე შემთხვევაში რეგულირება არ შეიძლება ჩაითვალოს სრულყოფილად, ვინაიდან ძნელი ხდება საჭირონ ქსელში მუდმივი წნევის შენარჩუნება;

ატმ წნევის დროს. კომპრესორი მოძრაობაში მოიყვანება ელექტროძრავიდან ლველური ამძრავით. კომპრესორის ცილინდრი თუჯისა და პქეს წყლის პერანგი.

ნაქ. 6—5-ზე ნაჩვენებია „ბორცის“ ქარხნის ორსაფეხურიანი ორცილინდრიანი ვერტიკალური კომპრესორი.

კომპრესორის ყოველი საფეხური ანუ ცილინდრი ორმხრივქმედებისა. ცილინდრებისა და სახურავების გაცივება ხდება წყლით. კომპრესორის მწარმოებლობაა 26 მ³/წთში 8 ატმ წნევის დროს.

კომპრესორის მოძრაობაში მოყვანა ხდება 190 კეტ სიმძლავრის ელექტროძრავიდან. კომპრესორის

ბ) კომპარესორის მწარმოებლობის რეგულირება ბრუნთა რიცხვის ცვლილებით. თუ კომპარესორის ელექტროამძრავი იკვებება ცვლადი დენით, ეს ხერხი არ გამოიყენება. თუ კომპარესორი მოძრაობაში მოიყვანება სითბური ძრავების სწრაფებით, მაშინ რეგულირება შეიძლება განხორციელდეს ძრავის რეგულირების სისტემაზე ზეკმედებით;

გ) კომპარესორის მწარმოებლობის რეგულირება ატმოსფეროში შეკუმშული ჰაერის ნაწილის გაშვებით. ასეთი ხერხით კომპარესორის მწარმოებლობის რეგულირება ეკონომიურად არახელსაყრელია, რადგან დაკავშირებულია დანაკარგებთან. მეორე მხრივ, საკირსნ ქსელში მუდმივი წნევის შენარჩუნება გამართლებულია.

ქარბი ჰაერი ქსელიდან გამოდინდება ჰაერშემკრებზე მოთავსებული დამცველი სარქველის საშუალებით. ასეთი ხერხით მწარმოებლობის რეგულირება განხორციელებულია მცირე მწარმოებლობის კომპარესორებში, რომელთაც რეგულირების სხვა მოწყობილობა არ გააჩნიათ.

დ) მწარმოებლობის რეგულირება უქმი სელის რეეიმზე კომპარესორის გადაყვანით. ამ ხერხით კომპარესორის რეგულირებამ ფართო გამოყენება მოიპოვა, მისი შედარებითი სიმარტივისა და ეკონომიურობის შედეგად.

ე) კომპარესორის მწარმოებლობის რეგულირება ჰაერშემწოვ მილში. სადროსელო მოწყობილობის მოთავსებით და სხვ.

ბანკოფილიზა მიშვილი

შიგაწვის ძრავები

თ ა ვ ი 7—1

ძირითადი ცნებანი

7—1. შიგაწვის ძრავების განვითარების მოკლე მიმოხილვა

დღეშიან სითბურ ძრავებს, რომელთა მუშა ცილინდრებში ხორციელდება აირადი ან თხევადი სათბობის დაწვის პროცესი, უწოდებენ შიგაწვის ძრავებს. ასეთ ძრავებში მუშა სხეულად გამოიყენება სათბობის დაწვის აირადი ნაწარმი. შიგაწვის ძრავების შექმნის პირველ ცდებს ადგილი პქონდა 1678—1688 წლებში, როდესაც დენის პაპინი ცდილობდა აეგო დენითი მომუშავე მანქანა. XIX საუკუნის პირველ მეოთხედში კარნოს ციკლის ანალიზის საშუალებით მითითებული იყო სითბური ძრავების ეკონომიურობის გადიდების საერთო გზები. 1860 წელს ფრანგ ლენუარეს მიერ შექმნილ იქნა ორმხრივი ქმედების ორთქლის მანქანის კონსტრუქციის მიხედვით შიგაწვის ძრავა, რომელიც მუშაობდა აირადი სათბობით. საწვავი ნარევის დაწვის პროცესი ხორციელდებოდა შეკუმშვის გარეშე და ეკონომიური მარგი ქმედების კოეფიციენტი არ აღემატებოდა 4%-ს.

1878 წელს გერმანელ ოტტოს მიერ აგებული იყო პირველი შიგაწვის ძრავა, რომელიც მუშაობდა საწვავი ნარევის შეკუმშვით და იზოქორულ პროცესთან ახლო წვის პროცესით. ასეთი შიგაწვის ძრავის შექმნის იდეა 1862 წელს წამოყენებული იყო ფრანგ ბო-დე-როშეს მიერ.

1878 წელს რუსეთის ფლოტის კაპიტანის ო. ს. კოსტოვიჩის მიერ აგებული იყო მსოფლიოში პირველი ბენზინით მომუშავე შიგაწვის ძრავა, რომლის სიმძლავრე იყო 80 ც. ძ. და მასში გამოყენებული იყო ელექტრული ანთება.

რუსეთში შიგაწვის ძრავების აგება დაიწყო 1892 წელს, როდესაც პეტერბურგში ნობელის ქარხანა (ამჟამად „რუსკი დიზელი“) შეუდგა ნავთის ძრავების გამოშვებას. 1897 წელს რ. დიზელის (გერმანია) მიერ აგებული იყო საცდელი მაღალი კუმშვის ხარისხის მქონე ძრავა, რომელშიაც სათბობის წვის პროცესი თერორიულად უნდა განხორციელებულიყო მუდმივი წნევის დროს. თვითააღებით მომუშავე პირველი ძრავა, რომელიც მუშაობდა ნავთობით ან სოლიარის ზეთით, აგებული იყო 1899 წელს რუსეთში ნობელის ქარხნის მიერ. ასეთი სახის თვითააღებით მომუშავე შიგაწვის ძრავებში გამოყენებული იყო კომპრესორებში მიღებული შეკუმშული ჰაერით თხევადი სათბობის პნევმატიკური შეფრქვევა.

1901 წელს რუსი ინჟინრის გ. ვ. ტრინკლერის მიერ პუტილოვის (ამჟამად კირო-

ქის სახელობის) ქარხანაში აგებულ იქნა შიგაწვის ძრავა თვითაალებით კომპარტისორის გარეშე. ძრავა მუშაობდა შერეული ციკლით. შემდგომში ისეთ შიგაწვის ძრავებს, რომლებიც მუშაობდნენ მალალი კუმშვის ხარისხით და თვითაალებით, კომპარტისორის გარეშე, ეწოდება უკომპარტისორო ძრავები. 1903 წელს სორპოვის ქარხანაში მსოფლიოში პირველად აგებული იყო თბომავალი „ვანდალი“, რომელზედაც დადგმული იყო სამი ოთხტაქტიანი შიგაწვის ძრავა. თითოეული ძრავის სიმძლავრე განისაზღვრებოდა 120 ც. შიგაწვის ძრავები მუშაობდნენ მალალი კუმშვის ხარისხით და თვითაალებით*.

1910 წელს განთქმული გამოგონებლის ი. ვ. მამინის მიერ აგებული იყო თვითაალებით მომუშავე ძრავა, მის მიერ შექმნილი თვლებიანი ტრაქტორისათვის. ეს იყო მსოფლიოში პირველი დიზელიანი ტრაქტორი. 1907 წელს რუსი პროფესორის ვ. ი. გრინევიცკის მიერ წამოყენებულ და დამუშავებულ იქნა ძრავების სითბური გაანგარიშების მეთოდი. ახალი ტიპის სრულყოფილი შიგაწვის ძრავების შექმნაში დიდი ღვაწლი მიუძღვით თავიანთი სამეცნიერო-კვლევითი შრომებით საბჭოთა მეცნიერებს ნ. რ. ბრილინგს, ბ. ს. სტეჩკინს, ა. ს. ორლინს და სხვ.

ბუნებრივი აირის მოპოვების ფართო განვითარება და მძლავრი მაგისტრალების აირსადენების გაყვანა დიდ პერსპექტივას უქმნის სხვადასხვა სიმძლავრის აირძრავების გამოყენებას.

7—2. შიგაწვის ძრავების კლასიფიკაცია

შიგაწვის ძრავების უკეთ შესწავლის მიზნით მიღებულია მათი კლასიფიკაცია შემდეგი ძირითადი ნიშნების მიხედვით:

- 1) მუშა ციკლის განხორციელების მიხედვით არჩევენ ორ- და ოთხტაქტიან ძრავებს;
- 2) მუშა ნარევის მომზადების ხერხის მიხედვით არჩევენ ძრავებს ნარევის გარე მომზადებით, რომლებშიაც ნარევი წარმოიქმნება მუშა ცილინდრის გარეთ (კარბურატორიანი და აირადი სათბობის ძრავები) და ძრავებს ნარევის შიგა მომზადებით, რომლებშიაც ნარევი წარმოიქმნება თვით მუშა ცილინდრში (დიზელები და კალორიზატორიანი ძრავები);
- 3) აალების ხერხის მიხედვით არჩევენ ძრავებს ხელოვნური ანთებით და თვითაალებით. თავის მხრით, ხელოვნური ანთება ხორციელდება ელექტრონაპერწყლით ან გავარეარებული სხეულით—კალორიზატორით;
- 4) სათბობის სახის მიხედვით განასხვავებენ ძრავებს მსუბუქი თხევადი სათბობის (ბენზინი, ლიგროინი, ნავთი), მძიმე თხევადი სათბობის (დიზელის სათბობი და სხვ.) და აირადი სათბობის;
- 5) სათბობის დაწვის პროცესის მიხედვით განასხვავებენ:

სწრაფი წვის ძრავებს, რომლებიც მუშაობენ მუდმივი მოცულობის ($V = const$) დროს მუშა სხეულზე სითბოს მიწოდებით; მათი იდეალური ციკლის თერმული მარჯი კმელების კოეფიციენტი განისაზღვრება (1—165) ფორმულით

$$\eta_1 = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\kappa-1}};$$

* შემდგომში თვითაალებით მომუშავე ყველა ძრავას ეწოდა დიზელები.

თანდათანობითი წვის ძრავებს, რომლებიც მუშაობენ შედარებით წინევის ($p = \text{ცხადს}$) დროს მუშა სხეულზე სითბოს მიწოდებით; მათი იდეალური ციკლის აერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი განისაზღვრება (1--166) ფორმულით

$$\eta_i = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{p^k - 1}{k(p-1)};$$

შერეული (ტრინკლერის) ციკლით მომუშავე ძრავებს, რომელთა იდეალური ციკლის თერმული მარგი ქმედების კოეფიციენტი ისაზღვრება (1--167) ფორმულით

$$\eta_i = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\lambda p^k - 1}{(\lambda - 1) + k \cdot \lambda (p - 1)}.$$

6) სელის სიჩქარის ანუ დგუშის საშუალო სიჩქარის მიხედვით შიგაწვის ძრავები განიხილება: ნელი სელის, როდესაც დგუშის საშუალო სიჩქარე 6,5 მ/წმ-ზე ნაკლებია და ჩქარი სელის, როდესაც დგუშის საშუალო სიჩქარე 6,5 მ/წმ-ზე მეტია.

დგუშის საშუალო სიჩქარე განისაზღვრება ფორმულით

$$c_{\text{ავ}} = \frac{2 S \cdot n}{60} = \frac{S \cdot n}{30} \text{ მ/წმ}, \quad (7-1)$$

სადაც S მ არის დგუშის სელის სიდიდე;

n ბრ/წთ—ძრავის მუხლა ლილვის ბრუნთა რიცხვი.

7) კონსტრუქციულად შესრულების მხრივ ძრავები შეიძლება დახასიათდეს რიგი ნიშნების მიხედვით:

ა) ცილინდრების რიცხვის მიხედვით ივება ერთ- და მრავალცილინდრიანი ძრავები:

ბ) ცილინდრების ღერძის მდებარეობის მიხედვით განასხვავებენ თარაზულს, შეეულს, ვარსკვლავისებრს და V-სებრს.

8) დანიშნულების მიხედვით ძრავებს განასხვავებენ: სტაციონარულს, გემების, ავტომობილების, ტრაქტორების, საავიაციოს, თბომავლებისა და სპეციალური დანიშნულების.

შიგაწვის ძრავას ტიპი და მისი ძირითადი ზომები შეიძლება განისაზღვროს მარკირაკით, რომლებიც მიღებულია სახელმწიფო სტანდარტით. მაგალითად, სტაციონარული და გემების უკომპარსორო დიზელებისათვის ГОСТ-4393—48-ით შემოღებულია ასოებითა და ციფრებით პირობითი აღნიშვნა. ამ სახელმწიფო სტანდარტით შემოღებული ასოებით აღნიშვნა:

Ч—ოთხტაქტიანი შიგაწვის ძრავა;

Д—ორტაქტიანი ძრავა;

С—გემის ძრავა;

К—ჯვართავიანი ძრავა;

Н—ჩაბერვით მომუშავე ძრავა;

П—ძრავა რედუქტორიანი გადაცემით;

ДД—ორტაქტიანი ორმხრივქმედების ძრავა;

Р—რევერსიული ძრავა.

ციფრები აღნიშნავენ: პირველი—ცილინდრთა რიცხვი, რიცხვი ნაწიერის ხაზს ზევით (მრიცხველი) არის ცილინდრის დიამეტრი სანტიმეტრობით, რიცხვი ნაწიერის ხაზს ქვემოთ (მნიშვნელი) არის დგუშის სელის სიდიდე სანტიმეტრობით.

მაგალითად, დიზელი 4 ДК $\frac{60}{100}$ —ოთხცილინდრიანი, ორტაქტიანი, ჯვართავიანი,

ცილინდრის დიამეტრი 60 სანტიმეტრი და დგუშის სელის სიდიდე 100 სანტიმეტრი.
426

შიგაწვის ძრავების მუშა პროცესი

7-3. ოთხტაქტიანი შიგაწვის ძრავის მუშა პროცესი

ოთხტაქტიანს უწოდებენ ისეთ შიგაწვის ძრავებს, რომელთა მუშა ცილინდრში ერთი ციკლი ხორციელდება მუხლა ლილვის ორჯერ შემობრუნების დროს. მაშასადამე, ასეთ ძრავებში მუშა ციკლი ხორციელდება დღუშის ოთხი თანამიმდევრობითი სვლით.

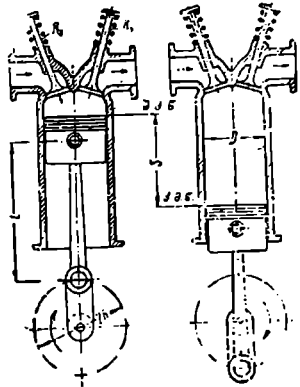
ნაკ. 7-1-ზე ნაჩვენებია შევული ოთხტაქტიანი შიგაწვის ძრავის სქემა.

როგორც სქემაზე ჩანს, ძრავის ცილინდრის სახურავში მოთავსებულია შემშვები ანუ შემწოვი სარკველი K_1 და გამომშვები ანუ გამოშოლქვი სარკველი K_2 . შემშვები სარკველის K_1 -ის დანიშნულებაა ცილინდრში შეუშვას მუშა ნარევი ან ჰაერი, ხოლო გამომშვები სარკველის K_2 -ს დანიშნულებაა ცილინდრიდან გამოუშვას წვის ნაწარმი (წარმავალი აირები). აირგამანაწილებელი მექანიზმის საშუალებით ხორციელდება მუშა ციკლის პერიოდში ორივე სარკველის თითოჯერ გაღება და დახურვა.

მუშა ცილინდრში დღუშის ნაპირა მდებარეობანი აღნიშნულია ხაზებით შიგა მკვდარი წერტილის (შ. მ. წ.) ანუ ზედა მკვდარი წერტილის დონეზე და გარე მკვდარი წერტილის ანუ ქვედა მკვდარი წერტილის (ქ. მ. წ.) დონეზე, ამასთან აღნიშვნები გაკეთებულია დღუშის ზედა ნაწიბურების მიხედვით. მუშა ცილინდრის შიგა დიამეტრი აღნიშნულია D -თი, ხოლო დღუშის სვლის სიდიდე S -ით. დღუში ბარბაცას საშუალებით კინემატიკურად დაკავშირებულია ძრავის მუხლა ლილვთან. R -ით აღნიშნულია მრუდმხარას რადიუსი, მასთან დღუშის სვლის სიდიდე $S = 2R$ -ს.

ოთხტაქტიანი შიგაწვის ძრავის მუშა ცილინდრში მიმდინარე პროცესები შემდეგია:

- 1) როდესაც დღუში მოძრაობს ზემოდან ქვემოთ და ღიაა შემშვები K_1 სარკველი, ძრავის ცილინდრში შეიწოვება მუშა ნარევი ან ჰაერი;
- 2) როდესაც დღუში მოძრაობს ქვემოთ ზემოთ და დახურულია ორივე სარკველი K_1 და K_2 , მაშინ ძრავის ცილინდრში მიმდინარეობს მუშა ნარევის ან ჰაერის შეკუმშვის პროცესი.
- 3) როდესაც დღუში მოძრაობს ზემოდან ქვემოთ დახურული სარკველების დროს, ცილინდრში ადგილი აქვს წვის პროცესის დამთავრებას და გაფართოების მუშაობის შესრულებას;
- 4) როდესაც დღუში მოძრაობს ქვემოთ ზემოთ და გაღებულია გამოსაშვები სარკველი K_2 , მაშინ ადგილი აქვს მუშა ცილინდრიდან წვის ნაწარმის (წარმავალი აირების) გამოშოლქვას.



ნაკ. 7-1. ოთხტაქტიანი შიგაწვის ძრავის სქემა.

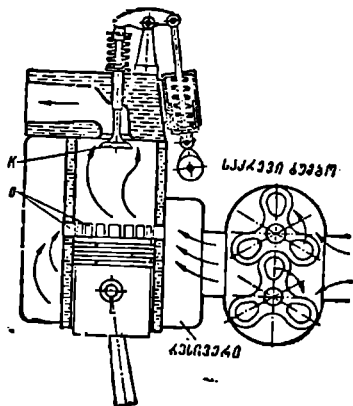
ქესაზე ტაქტის დროს გაფართოების სკელის შეიძლება ეწოდოს ძრავას ჩუშა სკელა, ეხანიდან ამ სკელის დროს აირები დგუშის საშუალებით გადაცემენ მუხლა ლილვს მექანიკურ ენერჯიას, რომლის ნაწილი იხარჯება ხახუნზე და სხვა წინალოებზე, ხოლო მთავარი ნაწილი გადაცემა ენერჯიის მამზარებელს.

შეკუმშვისა და გაფართოების პროცესები ტექნიკურ თერმოდინამიკაში ძრავების იდეალური ციკლების შესწავლისას მიღებული იყო, როგორც ადიაბატური პროცესები. მაგრამ სინამდვილეში, ეხანიდან ადგილი აქვს სითბოს გადაცემას ცილინდრის კედლების საშუალებით გამაგრილებელ წყალზე ან ჰაერზე, ამიტომ აღნიშნული პროცესები სინამდვილეში პოლიტროპულ პროცესებს წარმოადგენენ.

7-4. ორტაქტიანი შიგაწვის ძრავას მუშა პროცესი

ორტაქტიანს უწოდებენ ისეთ შიგაწვის ძრავებს, რომელთა მუშა ცილინდრში ერთი ციკლი ხორციელდება მუხლა ლილვის ერთჯერ შემობრუნების დროს. მაშასადამე, ასეთ ძრავებში მუშა ციკლი ხორციელდება დგუშის ორი თანამიმდევრობითი სკლით.

ნაკ. 7-2-ზე ნაჩვენებია შევული ორტაქტიანი შიგაწვის ძრავას სქემა.



ნაკ. 7-2. ორტაქტიანი შიგაწვის ძრავას სქემა.

როგორც სქემაზე ჩანს, ძრავას ცილინდრის საბურავში მოთავსებულია ერთი ან რამდენიმე გამომშვები საჩქველი K , რომლებიც განკუთვნილი არიან მუშა ცილინდრიდან წვის ნაწარმის (წარმავალი აირების) მოცილებისათვის. ცილინდრში მუშა ნარევის ან ჰაერის შესაღებად განკუთვნილია ეგრეთ წოდებული საჩქვეი ფანჯრები O_1 , რომლებიც მუშა ცილინდრის წრებაზე მდებარეობენ; მათი გაღება ხდება დგუშით. ორტაქტიანი შიგაწვის ძრავების სხვა სისტემებში გამოსაშვები საჩქველები შეიცვლილია აგრეთვე ფანჯრებით.

ორტაქტიანი შიგაწვის ძრავას მუშა ცილინდრში მიმდინარე პროცესები შემდეგია:

1) დგუშის მოძრაობისას ქვემოდან ზემოთ, მას შემდეგ, როდესაც დგუში გადაიქნება მუშა ნარევის ან ჰაერის შეკუმშვას;

2) დგუშას ქვემოთ სკლის დროს ცილინდრში ადგილი აქვს წვის პროცესის დამთავრებას და გაფართოებას, სანამ არ გაიღება გამოსაშვები საჩქველები.

დგუშის მეორე სკლის ბოლო და პირველი სკლის დასაწყისი განკუთვნილია დამხმარე პროცესებისათვის: გამომშვებისა (გამომშვები საჩქველების საშუალებით წვის ნაწარმის—წარმავალი აირების მოცილება) და გამოქრევისათვის (ცილინდრში შედის მუშა ნარევი ან ჰაერი, რომლებიც განდევნიან წვის ნაწარმს და მათ ადგილს დაიკაუბენ).

ორტაქტიან ძრავას ორტაქტიანთან შედარებით აქვს შემდეგი უპირატესობანი:

1) მუშა ციკლის შესრულებისათვის ნაცლად დღეშის ოთხი სელისა საჭიროა დგუ. შის მხოლოდ ორი სელა;

2) კონსტრუქციის სიმარტივე;

3) ცილინდრის ერთი და იმავე ზომებისა და ბრუნთა ერთნაირი რიცხვების დროს ორტაქტიანი ძრავას სიმძლავრე დაახლოებით 50±60%-ით მეტია ოთხტაქტიანი ძრავას სიმძლავრესთან შედარებით. ამასთან ერთად ორტაქტიან ძრავას ახასიათებს შემდეგი ნაკლოვანებები:

1) მუშა ნარევის ნაწილის აუცილებელი დანაკარგი გამოშვები სარკველებიდან;

2) ცილინდრების უდიდესი დასუსტება წარმავალი აირებისაგან;

3) დროის ერთელში ოთხტაქტიან ძრავასთან შედარებით მუშა სელების სიხშირის გამო ადგილი აქვს დღეშის გადახურებას და გართულებულია ცილინდრის ვაგრილების უზრუნველყოფა.

7-5. საშუალო ინდიკატორული წნევა და ძრავას ინდიკატორული სიმძლავრე

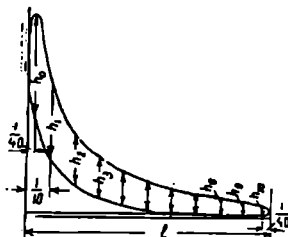
შიგაწევის ძრავას ინდიკატორული სიმძლავრის განსაზღვრავად და მუშა ცილინდრში პროცესების მიმდინარეობის სისწორის შემოწმების მიზნით, ახდენენ მომუშავე ძრავიდან ინდიკატორული დიაგრამის გადაღებას. ინდიკატორული დიაგრამის გადაღებას ახდენენ სპეციალური ხელსაწყო ინდიკატორის საშუალებით. საშუალო ინდიკატორული წნევის p_i კგ/სმ² და ინდიკატორული სიმძლავრის N_i -ის განსაზღვრისათვის, ინდიკატორული დიაგრამის გარდა, საჭიროა ვიცოდეთ ცილინდრის დიამეტრი D , დღეშის სელის სიდიდე S და მუხლა ლილვის ბრუნთა რიცხვი n , ძრავას ცილინდრების რაოდენობა z და, აგრეთვე, ძრავა მარტივია თუ ორმხრივმუდებისაა.

შიგაწევის ძრავებში ანალოგიურად ორთქლის მანქანისა, p_i საშუალო ინდიკატორული წნევის განსაზღვრისათვის შემდეგაა გამოყენებულ იქნეს ორი ძირითადი ხერხი:

1) ინდიკატორული დიაგრამის პლანიმეტრიკობა და

2) დიაგრამის დაყოფა ნაწილებად.

თუ პლანიმეტრიკობის საშუალებით ცნობილია ინდიკატორული დიაგრამის ფართობი f მმ²-ით, ინდიკატორული დიაგრამის სიგრძე l მმ-ით და წნევათა მასშტაბი (ინდიკატორის ზამბარაკის მასშტაბი) m მმ/ატ-ით, მაშინ საშუალო ინდიკატორული წნევა გაიანგარიშება ფორმულით



ნაქ. 7-3. საშუალო ინდიკატორული წნევის გრაფიკული განსაზღვრისათვის ინდიკატორული დიაგრამის დაყოფის სქემა.

$$p_i = \frac{f}{l \cdot m} \text{ კგ/სმ}^2. \quad (7-2)$$

მეორე ხერხით საშუალო ინდიკატორული წნევის განსაზღვრისათვის ინდიკატორული დიაგრამის სიგრძეს ჰყოფენ 10 თანასწორ ნაწილად. საშუალო ინდიკატორული წნევის გრაფიკული ხერხით განსაზღვრისათვის ინდიკატორული დიაგრამის დაყოფის სქემა ნაჩვენებია ნაქ. 7-3-ზე.

ინდიკატორული დიაგრამის საერთო ფართობი მიახლოებით განისაზღვრება ფორმულით

$$f = \frac{l}{10} \left(\frac{(h_0 + h_{10})}{2} + h_1 + h_2 + \dots + h_9 \right) \text{ მმ}^3,$$

ხოლო წნევათა ღერძის m მმ/ატ მასშტაბის დროს საშუალო ინდიკატორული წნევა განიგარიშება ფორმულით

$$p_i = \frac{0,1}{m} \left(\frac{h_0 + h_{10}}{2} + h_1 + h_2 + \dots + h_9 \right) \text{ კგ/სმ}^2. \quad (7-3)$$

თავისი ფიზიკური არსის მიხედვით საშუალო ინდიკატორული წნევა წარმოადგენს ერთი ციკლის დროს აირების მუშაობის L_i -ის ფარდობას ცილინდრის V_h მუშა მოცულობასთან.

$$p_i = \frac{L_i}{V_h}.$$

ოთხტაქტიანი ძრავას საშუალო ინდიკატორული წნევის განსაზღვრისას არ აღრიცხავენ წნევათა სხვაობას შევებისა და გამოშვების პროცესების დროს და ამ ე. წ. ტუმბოს დანაკარგს შიაკუთვებენ საერთო ჯამურ მექანიკურ დანაკარგებს ძრავაში.

ქვემოთ მოყვანილია საშუალო ინდიკატორული წნევის p_i -ის მნიშვნელობანი ძრავების ძირითადი ტიპებისათვის:

ოთხტაქტიანი ძრავები

	p_i კგ/სმ ²
უკომპრესიორო დიზელები ჩაბერვის გარეშე .	6; 9
უკომპრესიორო დიზელები ჩაბერვით	22-მდე
ბენზინით მომუშავე კარბურატორიანი ძრავები .	6,5; 11
აირის ძრავები	5,0; 7,0

ორტაქტიანი ძრავები

უკომპრესიორო დიზელები ჯვართავე-კამერული საქრვეი ტუმბოთი	3,5; 4,2
უკომპრესიორო დიზელები ცალკე საქრვეი ტუმბოთი .	4,5; 5,8
კალორიზატორიანი ძრავები	2,5; 3,6

ერთი მუშა ციკლის დროს შესრულებული მუშაობა

$$L_i = p_i \cdot F \quad S = p_i \cdot V_h.$$

შეგაწვის ძრავას ერთ ცილინდრში მიღებული ინდიკატორული სიმძლავრე

$$N_i' = \frac{L_i \cdot n \cdot \tau}{60 \cdot 75} = p_i \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{S \cdot n \cdot \tau}{60 \cdot 75} = p_i \cdot \frac{D^3 \cdot S \cdot n \cdot \tau}{5730} \text{ ც. ძ.},$$

სადა τ S მ არის დგუშის სვლის სიდიდე;

n ბრ/წთ — ძრავას მუხლა ლილვის ბრუნთა რიცხვი;

τ — ტაქტიანობის კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე ოთხტაქტიანი ძრავები-

სათვის იღება $\tau = \frac{1}{2}$, ხოლო ორტაქტიანი ძრავებისათვის $\tau = 1$ -

თუ ძრავას აქვს z ცილინდრი, მაშინ ძრავას სრული სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულით

$$N_i = p_i \cdot \frac{D^3 \cdot S \cdot n \cdot \tau \cdot z}{5730} \text{ ც. ძ.} \quad (7-4)$$

შიგაწვის ძრავას ინდიკატორული სიმძლავრის გაანგარიშებისას ხშირად იყენებენ დგუშის საშუალო სიჩქარის სიდიდეს $c_{საშ} = \frac{S \cdot n}{30}$. თუ (7-4) ფორმულაში შევიტანთ $c_{საშ}$ მნიშვნელობას, მივიღებთ

$$N_i = p_i \frac{D^2 \cdot c_{საშ} \cdot \tau \cdot z}{191} \text{ (ტ. ძ.)} \quad (7-5)$$

თ ა ვ ი 7-3

სითბოს გამოსხივება შიგაწვის ძრავებში

7-6. შიგაწვის ძრავას ეფექტური სიმძლავრე და მამანიძური მ. ძ. ა.

შიგაწვის ძრავას ეფექტური სიმძლავრე ეწოდება ლილვზე განვითარებულ იმ სიმძლავრეს N_e -ს, რომელიც გადაეცემა მომხმარებელს.

ძრავას ეფექტური სიმძლავრე (N_e) ინდიკატორულ სიმძლავრეზე (N_i) ნაკლებია ($N_e < N_i$). სიმძლავრეთა სხვაობა $N_i - N_e = N_r$ წარმოადგენს სიმძლავრეს, რომელიც იხარჯება ხაბუნზე და ძრავას დამხმარე მოწყობილობათა მოძრაობაში მოსაყვანად.

მექანიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტის სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$\eta_{მეკ} = \frac{N_e}{N_i}$$

მექანიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტის ($\eta_{მეკ}$) მნიშვნელობები სრული დატვირთვისას სხვადასხვა ტიპის ძრავებისათვის იცვლება შემდეგ ზღვრებში:

უკომპრესორო ოთხტაქტიანი დიზელებისათვის 0,75; 0,90
უკომპრესორო ორტაქტიანი დიზელებისათვის 0,73; 0,80
კარბურატორიანი ძრავებისათვის 0,68±0,90
აირის ძრავებისათვის 0,75; 0,85
ორტაქტიანი კალორიზატორიანი ძრავებისათვის 0,68±0,73

საშუალო ინდიკატორული წნევის (p_i) მსგავსად ხშირად სარგებლობენ ანალოგიური სიდიდით—საშუალო ეფექტური წნევით (p_e), რომლის არსი განიმარტება შემდეგი ტოლობით

$$\frac{p_e}{p_i} = \frac{N_e}{N_i} \text{ ანუ } \frac{p_e}{p_i} = \eta_{მეკ} \text{ და } p_e = \eta_{მეკ} p_i \text{ კგ/სმ}^2.$$

ეფექტური სიმძლავრის (N_e) გამოსახვა შეიძლება საშუალო ეფექტური წნევის (p_e) საშუალებით, ანალოგიურად (7-4) ფორმულისა

$$N_e = p_e \frac{D^2 \cdot S \cdot n \cdot \tau \cdot z}{5730} \text{ (ტ. ძ.)} \quad (7-6)$$

სხვადასხვა შიგაწვის ძრავებში ერთმანეთთან შედარებისათვის მათ მიერ განვითარებული სიმძლავრეების მიხედვით დიდი მნიშვნელობა აქვს ე. წ. ლიტრულ სიმძლავრეს, ე. ი. ეფექტურ სიმძლავრეს ცხენის ძალეში მოსულს ძრავას ცილინდრების მთელი მოცულობის ერთ ლიტრ მოცულობაზე

$$N_{\text{ლიტრ.}} = \frac{N_p}{z \cdot V_h} \text{ ც. ძ./ლ.} \quad (7-7)$$

სადაც F_h არის ძრავის ერთი ცილინდრის მოცულობა ლიტრობით;
 z — ძრავის ცილინდრთა რაოდენობა.

ძრავის ლიტრული სიმძლავრე დამოკიდებულია ბრუნთა რიცხვზე, ტაქტიანობაზე, ნომინალურ სიმძლავრეზე, ჩაბერვის სიდიდეზე და სხვა ფაქტორებზე და აქვს მნიშვნელობების დიდი დიაპაზონი 2-დან 70 მდე:

თბომავლის დიზელისათვის D-50 .	6,3 ც. ძ/ლ
თბომავლის დიზელისათვის 2D-100 .	11,8
ტრაქტორის დიზელისათვის D-54 .	7,24
ავტომობილის დიზელისათვის ЯА3-204	25,4
კარბურატორიანი ძრავებისათვის ГА3-51	20,2

7 - 7. შიგაწვის ძრავას სითბური ბალანსი

ტექნიკურ თერმოდინამიკაში შიგაწვის ძრავების იდეალური ციკლების განხილვისას მუშა სხეულზე სითბოს წყაროდან მიწოდებული სითბო იყოფოდა ორ ნაწილად:

ა) სითბო, გარდაქმნილი სასარგებლო მექანიკურ ენერჯიად და
 ბ) სითბო, გამოუყენებელი — გადაცემული სითბოს შიშვლებზე — თერმოდინამიკის მეორე კანონის თანახმად.

სინამდვილეში ადგილი აქვს სითბოს კარგვებს, რომლებიც არ აღირიცხებიან იდეალური ციკლების განხილვისას. ამისათვის რეალური ძრავას მარტივ კმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობა ყოველთვის ნაკლებია შესაბამისი იდეალური ციკლის მ. კ. კოეფიციენტის მნიშვნელობაზე.

შიგაწვის ძრავას სითბური ბალანსის განხილვისას მივიღოთ ბალანსის შემდეგი სტრუქტურა:

$$Q_{\text{შვ}}^3 = Q_p + Q_{\text{გამ. წყ.}} + Q_{\text{წარ. აირ.}} + Q_{\text{ქიმ.}} + Q_{\text{დანარ.}} \quad (7-8)$$

სადაც $Q_{\text{შვ}}^3$ კკალ/კგ არის სათბობის მუშა უდაბლესი დაწვის სითბო;

Q_p კკალ/კგ — ეფექტურ სიმძლავრედ გარდაქმნილი სითბო;

$Q_{\text{გამ. წყ.}}$ კკალ/კგ — გამაცივებელი წყლით არინებული სითბო;

$Q_{\text{წარ. აირ.}}$ კკალ/კგ — წარმავალი აირებით არინებული სითბო;

$Q_{\text{ქიმ.}}$ კკალ/კგ — სითბოს დანაკარგი ქიმიურად უსრულო წვის შედეგად;

$Q_{\text{დანარ.}}$ კკალ/კგ — სითბო, რომელიც გაუთვალისწინებელ სითბურ დანაკარგებს შესაბამება.

სხვადასხვა სათბობისათვის სითბური ბალანსის საკრებების ერთმანეთთან შედარების მოხერხებულობისათვის (7-8) ტოლობის ორივე ნაწილი შეიძლება გავამრავლოთ სიდიდეზე $\left(\frac{100}{Q_{\text{შვ}}^3}\right)$, ე. ი. ცალკე საკრებები გამოვსახოთ %-ით $Q_{\text{შვ}}^3$ სიდიდისა:

$$100\% = q_p + q_{\text{გამ. წყ.}} + q_{\text{წარ. აირ.}} + q_{\text{ქიმ.}} + q_{\text{დანარ.}} \quad (7-9)$$

მიხლოებითი მნიშვნელობები დიზელის ძრავას სითბური ბალანსის საკრებებისათვის შემდეგია:

სასარგებლო სითბო	$q_p = 30-45\%$
დანაკარგი გამაგრილებელი წყლით	$q_{\text{გამაგ. წყ.}} = 15-35\%$

დანაკარგი წარმავალი აირებით	წილი. აირ. = 25-45%
დანაკარგი ქიმიურად უსრულო წვით . . .	წილი. = 0-5%
დანარჩენი დანაკარგები .	წილი. = 2-5%

იგივე კარბურატორიანი ძრავებისათვის

სასარგებლო სითბო .	$\eta_c = 16 \pm 28\%$
დანაკარგი გამაგრებელი წყლით .	გაზაგრ. წყ. :- 12 \pm 20%
დანაკარგი წარმავალი აირებით .	წილი. აირ. = 3 \pm 55%
დანაკარგი ქიმიურად უსრულო წვით .	წილი. = 0 \pm 4,5%
დანარჩენი დანაკარგები .	წილი. = 3 8%

ძრავას ლატვირთვის ცვლილების დროს იცვლება აგრეთვე სითბური ბალანსის საკრებთა შორის სითბოს განაწილება. შიგაწვის ძრავას სითბური ბალანსი შესაძლებელია მოცემულ იქნეს გრაფიკის სახით.

7-8. შიგაწვის ძრავას მარჯი ძმეღების კომპონენტები და ხაზობის ხარჯი

შიგაწვის ძრავას მუშაობის სრულყოფილობის მახასიათებლად მიღებულია რამდენიმე მარჯი ქმეღებას კოეფიციენტი, რომლებიც იძლევიან წარმოდგენას ძრავაში სითბოს გამოყენებისა და სითბური დანაკარგების შესახებ. მასთან კოეფიციენტების განილდესას არჩევენ როგორც აბსოლუტური, ისე ფარდობით მარჯი ქმეღების კოეფიციენტებს.

ძრავას ინდიკატორული (აბსოლუტური) მარჯი ქმეღების კოეფიციენტი (η_i) გამოსახავს ინდიკატორულ მუშაობად გარდაქმნილ სითბოს რაოდენობის შეფარდებას დახარჯულ სითბოს რაოდენობასთან. ექსპლოატაციაში მყოფი ძრავას ინდიკატორული მარჯი ქმეღების კოეფიციენტი შეიძლება განისაზღვროს გამოცდის საშუალებით, რისთვისაც საჭიროა განესაზღვროთ ძრავას ინდიკატორული სიმძლავრე (N_i) და სათბობის საათური ხარჯი (B). ამ შემთხვევაში შესრულებული ინდიკატორული მუშაობის ეკვივალენტური სითბო იქნება $\frac{N_i \cdot 75 \cdot 3600}{427}$, დახარჯული სითბო კი შეადგენს $B \cdot Q_{\text{წვ}}^0$. მაშასადამე, ძრავას ინდიკატორული მ. ქ. კოეფიციენტი გაიანგარიშება ფორმულით

$$\eta_i = \frac{N_i \cdot 75 \cdot 3600}{427 \cdot B \cdot Q_{\text{წვ}}^0} = \frac{N_i \cdot 632}{B \cdot Q_{\text{წვ}}^0} \quad (7-10)$$

სადაც B კგ/სთ არის სათბობის საათური ხარჯი;

$Q_{\text{წვ}}^0$ კკალ/კგ — სათბობის მუშა უდაბლესი დაწვის სითბო;

632 კკალ/ც. ძ. სთ.—ერთი საათის განმავლობაში ერთი ცხენის ძალის სითბური ეკვივალენტი.

ინდიკატორული მარჯი ქმეღების კოეფიციენტის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ძრავას ტიპსა და სიმძლავრეზე და იცვლება ზღვრებში 0,20-; 0,50. სათბობის ხვედრითი ხარჯი წარმოადგენს სათბობის ხარჯს ძრავას სიმძლავრის ერთი ცხენის ძალაზე ერთი საათის განმავლობაში.

სათბობის ხვედრითი ინდიკატორული ხარჯი ძრავასათვის გაიანგარიშება ფორმულით

$$h_f = \frac{632}{Q_{\text{წვ}}^0 \cdot \eta_i} \quad \text{კგ/ინდ. ც. ძ. სთ.} \quad (7-11)$$

თუ ცნობილია სათბობის საათური ხარჯი (B კვ/სთ) და ძრავას ინდიკატორული სიმძლავრე (N_i ც. დ.), მაშინ სათბობის ხვედრითი ინდიკატორული ხარჯი განისაზღვრება ფორმულით

$$b_i = \frac{B}{N_i} \text{ კვ/ინდ. ც. დ. სთ.}$$

ძრავას ფარდობითი ინდიკატორული მარგი ქმედების კოეფიციენტი ისაზღვრება ფორმულით

$$\eta_{\text{ი.}} = \frac{\eta_i}{\eta_e} \quad (7-12)$$

სადაც η_i არის ძრავას აბსოლუტური მ. ქ. კოეფიციენტი;

η_e — ძრავას იდეალური ციკლის თერმული მ. ქ. კოეფიციენტი.

ძრავას ეფექტური (აბსოლუტური) მარგი ქმედების კოეფიციენტი აღრიცხავს ძრავაში არსებულ ყველა დანაკარგს და წარმოადგენს ეფექტურ მუშაობად გარდაქმნილი სითბოს შეფარდებას დახარჯულ სითბოსთან. ინდიკატორული მარგი ქმედების კოეფიციენტის ანალოგიურად, ამ შემთხვევაშიაც შეიძლება დაიწეროს

$$\eta_e = \frac{N_e \cdot 75}{427 \cdot B \cdot Q_{\text{შე}}^3} = \frac{632 N_e}{B \cdot Q_{\text{შე}}^3} \quad (7-13)$$

თუ სათბობის ხვედრით ხარჯს, რომელიც იხარჯება ეფექტური სიმძლავრის ერთ ცხენის ძალზე ერთი საათის განმავლობაში, აღვნიშნავთ b_e -თი, მაშინ გვექნება

$$b_e = \frac{632}{Q_{\text{შე}}^3 \eta_e} \text{ კვ/ფვ. ც. დ. სთ.} \quad (7-14)$$

ხოლო, თუ ცნობილია სათბობის საათური ხარჯი (B) და ეფექტური სიმძლავრე (N_e), გვექნება

$$b_e = \frac{B}{N_e} \text{ კვ/ფვ. ც. დ. სთ.}$$

ძნელი არ არის დავრწმუნდეთ იმაში, რომ

$$\frac{b_i}{b_e} = \frac{\eta_e}{\eta_i} = \eta_{\text{შე.}}$$

ანუ
$$\eta_e = \eta_{\text{შე.}} \cdot \eta_i \quad (7-15)$$

ვინაიდან ეფექტური მარგი ქმედების კოეფიციენტი აღრიცხავს ყველა დანაკარგს (თერმოდინამიკურად აუცილებელი, დამატებითი და მექანიკური დანაკარგები), ამიტომ შეიძლება დაიწეროს

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_{\text{შე.}} \cdot \eta_{\text{მე.}} \quad (7-16)$$

(7-1) ცხრილში მოყვანილია b_e -სა და η_e -ს მიახლოებითი მნიშვნელობანი სხვადასხვა ტიპის ძრავებისათვის (ნომინალური სიმძლავრის დროს).

ცხრილი 7-1		
ძ რ ა ვ ა ს ტ ი პ ი	ბ რ ვ ფ ვ. ც. დ. სთ.	η_e %
უკომპრესორო დიზელი	140—210	30—37
კარბურატორიანი ძრავა	220—290	22—26
ორტაქტიანი კალორიზატორიანი	260—420	15—24

თუ შიგაწევის ძრავაში სათბობად გამოყენება გენერატორის აირი, მაშინ გაიანგარიშება აირგენერატორის და ზიგაწევის ძრავას დანადგარის ეკონომიური მარგი ქმედების კოეფიციენტი აირგენერატორში გამოყენებული მყარი სათბობის მიმართ. აირგენერატორში ადგილი აქვს სითბოს კარგებს და მისი აღრიცხვა ხდება აირგენერატორის მარგი ქმედების კოეფიციენტის მიხედვით (7ა, 216).

მაშასადამე, აირგენერატორის მთლიანი დანადგარის ეკონომიური მარგი ქმედების კოეფიციენტი შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$\eta_{\text{გ.}} = \eta_{\text{ა.}} \cdot \eta_{\text{ე.}}$$

$$\eta_{\text{გ.}} = \frac{632 N_{\text{გ.}}}{B \cdot Q_{\text{შ.}}}$$

აბ

უკანასკნელ ფორმულაში B და $Q_{\text{შ.}}^3$ იღება აირგენერატორში გამოყენებული მყარი სათბობის მიხედვით.

თუ შიგაწევის ძრავაში სათბობად განიიხებება აირადი სათბობი, მაშინ აირადი სათბობის დაწვის სითბო იღება ერთი ნმ³ აირის მიმართ ($Q_{\text{შ.}}$ კკალ/ნმ³). მაშასადამე, აირის ძრავებისათვის ინდიკატორული მარგი ქმედების კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით

$$\eta_i = \frac{632 N_i}{V_s Q_s} \quad (7-17)$$

აირის ძრავებისათვის აირის ხვედრითი ხარჯის სიდიდე $\frac{V_s}{N_i}$ ნმ³/ინდ. ც. დ. სთ.

არ არის დამახასიათებელი სიდიდე, რადგან სხვადასხვა აირს მოცულობის მიხედვით სხვადასხვა დაწვის სითბო აქვთ. ამიტომ აირის ძრავას ეკონომიურობის დახასიათებისათვის იყენებენ სითბო ხვედრითი ხარჯის სიღაღეს, რომელიც შეიძლება განისაზღვროს სიდიდით

$$\frac{V_s \cdot Q_s}{N_i} \text{ კკალ/ინდ. ც. დ. სთ.}$$

თ ა მ ი 7-4

შიგაწევის ძრავას ძირითადი ზომების განსაზღვრა

7-9. ძრავას ძირითადი ზომების განსაზღვრა საშუალო

ინდიკატორული წნევის მიხედვით

ახალი ძრავას დაპროექტებისას, კონსტრუქტორი, დასაბრუნებელი ძრავას მსგავსი ძრავებისათვის მონაცემების საფუძველზე, მიიღებს საშუალო ინდიკატორული წნევისათვის გარკვეულ მნიშვნელობას და მის მიხედვით მოახდენს გაანგარიშებას. შექანიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობას მიიღებს ძრავას სრული დატვირთვის შემთხვევისათვის. კონსტრუქტორის მიერ

აგრეთვე შეირჩევა სიდიდე $= \frac{S}{D}$. შიგაწევის ძრავების შემთხვევებისათვის მიღებულია:

$$r = \frac{S}{D}$$

ნელი სულის ძრავებისათვის	1.4 ÷ 1.5:
გადიდებული ბრუნთა რიცხვების შემთხვევებისათვის	1.1 ÷ 1.2:
სწრაფი სულის ძრავებისათვის	1.0 1.1:
იშვიათ შემთხვევებში ძრავებისათვის იღება . . .	$\epsilon < 1$.

ძრავას დაპროექტების დროს ცნობილია შემდეგი მონაცემები: ძრავას ფეკტური სიმძლავრე ($N_{\text{ფ.}}$), ტაქტიანობა (τ), მუხლა ლილვის ბრუნთა რიცხვი (n) და ცილინ-

დრთა რიცხვი (z). ზოგიერთ შემთხვევაში საანგარიშო ფორმულებში ძრავას ტაქტიანობა (T) არ შეაქვთ და პირდაპირ იწერება ფორმულები ცალ-ცალკე, როგორც ოთხტაქტიანი, ისე ორტაქტიანი ძრავებისათვის.

ერთი მუშა ციკლის დროს ცილინდრში აირების მუშაობა შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$L_{\text{ც}} = \frac{\pi D^3}{4} p_i S = F S p_i \text{ კგმ/ციკლი,} \quad (7-18)$$

სადაც F სმ² არის დგუშის ფართობი;

S მ — დგუშის სვლის სიღიღე;

$L_{\text{ც}}$ კგმ — შესრულებული მუშაობა ერთი მუშა ციკლის დროს.

თუ დგუშის სვლის სიღიღეს გამოვსახავთ სანტიმეტრობით, ე. ი. 100-ჯერ მეტი რიცხვით, მაშინ (7-18) ფორმულა შეიძლება დაიწეროს შემდეგი სახით

$$L_{\text{ც}} = \frac{F \cdot S}{100} p_i = \frac{V_h p_i}{100} \text{ კგმ/ციკლი,} \quad (7-19)$$

სადაც V_h სმ³ არის დგუშის სვლით აღწერილი ცილინდრის მუშა მოცულობა;

p_i კგ/სმ² — საშუალო ინდიკატორული წნევა.

ოთხტაქტიანი ძრავაში მუხლა ლილვის ორჯერ შემობრუნებისას სრულდება ციკლის მუშაობა ($L_{\text{ც}}$), მაშასადამე, ძრავას ცილინდრებში ერთი წუთის განმავლობაში შესრულდება მუშაობა

$$L_{\text{წთ}} = L_{\text{ც}} \cdot \frac{n}{2} z,$$

ხოლო წამის განმავლობაში ძრავას ცილინდრებში აირის მიერ შესრულდება მუშაობა

$$L_{\text{წმ}} = L_{\text{ც}} \cdot \frac{n}{2 \cdot 60} \cdot z = \frac{V_h p_i}{100} \cdot \frac{n}{2 \cdot 60} \cdot z. \quad (7-20)$$

ერთი ცხენის ძალა წარმოადგენს სიღიღეს 75 კგმ/წმ, მაშასადამე, ძრავაში აირების მიერ განვითარებული სიმძლავრე შეიძლება გამოისახოს ცხენის ძალებში, ე. ი. ინდიკატორული სიმძლავრე

$$N_i = \frac{1}{75} \cdot \frac{V_h p_i}{100} \cdot \frac{n}{2 \cdot 60} z = \frac{V_h n \cdot z \cdot p_i}{900000} \text{ ც. ძ.} \quad (7-21)$$

ძრავას ეფექტური სიმძლავრე

$$N_e = \frac{V_h n \cdot z \cdot p_i \cdot \eta_{\text{აბჭ.}}}{900000} \text{ ც. ძ.} \quad (7-22)$$

ამ ფორმულებში V_h აღებულია სმ³.-ით, p_i კგ/სმ²-ზე და დანარჩენი სიდიდეები უგანზომილებო სიდიდეებია.

(7-22) ფორმულიდან ძრავას ერთი ცილინდრის მოცულობა იქნება

$$V_h = \frac{900000 N_e}{n \cdot z \cdot p_i \cdot \eta_{\text{აბჭ.}}} \text{ სმ}^3, \quad (7-23)$$

სადაც მარჯვენა მხრის სიდიდეები მოცემულია ან შერჩეულია პროექტანტის მიერ.

როდესაც გაინაგარიშება ძრავას ერთი ცილინდრის მუშა მოცულობა V_h სმ³ და

შეირჩევა სიღრმე $e = \frac{S}{D}$ ან $S = D$ შეიძლება განისაზღვროს სიღრმე D (დგუშის დიამეტრი):

$$\left. \begin{aligned} V_h &= \frac{\pi \cdot D^3}{4} \cdot S; \\ \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot D \cdot e &= \frac{\pi \cdot e \cdot D^3}{4} = V_h; \quad D^3 = \frac{4 \cdot V_h}{\pi \cdot e} \text{ სმ}^3 \end{aligned} \right\} (7-24)$$

მაშასადამე, დგუშის დიამეტრი განისაზღვრება ფორმულით

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_h}{\pi \cdot e}} \text{ სმ.}$$

თუ უკანასკნელ ფორმულაში V_h -ის მნიშვნელობას შევცვლით (7-23) ფორმულიდან, მივიღებთ

$$D = \sqrt[3]{\frac{3600000 \cdot N_e}{\pi \cdot e \cdot n \cdot z \cdot \rho_i \cdot \eta_{\text{შპკ}}}} \text{ სმ.} \quad (7-25)$$

თუ ძრავა არის ორტაქტიანი, მაშინ მუშაობა L_6 (ციკლის) სრულდება მუხლა ლილვის ერთჯერ შემობრუნების დროს, ამისათვის (7-21) ფორმულაში $\frac{\pi}{2}$ -ის ნაცვლად შეტანილი უნდა იქნეს სიღრმე n . აღნიშნულის მხედველობაში მიღებით ზემომოყვანილი ფორმულები ორტაქტიანი ძრავას შემთხვევისათვის მიიღებენ სახეს:

$$N_i = \frac{V_h \cdot n \cdot z \cdot \rho_i}{450000}; \quad (7-21')$$

$$N_e = \frac{V_h \cdot n \cdot z \cdot \rho_i \cdot \eta_{\text{შპკ}}}{450000}; \quad (7-22')$$

$$V_h = \frac{450000 \cdot N_e}{n \cdot z \cdot \rho_i \cdot \eta_{\text{შპკ}}}; \quad (7-23')$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{1800000 \cdot N_e}{\pi \cdot e \cdot n \cdot z \cdot \rho_i \cdot \eta_{\text{შპკ}}}} \quad (7-25')$$

7-10. ძრავას ძირითადი ზომების განსაზღვრა სათბობის წონისათვის სახირო სამარის მოცულობის მიხედვით

თუ ძრავას ეფექტური სიმძლავრე არის N_e ც. ძ. და აქვს z ცილინდრი, მაშინ სათბობის საათური ხარჯი ძრავას სრული დატვირთვისას განისაზღვრება ფორმულით

$$B = \frac{632 \cdot N_e}{Q_{\text{შპკ}} \cdot \eta_e} \text{ კგ/სთ,} \quad (7-26)$$

ხოლო სათბობის საათური ხარჯი ძრავას ერთ ცილინდრში განისაზღვრება ფორმულით

$$B_{\text{ცილინდ.}} = \frac{632 \cdot N_e}{Q_{\text{შპკ}} \cdot \eta_e \cdot z} \text{ კგ/ცილინდრ. საათში} \quad (7-27)$$

ყოველი სახის სათბობისათვის შეიძლება გაანგარიშებულ იქნეს ჰაერის მოცულობა (V^0 ნმ³/კგ), რომელიც თეორიულად საჭიროა 1 კგ სათბობის სრული დაწვისათვის.

სინაძღველენი 1 კვ სათბობის დასაწვავად საჭიროა ჰაერის რაოდენობა, რომელიც განისაზღვრება α მმ³/კვ სიდიდით. ქვემოთ მოცემულია ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის (α) საორიენტაციო მიახლოებითი მნიშვნელობები ზოგიერთი ტიპის შიგაწვის ძრავებაათვის:

უკმაჰუკაჰო ოთბქ აქტიანი ძრავებისათვის	$\alpha = 1,8 : 2;$
კომპაჰუკაჰი ოთბქტიანი ძრავებისათვის	$\alpha = 2 : 2,2;$
არის ძრავებაათვის	$\alpha = 1,7 : 1,4;$
ბენზინის ძრავებისათვის	$\alpha = 1,0 : 1,2.$

ზოგიერთ შემთხვევაში მაქსიმალური სიმძლავრის მიღებისათვის ძრავას მსუბუქი წონის დროს იღებენ $\alpha < 1$.

თუ ჰაერის ბარომეტრული წნევა არის h_a მმ ვ. წყ. სვ. და ჰაერის ტემპერატურა t_a °C, მაშინ 1 კვ სათბობის დაწვისათვის საჭირო ჰაერი ძრავაში დაიკაფებს მოცულობას

$$V_{(1.2)} = \alpha \cdot V^0 \frac{760 \cdot (273 + t_a)}{h_a \cdot 273} \quad (7-28)$$

თუ გამოვთვლით ძრავას ცილინდრში ერთი ციკლის დროს რამდენი კილოგრამი სათბობი უნდა დაიწვას, მაშინ განვსაზღვრავთ თუ რა მოცულობის ჰაერი უნდა იქნეს შეწოვილი ოთბქტიანი ძრავას ცილინდრში შეწოვის სვლის (ქ ტაქტი) დროს ან უნდა მიეწოდოს ორტაქტიანი ძრავას ცილინდრში შეკუმშვის პროცესის წინ. თუ ძრავა ოთბქტიანია, მაშინ წუთში მის ყოველ ცილინდრში სრულდება $\frac{\pi}{2}$ ციკლი, ხოლო სა-

ათში $\frac{60 \cdot \pi}{2} = 30$ " ციკლი .

ვინაიდან ძრავას ერთ ცილინდრში ერთი საათის განმავლობაში იწვის $B_{ციკლი}$ კვ სათბობი, მაშინ (7-27) ფორმულის გამოყენებით შეიძლება განისაზღვროს სათბობის ხარჯი ერთ ცილინდრში ერთი მუშა ციკლის განმავლობაში

$$B_{ციკლი} = \frac{632 \cdot N_e}{30 \cdot \pi \cdot Q_{წვ}^3 \cdot \eta_e \cdot z} \quad \text{კვ/ციკლი} \quad (7-29)$$

შეწოვის ერთი სვლის დროს ძრავას ცილინდრში შეწოვილი უნდა იქნეს ატმოსფერული ჰაერი მოცულობით

$$V_{ციკლი} = B_{ციკლი} \cdot V_{(1.2)} = \frac{632 \cdot N_e}{30 \cdot \pi \cdot Q_{წვ}^3 \cdot \eta_e \cdot z} \cdot \frac{\alpha \cdot V^0 \cdot 760 \cdot (273 + t_a)}{h_a \cdot 273} \quad (7-30)$$

მუშა ცილინდრში ასეთი მოცულობის ჰაერის შეწოვისათვის საჭიროა დგუშის სვლის შესაბამისი მოცულობა იყოს მეტი, აღებული ძრავას შევსების კოეფიციენტის (η_s) გათვალისწინებით.

მაშასადამე, აღვილი უნდა იქნეს შემდეგ ტოლობას

$$V_H = \frac{V_{ციკლი}}{\eta_s} \quad (7-31)$$

სადაც V_H არის ძრავას ერთი ცილინდრის მოცულობა;

η_s — ცილინდრის შევსების კოეფიციენტი.

მაშასადამე, ძრავას ცილინდრის მუშა მოცულობა განისაზღვრება ფორმულით

$$\begin{aligned}
 I_h &= \frac{632 \cdot N_e}{30 \cdot n \cdot Q_{\text{ვმ}}^3 \cdot \eta_e \cdot z} \cdot \frac{\alpha \cdot V' \cdot 760 (273 + t_1)}{h_b \cdot 273 \cdot \eta_u} \\
 &= \frac{632 \cdot 760}{30 \cdot 273} \cdot \frac{N_e \cdot \alpha \cdot V' \cdot (273 + t_1)}{n \cdot Q_{\text{ვმ}}^3 \cdot \eta_e \cdot z \cdot h_b \cdot \eta_u} = \\
 &= 58,65 \cdot \frac{N_e \cdot \alpha \cdot V' \cdot (273 + t_1)}{n \cdot Q_{\text{ვმ}}^3 \cdot \eta_e \cdot z \cdot h_b \cdot \eta_u} \text{ გ}^3, \quad (7-32)
 \end{aligned}$$

ან თუ გადავიყვანოთ სმ³, მივიღებთ

$$V_h = \frac{58650000 \cdot N_e \cdot \alpha \cdot V' \cdot (273 + t_1)}{n \cdot Q_{\text{ვმ}}^3 \cdot \eta_e \cdot z \cdot h_b \cdot \eta_u} \text{ სმ}^3. \quad (7-33)$$

ანალოგიური მსჯელობით ორტაქტიანი ძრავისათვის მივიღებთ იგივე ფორმულას, მაგრამ ორჯერ ნაკლები კოეფიციენტით, ვინაიდან $\frac{n}{2}$ -ის ნაცვლად ფორმულაში შევასიდიღე n .

მაშასადამე, ორტაქტიანი ძრავას ცილინდრის მუშა მოცულობა გაიანგარიშება ფორმულით

$$V'_h = \frac{29325000 \cdot N_e \cdot \alpha \cdot V' \cdot (273 + t_1)}{n \cdot Q_{\text{ვმ}}^3 \cdot \eta_e \cdot z \cdot h_b \cdot \eta_u} \text{ სმ}^3 \quad (7-34)$$

(7-33) და (7-34) ფორმულების საშუალებით, ანალოგიურად წინა პარაგრაფში მოყვანილი ხერხისა, შეიძლება განისაზღვროს ღებელ ძრავას ძირითადი ზომები (D და S).

7-11. საშუალო ინდიკატორული წნევის დამოკიდებულება სხვადასხვა ფაქტორებზე

თუ (7-23) და (7-33) ფორმულების მარჯვენა მხარეებს გავეტოლებთ ერთმანეთს, მივიღებთ

$$\frac{900000}{n \cdot z \cdot p_i \cdot \eta_{\text{მკ}} \cdot \eta_{\text{მკ}}} = \frac{58650000 \cdot N_e \cdot \alpha \cdot V' \cdot (273 + t_1)}{n \cdot Q_{\text{ვმ}}^3 \cdot \eta_e \cdot z \cdot h_b \cdot \eta_u}.$$

სათანადო სიდიდეთა შეკვეთის შემდეგ ამოვსნათ საშუალო ინდიკატორული წნევის p_i -ის მნიშვნელობა:

$$p_i = \frac{900000 \cdot Q_{\text{ვმ}}^3 \cdot \eta_e \cdot \eta_u \cdot h_b}{58650000 \cdot \eta_{\text{მკ}} \cdot \alpha \cdot V' \cdot (273 + t_1)}. \quad (7-35)$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ $\eta_i = \frac{\eta_e}{\eta_{\text{მკ}}}$, მაშინ საშუალო ინდიკატორული წნევა განისაზღვრება ფორმულით

$$p_i = 0,0153 \cdot \frac{Q_{\text{ვმ}}^3}{V'} \cdot \frac{\eta_i \cdot \eta_u \cdot h_b}{\alpha (273 + t_1)}. \quad (7-36)$$

როგორც უკანასკნელი ფორმულიდან ჩანს, ისე როგორც ძრავას სიმძლავრე, საშუალო ინდიკატორული წნევაც აგრეთვე მცირდება ატმოსფერული ჰაერის ბარომეტრული წნევის შემცირებით და მისი ტემპერატურის გადიდებით. ახალი ძრავების კონსტრუირების დროს ცდილობენ მიაღწიონ η_i და η_u მარჯვი ქმედების კოეფიციენტების

მნიშვნელობათა გადიდებას და ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის შემცირებას. ატმოსფერული ჰაერის ბარომეტრული წნევის შემცირებით ძრავას სიმძლავრის შემცირება შეიძლება თავიდან იქნეს აცილებული ჩაბერვის მეთოდის გამოყენების საშუალებით.

7-12. ფორმულების ვარიანტი აირის ძრავებისათვის

აირის ოთხტაქტიანი ძრავა ჰაერთან ერთად შეიწოვს საწვავ აირს, რომელსაც უკავია შესაძინევი მოცულობა ჰაერის მოცულობასთან შედარებით მავალითად, 1 მ³ გენერატორის აირის დაწვისათვის თეორიულად საჭიროა მხოლოდ 1 მ³ ჰაერი, ხოლო პრაქტიკულად დაახლოებით 1,5 მ³. აირის დაწვის სიბოლო იღება არა ერთი კვ მიმართ, არამედ იღება 1 ნმ³ აირის მიმართ. საერთოდ ყველა გაანგარიშება ხდება აირის მოცულობის მიმართ.

მუშა ნარევის მოცულობა, რომელიც მოდის 1 ნმ³ საწვავ აირზე და შეიწოვება ძრავის მიერ, იქნება $(1 + \alpha \cdot V^0)$ მ³. თუ V^0 არის ერთი კუბური მეტრი საწვავი აირის დაწვისათვის საჭირო ჰაერის თეორიული ხარჯი.

თუ ჩავატარებთ ყველა იმ მსჯელობას, რომელიც ჩატარებული იყო ძრავას ცილინდრის მუშა მოცულობის განსაზღვრისათვის, როდესაც დიზელების შემთხვევაში შეიწოვებოდა მხოლოდ ჰაერი, მივიღებთ მხოლოდ αV^0 სიდიდის შეცვლას $(1 + \alpha V^0)$ სიდიდით. რის შედეგად საბოლოო ფორმულები აირის ოთხტაქტიანი ძრავისათვის მიიღებს სახეს:

$$V_h = \frac{58650000 N_e \cdot (1 + \alpha \cdot V^0) \cdot (273 + t_1)}{n Q_0 \cdot \eta_e \eta_0 z h_b} ; \quad (7-37)$$

$$N_c = \frac{V_h \cdot n Q_0 \eta_e \eta_0 z \cdot h_b}{58650000 \cdot N_e \cdot (1 + \alpha \cdot V^0) (273 + t_1)} ; \quad (7-38)$$

$$\rho_i = 0,0153 \frac{Q_0 \cdot \eta_i \eta_0 \cdot h_b}{(1 + \alpha \cdot V^0) (273 + t_1)} ; \quad (7-39)$$

სადაც Q_0 კკალ/ნმ³ არის 1 ნმ³ საწვავი აირის დაწვის სიბოლო.

თ ა ნ ი 7-5

აირგანაწილება და ძრავას უმთავრესი კონსტრუქციული ნაწილები

7-13. ზოგადი ცნებანი აირგანაწილების ფაზების შესახებ

შიგაწვის ძრავების ციკლების ტექნიკური თერმოდინამიკის თვალსაზრისით განხილვისას მიღებულია, რომ ძრავას სარქველების გაღებისა და დახურვის მომენტები თანხედება დგუშის მდებარეობებს მკედარ წერტილებში. რეალურ ძრავებში მუშა ცილინდრების უკეთესი გასუფთავებისა და შეეცების მიზნით, შემშვები და გამომშვები სარქველების გაღებისა და დახურვის მომენტები არ ემთხვევა დგუშის მდებარეობებს მკედარ წერტილებში და ადგილი აქვს ნაადრევად ან დაგვიანებით მათ გაღებასა და დახურვას.

ზოგიერთი ტიპის ძრავებში წარმავალი აირების განდევნის დასასრულს და შეწოვის პროცესის დასაწყისში როგორც შემშვები, ისე გამომშვები სარქველები ერთდროულად ღიაა, ე. ი. ადგილი აქვს სარქველების „გადახურვას“.

შიგაწვის ძრავებიდან წარმავალი აირების გამომშვები სარქველები იწყებენ გაღებას დგუშის ქვედა მკედარ წერტილში (შვეულ შიგაწვის ძრავებში) ჩასვლამდე, ე. ი. მაშინ, როდესაც ჯერ არ არის დამთავრებული ნამწვი აირების გაფართოების

პროცესი. გამოშვები სარქველის გაღების წინსწარმა აუცილებელია ცილინდრის წარმავლი აირებისგან გასუფთავების უზრუნველსაყოფად. გამოშვები სარქველის მეტად ნაადრევად გაღება გამოიწვევს ძრავის სიმძლავრის შემცირებას. ყოველი ტიპის ძრავისათვის გამოშვები სარქველის გაღების ოპტიმალური მომენტი დადგენა უშუალოდ ცილის საშუალებით ხდება. გამოშვები სარქველის გაღების მომენტი აგრეთვე დამოკიდებულია ძრავის მუშაობის რეჟიმზე; რაც უფრო სწრაფმავალია ძრავა, მით უფრო ადრე უნდა გაიღოს სარქველი.

გამოშვები სარქველების დახურვა ხდება მცირე დაგვიანებით, ე. ი. მაშინ, როდესაც დგუში რამდენიმედ გადაცდება ზედა მკვდარ წერტილს, რითაც უზრუნველყოფილია ძრავის ცილინდრის უკეთესი გასუფთავება. როდესაც დგუში იმყოფება ზედა მკვდარ წერტილში, გამოშვები სარქველი რომ დაიხუროს, ნარჩენი აირის წნევა და, მაშასადამე, რაოდენობა დიდი იქნება, უკანასკნელი კი ხელს შეუშლის ძრავის ცილინდრში ახალი ულუფის შეწოვას, რაც გამოიწვევს სიმძლავრის შემცირებას. ძრავის ცილინდრის უკეთ გასუფთავება უზრუნველყოფილი იქნება, თუ გამოშვები სარქველის დახურვის მომენტი დაემთხვევა გაუხშობის გამოშვებ მიღში. ძრავის ბრუნთა რიცხვსა და გამოშვები სისტემის კონსტრუქციაზე დამოკიდებულებით გამოშვები სარქველის დახურვის დაგვიანება, მუხლა ლილის მობრუნების კუთხის მიხედვით ექსპერიმენტული გზით ხდება.

ძრავების შემშვები სარქველების გაღება ხდება ზედა მკვდარ წერტილთან ახლოს, მაშინ როდესაც მუშა ცილინდრში წნევა შემწოვ მიღში არსებულ წნევაზე ნაკლები გახდება. სწრაფსიჩქარის შიგაწვის ძრავებში მოძრავი აირის დიდი ინერციის გამო წნევა შემწოვ მიღში იზრდება და ცალკეულ შემთხვევაში ატმოსფერულ წნევაზე მაღალი ხდება. აღნიშნულის შედეგად იქნება შესაძლებლობა შემშვები სარქველის გაღებისა, როდესაც დგუში არ იქნება მისული ზედა მკვდარ მდგომარეობაში. ნელსიჩქარე, ე. ი. მცირე ბრუნთა რიცხვის მქონე ძრავებში წარმავალი აირების გაღების ინერცია უმნიშვნელოა და შემშვები სარქველი უნდა გაიღოს ცოტათი დაგვიანებით, მაშინ, როდესაც დგუში გადასცდება ზედა მკვდარ წერტილს და მუშა ცილინდრში ნარჩენი აირების გადაართობის გამო გაუხშობა შეიქმნება. შემშვები სარქველების გაღების მომენტებს სხვა დასხვა ტიპის ძრავებისათვის აწესებენ ექსპერიმენტული გზით.

ტექნიკური თერმოდინამიკის განხილვის თვალსაზრისით ძრავების ციკლების განხილვისას შემშვები სარქველების დახურვა უნდა მოხდეს ქვედა მკვდარ წერტილში, რეალურ ძრავებში შემშვები სარქველების დახურვა ხდება დაგვიანებით, ე. ი. ქვედა მკვდარი წერტილის შემდეგ, რის შედეგად ადგილი აქვს ძრავის მუშა ცილინდრების უკეთ შევსებას (მუშა ნარევით ან ჰაერით) და სიმძლავრის მნიშვნელოვანად გადიდებას. ცხადია, რომ რაც უფრო დიდაა ბრუნთა რიცხვი, მით უფრო დაგვიანებით უნდა დაიხუროს შემშვები სარქველები. შემშვები სარქველის ნაადრევად გაღებისა და გამოშვები სარქველის დაგვიანებით დახურვისას ადგილი აქვს სარქველების „გადახურვას“ და განსაზღვრული დროის განმავლობაში ორივე სარქველი ერთდროულად ღიაა. ამ პერიოდში, მიუხედავად იმისა, რომ დგუში მოძრაობს ქვევითენ, წარმავალი აირის ნაკადი არ იცვლის მიმართულებას და განაგრძობს გამოღინებას. გამოშვები სარქველიდან ერთდროულად ცილინდრში შესვლას იწყებს ახალი ულუფა, რის შედეგადაც მუშა ცილინდრში ხელს უწყობს წარმავალი აირის მოძრაობის გამოშვები მოქმედება.

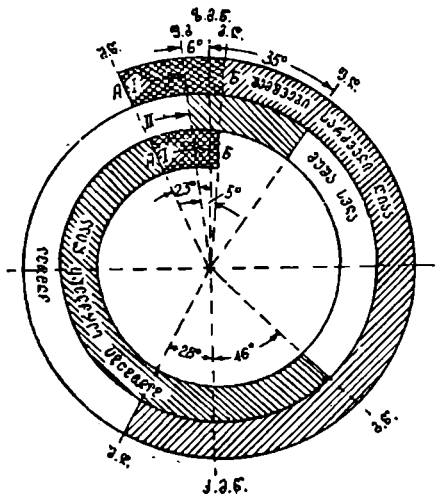
თვითაალებით მომუშავე შიგაწვის ძრავებში, სარქველების „გადახურვის“ ხარჯზე ხორციელდება ახლად შესული ჰაერით კუმშვის კამერიდან წარმავალი აირების გამოქრება.

თუ დაშვებული იქნება შემშვები და გამოშვები სარქველების მეტად დიდი „გადახურვა“, შეიძლება ადგილი ექნეს წარმავალი აირების მოხედრას შემწოვ მიღში ან ახალი ულუფის ნაწილის გაყოფას გამოშვებ მიღში. საერთოდ მცირე ბრუნთა რიცხვის მქონე

შავაწვის ძრავებში სარქველების გადასურვა არაა გამოყენებული. შევინშნავთ, რომ სხვა-
 ლასაჯი ტიპის შავაწვის ძრავებს და, აგრეთვე, მათი მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმებს შეს-
 ლერისი ოპტიმალური აირგანაწილების ფაზები შეესაბამება. შავაწვის ძრავების აირ-
 განაწილების ფაზების უკეთ წარმოდგენისათვის გამოიყენება აირგანაწილების სპირალუ-
 რი დიაგრამები.

7-14. კომპარსორიანი ოთხტაქტიანი ძრავის (დიზელის) აირგანაწილების
 სპირალური დიაგრამა

ნაკ. 7-4 ზე ნაჩვენებია კომპარსორიანი ოთხტაქტიანი დიზელის აირგანაწილების
 სპირალური დიაგრამა.



ნაკ. 7-4. კომპარსორიანი ოთხტაქტიანი დიზელის აირ-
 განაწილების სპირალური დიაგრამა.

მ. წ.—წევის წინაწარება; დ. გ.—ფრქვევანის გაღება; ხ. მ. წ.—ხედა
 მკვდარი წერტილი; გ. დ.—განაწილის დაშლავრება; დ. დ.—ფრქვევანის
 დაბრუნება; ბ. წ.—განაწილის წინაწარება; ჰ. მ. წ.—კუდა მკვდარი წერ-
 ტილი; მ. დ.—მეწევის დაშლავრება.

ბა ცილინდრში მათი მოხვედრის მომენტში, ე. ი. სათბობის ნაადრევად შეფრქვევა სა-
 კიროა სამზადისი პერიოდისათვის სათბობის ნაწილაკების აალების დაწყებამდე. ამით
 უზრუნველყოფილია სათბობის აალების დაუყოვნებლივი დაწყება დგუშის ზედა მკვდარი
 მდგომარეობიდან გამოსვლისთანავე.

ფრქვევანის დახურვის დამთავრების მომენტს არსებითი მნიშვნელობა არა აქვს, რად-
 გან ცილინდრში თხევადი სათბობის მიწოდება მაშინ კი არ წყდება, როდესაც ფრქვევა-
 ნა დაიხურება, არამედ მაშინ, როდესაც ფრქვევანაში მიწოდებული ერთი ციკ-
 ლისათვის მიწოდებული სათბობის ულუფა გამოიღვევა. როგორც აღნიშნული იყო, გა-
 მომშვები სარქველის გაღების წინსწრება აუცილებელია ცილინდრის წარმატალი აირები-
 საგან გასუფთავების უზრუნველსაყოფად. გამომშვები სარქველის გაღების წინსწრება
 იღება მნიშვნელოვნად დიდი, შედარებით სხვებთან. აგრეთვე ადგილი აქვს გამომშვები
 სარქველის დაგვიანებით დახურვას.

ნაკ. 7-4-ზე ნაჩვენებ სპირალურ დიაგრამაზე ადვილი წარმოსადგენია კომპარსო-
 რიან ოთხტაქტიან დიზელებში აირგანაწილების ფაზები.

დიზელის ძრავაში შეწევის წინ-
 სწრება ანუ შემწევი სარქველის ნაად-
 რევად გაღება ხდება იმისათვის, რომ
 ზედა მკვდარი მდგომარეობიდან ქვე-
 მოთქენ მოძრაობის დაწყებისას შემ-
 შვები სარქველი იყოს მთლიანად ღია,
 რომ არ ექნეს ადგილი დიდ წინალო-
 ბებს პაერის შეღინებისას. შემშვები სარ-
 ქველის ნაადრევად გაღება აგრეთვე
 ხელს უწყობს მუშა ცილინდრის პაერით
 გასუფთავებას. დაგვიანებით შემშვები
 სარქველის დახურვა ხელს უწყობს მუ-
 შა ცილინდრის პაერით მაქსიმალურ
 შეესებას. ასეთი ტიპის ძრავებისათვის
 შემშვები სარქველის დაგვიანებით და-
 ხურვას უფრო მეტი მნიშვნელობა აქვს
 ძრავის მუშაობისათვის, ვიდრე შემშე-
 ბის წინსწრებას.

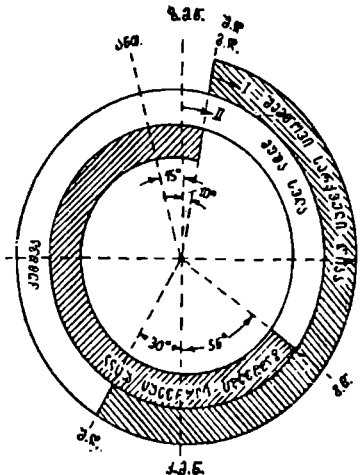
ფრქვევანის გაღების წინსწრებას
 ანუ ნაადრევად გაღებას, სანამ დგუში
 მივიდოდეს ზედა მკვდარ მდგომარეო-
 ბაში, ადგილი აქვს იმისათვის, რომ
 შეფრქვეული (შესხურებული) თხევადი
 სათბობის ნაწილაკების აალება არ ხდე-
 ბა ცილინდრში მათი მოხვედრის მომენტში, ე. ი. სათბობის ნაადრევად შეფრქვევა სა-
 კიროა სამზადისი პერიოდისათვის სათბობის ნაწილაკების აალების დაწყებამდე. ამით
 უზრუნველყოფილია სათბობის აალების დაუყოვნებლივი დაწყება დგუშის ზედა მკვდარი
 მდგომარეობიდან გამოსვლისთანავე.

7-15. აირის (ან კარბურატორიანი) ოთხტაქტიანი შიგაწვის ძრავას აირგანაწილების სპირალური დიაგრამა

აირის ან კარბურატორიანი შიგაწვის ძრავების აირგანაწილება თავის ფაზების მიხედვით მსგავსია ზემოაღწერილი კომპრესორიანი ღიბელის აირგანაწილების ფაზებისა, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ ამ ძრავებს არა აქვთ ფრქვევანას გაღებისა და დახურვის მომენტები ფრქვევანას უთანაობის გამო. მხოლოდ ემატება მუშა ნარევის ანთების პროცესი. ამასთან ერთად აირისა და კარბურატორიანი წელი სელის ძრავებში, მისი მუშაობის პრინციპიდან გამომდინარე, შემშვები სარქველი საერთოდ იბურება და გვიანებით, ნაცვლად ნაადრევად—წინსწრებით გაღებისა. ნაკ. 7-5-ზე ნაჩვენებია ოთხტაქტიანი აირის (ან კარბურატორიანი) შიგაწვის ძრავას აირგანაწილების სპირალური დიაგრამა.

სტაციონარულ შიგაწვის ძრავებს, შედარებით სატრანსპორტო ძრავებთან, აქვთ დაბალი ბრუნთა რიცხვები და ამისათვის შემშვები სარქველები იბურება ცოტათი დაგვიანებით. სწრაფი სელის ძრავების შემთხვევაში დასაშვებია შემშვები სარქველის წინსწრებით, ე. ი. ცოტათი ნაადრევად გაღება 7-13 პარაგრაფში მოყვანილი მსჯელობის საფუძველზე.

სტაციონარული ოთხტაქტიანი აირის შიგაწვის ძრავაში აირგანაწილების ფაზები ნაკ. 7-5 ზე იოლი გასარქვევია. შევნიშნავთ, რომ ნაკეთზე მოცემული კუთხეების სიდიდეები სხვადასხვა სიდიდისაა სხვადასხვა ძრავისათვის. როგორც აღნიშნული იყო, წინსწრების კუთხეების დადგენა სხვადასხვა ტიპის ძრავებისათვის ხდება ექსპერიმენტული გზით.



ნაკ. 7-5. ოთხტაქტიანი აირის (ან კარბურატორიანი) ძრავას აირგანაწილების სპირალური დიაგრამა.

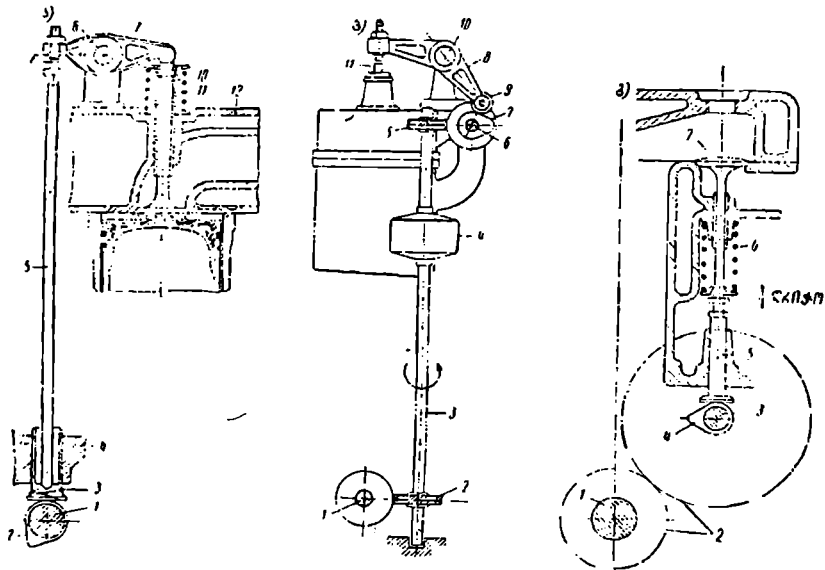
7-16. ძრავების აირგანაწილების მძანინჯვის სქემები

როგორც 7-3 პარაგრაფში იყო აღნიშნული, შიგაწვის ძრავებს ცილინდრების შემშვები და გამომშვები (გამომბოლქვი) სარქველების პერიოდულად გაღებისა და დახურვისათვის აქვთ აირგანაწილებელი მექანიზმები, რომელთა სქემები ნაჩვენებია ნაკ. 7-6-ზე.

ნაკ. 7-6, ა-ზე ნაჩვენებია განმანაწილებელი ლილვიდან (1) სარქველზე (10) მოძრაობის გადაცემის სქემა. განმანაწილებელი ლილვი (1) თავის მხრივ მოძრაობაში მოღის მუხლა ლილვიდან კბილანას საშუალებით. როგორც აღნიშნული იყო, ოთხტაქტიანი ძრავის განმანაწილებელი ლილვის ბრუნთა რიცხვი ორჯერ ნაკლები უნდა იყოს ძრავის მუხლა ლილვის ბრუნთა რიცხვზე, რადგან მუშა ციკლს ასეთ ძრავებში სრულდება მუხლა ლილვის ორჯერ შემობრუნებისას.

ნაკ. 7-6, ბ-ზე ნაჩვენებია შედარებით უფრო გართულებული სქემა აირგანაწილებელი მექანიზმისა შუალედური (რეგულატორის) ლილვით, რომელიც წინათ გამოყენებული იყო შეუვლ ნელი სელის დიზელებში.

ნაქ. 7—6, ვ. ზე ნაწილებია უმარტივესი სქემა, რომელიც ვახსოვრდება კარბონატორის ავტომატებში; ამ შემთხვევაში სარქველები ქვემოთ არიან გაადგილებულნი. ჰორიზონტალურ ძრავებში გამოიყენება სხვა სქემები, მაგრამ სარქველების დაყენება ხდება შვეულ მდგომარეობაში.



ნაქ. 7—6. აირგანმანაწილებელი მექანიზმების სქემები.

ა) 1-განმანაწილებელი ლილვი; 2-მუშტა; 3-სეცი; 4-მიმართველი; 5-მარჯვნივ; 7-ბერკეტი; 8-ბერკეტის ღერძი; 9-დგარი; 10-სარქველი; 11-ხამხარა; 12-ცილინდრის სახურავი.

ბ) 1-მუშლა ლილვი; 2-ბრუნული გადასვლი კბილანები; 3-რეგულატორის ლილვი; 4-რეგულატორი; 5-ბრუნული გადასვლი კბილანები; 6-განმანაწილებელი; 7-მუშტა საყელური; 8-ბერკეტი; 9-გორგოლაპი; 10-ბერკეტის ღერძი; 11-სარქველი.

გ) 1-მუშლა ლილვი; 2-განმანაწილებელი კბილანები; 3-მუშტას ლილვი; 4-მუშტა; 5-მიმართველი; 6-ხამხარა; 7-შეწოვი სარქველი.

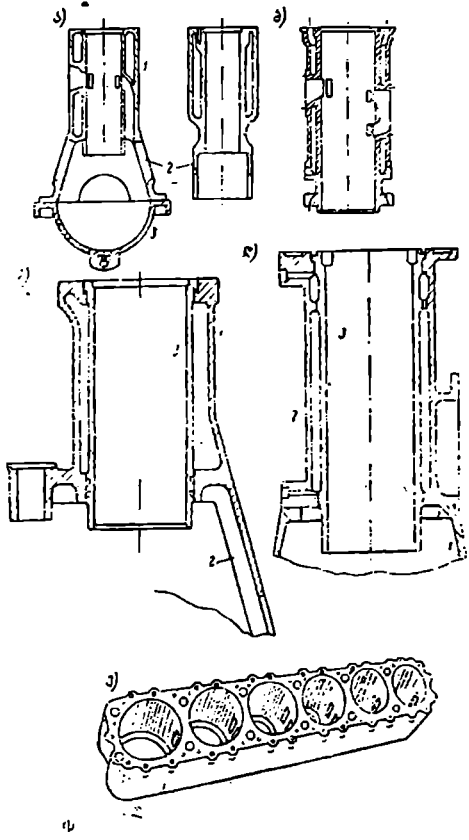
7—17. ძრავის კორპუსის უმთავრესი ნაწილები

შიგაწილის ძრავას კორპუსი ძირითადად შედგება ცილინდრებისა და მათი სახურავებისაგან, კარტერისა და მისი საძირკვლის ჩარჩოსაგან. ძრავას კორპუსის მდგენელი ნაწილები ხშირად მზადდება ერთად სხმული, მაგალითად, ცილინდრები კარტერთან ერთად, კარტერი საძირკვლის ჩარჩოსთან ერთად და ა. შ. კონსტრუქციის გათვალისწინებით და გამარტივების მიზნით თანამედროვე ძრავები უფრო ხშირად მზადდება ბლოკებად, რომლებიც აერთიანებენ ერთ მწკრივში 10—12 ცილინდრამდე (არაა გამორიცხული ცილინდრთა დამზადება ცალ-ცალკე). ძრავების ბლოკები ჩვეულებრივ ჩამოსხმება თუხისაგან და იწვითად ალუმინის შენადნობისაგან. უკანასკნელ წლებში დიდ გამოყენებას პოულობს ცილინდრების ბლოკების შენადნული კონსტრუქციები. ნაქ. 7—7-ზე ნაჩვენებია ძრავების ცილინდრებისა და სადგარების კონსტრუქციები.

ჩვეულებრივად ძრავას მუშა ცილინდრში ჩაწნეხილია იმ მუშა ზედაპირის შემქმნელი მრლისა, რომელშიც დგუში მოძრაობს. მრლისა შეიძლება ამოღებულ იქნეს შიგა-ჩარხვისათვის ან გამოსაცვლად. მრლისა და გარე გარსაცმს შორის ან შესაბამის ცილინდრის ორმაგ კედლებს შორის სივრცე გამოიყენება წყლით გაგრილებისათვის.

ძრავას ცილინდრის სახურავში გადავიღებულა შემშებები და გამომშებები (გამომბოლქვი) სარქველები. ცილინდრული ბლოკის დროს სახურავები შეიძლება ბლოკური კონსტრუქციის იყოს. სახურავებს აგრეთვე აქვთ ღრუ ნაწილები წყლით გაგრილებისათვის. ზოგიერთ შემთხვევაში გამოიყენება ცილინდრებისა და სახურავების ჰაერით გაგრილება; ასეთ შემთხვევაში ცილინდრებისა და სახურავების გარე ზედაპირები გაწიბოვებულია. შიგაწივის ძრავების კოპუსის ნაწილები ძრავების ტიპების მიხედვით მეტად სხვადასხვანაირი შეიძლება იყოს.

დ გ უ შ ი ს დანიშნულებას წარმოადგენს აირების წნევით გამოწვეული ძალების გადაცემა ბარბაცაზე. ჰერმეტიკობისათვის დგუშის ცილინდრული ზედაპირის ნაწილი მომარაგებულია ზედა ნაწილში შემამჭიდროებელი და ქვედა ნაწილში ზეთსაცდელი რგოლებით. ჩვეულებრივად შიგაწივის ძრავებში გამოიყენება ლია ტიპის—ქივის ფორმის დგუშები, რომელთა შუა ნაწილში დიამეტრზე გადის თითი, რომელიც დგუშს აკავშირებს ბარბაცას ზედა თავთან. ბარბაცას ქვედა თავი კი დაკავშირებულია მუხლა ლილვთან. ორ-და მეტცილინდრიან ძრავებში გადატანით მოძრაობაში მყოფი ნაწილების ინერციის ძალები მიახლოებით გაწონასწორებული არიან, მაგრამ ამ ძალების მომენტს დგუშის მკვდარ წერტილებზე გადასვლისას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს. იმ შემთხვევაში, როდესაც ძრავაში გვაქვს გაუწონასწორებელი ძალები და მომენტები, მათი სიდიდე შეიძლება შემცირებულ იქნეს საპირწონებით, ე. ი. მუხლების გარეპირებზე შეერთებული მასივებით. ძრავის მუხლა ლილვი მასზე შეერთებულ მუშა შექანისმფეთთან ერთად წარმოადგენს მბრუნავ ღრეკად სისტემას. ჩვეულებრივ ლილვის ბოლოზე აყენე-



ნაყ. 7—7. ძრავების ცილინდრებისა და სადგარების კონსტრუქციები:

- ა)—ძრავას ცილინდრი (1) ორზაგი ყელლი (წყლის ქერაწი), რომელიც კარტერთან (2) ერთ მთლიან შეაფენს, კარტერის ქვედა ნახევარი (3) მზადდება ცალკე;
- ბ)—ცალკეული ცილინდრი ორზაგი ყელლებით;
- გ)—კარტერთან (2) ერთ მთლიანად ჩაწიხებული ბლოკ-ცილინდრი. აქვე ცილინდრის ჩასაფრული მთლიანი (3) აქვს;
- დ)—კარტერისაგან (1) განცალკევებული ბლოკ-ცილინდრი (2) ჩასაფრული მთლიანად (3);
- ე)—გვესცილინდრიანი ბლოკის პერსპექტიული ხედი, შესაძლოა ცილინდრული ბლოკი დაშაფრულ იქნეს კარტერთან ერთად; ბლოკ-კარტერი.

ბალონიდან (15) ფრქვევანაში (6) მიწოდებული შეკუმშული ჰაერის წნევა მეტია ცილინდრში მყოფი შეკუმშული ჰაერისაზე და აღწევს 50—60 ატმოსფერომდე. აღნიშნული წესით შემზადებული ნარევის წვა გრძელდება ზედა მკვდარი წერტილიდან დგუშის სვლის თითქმის 0,16 ÷ 0,17 მანძილზე. ტემპერატურა წვის დასასრულს აღწევს 1500 ÷ 1700 °C, წნევა კი წვის პროცესის განმავლობაში, აირის მოცულობის ზრდის გამო, დაახლოებით მუდმივი რჩება. თხევადი სათბობის მიწოდების შეწყვეტის შემდეგ აირი განაგრძობს გაფართოებას და ასრულებს მექანიკურ მუშაობას. როდესაც დგუშში ქვემოთ მოძრაობისას ქვედა მკვდარ წერტილს უახლოვდება, ნაადრევად—წინსწრებით იღება გამოშვებები სარქველი. გამოშვებები სარქველის ვალების მომენტისთვის აირების წნევა უკვე შემცირებულია 3 ÷ 4 ატმოსფერომდე, ტემპერატურა კი 500 ÷ 600 °C-ს უდრის. ფრქვევანადან თხევადი სათბობის გაფორქვევისათვის, როგორც აღნიშნული იყო, საჭირო შეკუმშული ჰაერის მიღება ხდება ფრქვევანას ჰაერის ბალონიდან (15).

როგორც აღნიშნული იყო, ძრავას მოძრაობაში მოყავს ორსაფეხურიანი კომპრესორი. კომპრესორის პირველ საფეხურში ჰაერი იკუმშება 12—15 ატმოსფერომდე, კომპრესორის პირველი ცილინდრიდან ჰაერი გადადის მაციერის (4) გავლით მეორე, მცირე დიამეტრის მქონე, მაღალი წნევის ცილინდრში, სადაც იკუმშება საბოლოო წნევამდე (50 ÷ 60 ატმოსფერომდე). მაღალი წნევის ცილინდრიდან ჰაერი წინასწარ მაციერაში (5) გაულისა და, მაშასადამე, გაბრუნდება შემდეგ ბალონში (15) შვლის.

კომპრესორიანი დიზელებს უმთავრესად ვერტიკალურს აგებდნენ, უპირატესად ოთხტაქტიანს. ამასთან ერთად აგებდნენ ორტაქტიან ძრავებსაც (ცალკეული საჭრევი ტუმბოთი (უმთავრესად დგუშინს)). სტაციონარული კომპრესორიანი დიზელები იგებოდა ცილინდრთა რაოდენობით ერთიდან ოთხამდე. გემებისა და უფრო მძლავრი სტაციონარული დანადგარებისათვის გამოიყენება ცილინდრთა უფრო მეტი რაოდენობაც. კომპრესორიანი დიზელები დანიშნულების მიხედვით შეიძლება დაყოფილ იქნეს სტაციონარულ (ელექტროსადგურებისათვის, წყლის ტუმბოებისათვის, კომპრესორებისათვის და სხვ.), გემის (ზღვისა და მდინარის გემებისათვის—ჩვეულებრივ რევერსიული), თბომავლის და სხვ. ძრავებად.

თხევადი სათბობის პნევმატიკური გაფრქვევით მომუშავე კომპრესორიანი დიზელის დადებით მხარეებად ითვლება:

ა—თხევადი სათბობისა და ჰაერის კარგი შერევა;

ბ—ფრქვევანასა და თხევადი სათბობის მისაწოდებელი ტუმბოს კონსტრუქციათა შედარებითი სიმარტივე და მათი საიმედო მუშაობა;

გ—შედარებით იაფფასიანი მძიმე თხევადი სათბობის გამოყენების შესაძლებლობა;

დ—შედარებით სწრაფი წვის ძრავებთან (აირის და კარბურატორიანი) ეკონომიური მუშაობა.

ამასთან ერთად კომპრესორიანი დიზელს აქვს არსებითი ნაკლოვანებებიც:

ა—ძრავას დიდი გაბარიტული ზომები და სიმძლავრის ერთეულზე ლითონის დიდი ხვედრითი ხარჯი;

ბ—ექსპლოატაციის სირთულე;

გ—შეკუმშული ჰაერის მისაღებად გამოწვეული დიდი მექანიკური დანაკარგები, რაც ძრავას მექანიკურ მარჯი კმედების კოეფიციენტს დაახლოებით 5%ით ამცირებს. ამგვარად კომპრესორიანი დიზელები წარმოებიდან მოხსნილი არიან, მაგრამ ჯერ კიდევ საკმარისად ხშირად გვხვდებიან ელექტროსადგურებში, წყალსატუმბოებზე და სხვ. ადგილებზე.

ამგვარად იგება ისეთი დიზელები, რომელთა ცილინდრებში ფრქვევანადან თხევადი სათბობის შეფრქვევა შეკუმშული ჰაერისა და, მაშასადამე, კომპრესორის გარეშე ხდება. ასეთ ძრავებს უკომპრესორო დიზელებს უწოდებენ. უკომპრესორო დახე-

ლების გამოყენება ამეამდ ხდება როგორც სტაციონარულ, ისე სატრანსპორტო ძრავებში.

კომპარესორიან დიზელებში სათბობის ტუმბოს (7) დანიშნულებას შეადგენს სათბობის დოზირება და ფრქვევანაში მისი მიწოდება. მრავალცილინდრიან ძრავაში შეიძლება ყოველ ცილინდრს ჰქონდეს თავისი ტუმბო ან ერთი საერთო რამდენიმე ცილინდრზე. ასეთი ძრავებისათვის ჩვეულებრივად გამოიყენება დახურული ფრქვევანები.

7—19. უკომპარესორო დიზელების მუშაობის პრინციპი

მაღალი კუმშვის ხარისხით მომუშავე უკომპარესორო დიზელების მუშა ცილინდრებში თხევადი სათბობის შეფრქვევა შეკუმშული ჰაერის გამოყენების გარეშე ხდება. ასეთი პრინციპით მომუშავე ძრავების შექმნა დიდი ხნის განმავლობაში ვერ მოხერხდა. მხოლოდ პირველი მსოფლიო ომის დასაწყისში მიღებულ იქნა უკომპარესორო დიზელების ზოგიერთი დასრულებული კონსტრუქცია; ამ უკანასკნელებმა თავისი ეკონომიურობის მიხედვით ცალკეულ შემთხვევაში გაცილებით წინ გაუსწრეს კომპარესორიან დიზელებს.

უკომპარესორო დიზელებმა თანდათან განდევნა თავისი წინამორბედნი, ე. ი. კომპარესორიანი დიზელები, დაიკავე რა ხანგრძლივი ხნით შიგაწვის ძრავას მდგომარეობა როგორც სტაციონარულ, ისე ნაწილობრივად სატრანსპორტო სითბურ ძრავებში. თვითაალებით მომუშავე უკომპარესორო დიზელები იგება როგორც ოთხ, ისე ორტაქტიანი.

ოთხტაქტიან უკომპარესორო დიზელებში პირველი ტაქტის დროს ადგილი აქვს ატმოსფერული ჰაერის შეწოვას მუშა ცილინდრებში, მეორე ტაქტის დროს ხორციელდება ჰაერის კუმშვის პროცესი. კუმშვის დასასრულს წარმოებს თხევადი სათბობის შეფრქვევა კუმშვის კამერაში. კუმშვისაგან გახურებულ ჰაერში შეფრქვეული თხევადი სათბობი ააღდება და იწყებს წვას; სათბობის ნაწილი იწვის ზედა მკვდარ წერტილში დგუშის მისვლამდე, ნაწილი კი—ზედა მკვდარი წერტილის შემდეგ. დგუშის შემდგომი მოძრაობისას აირი ფართოვდება და ასრულებს მექანიკურ მუშაობას.

როგორც აღნიშნული იყო, კომპარესორიან დიზელებში გამოიყენება თხევადი სათბობის პნევმატიკური გაფრქვევის ხერხი. უკომპარესორო დიზელებში გამოიყენება სათბობის მექანიკურად გაფრქვევის ხერხი. სათბობის მექანიკურად გაფრქვევის ხერხი ხორციელდება ტუმბოს საშუალებით. ასეთ შემთხვევაში ტუმბოს საშუალებით ცილინდრის სახურავში გადაგილებულ ფრქვევანას მიეწოდება გახსნაზღვრული რაოდენობის თხევადი სათბობი (ულუფა). ტუმბო სათბობის მიწოდებასთან ერთად ავითარებს სათბობის ფრქვევანიდან ცილინდრში შეფრქვევისათვის წნევას 100—140 ატ. ფარგლებში, ცალკეულ შემთხვევებში ტუმბო ავითარებს წნევას 1500÷2000 ატ.ზე მეტს.

7—20. ნაკაფვარმოძნა უკომპარესორო დიზელებში

უკომპარესორო დიზელები ნარევეარმოქმნის ხერხის მიხედვით პირობით შეიძლება დაიყოს შემდეგ ჯგუფად: ა) სათბობის ქაელური გაფრქვევით; ბ) წინაკამერული გაფრქვევით; გ) ვრიგალკამერიანი; დ) საჰაერო-ავუმულატორიანი კამერებით.

სათბობის ქაელური გაფრქვევა

სათბობის ქაელური გაფრქვევის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ თხევადი სათბობი ძრავის მუშა ცილინდრში ფრქვევანიდან შეიფრქვევა დიდი წნევით, რის შედეგად მიიღწევა ფრქვევანის ნახვრეტებიდან ქაელების გამოდინების დიდი სიჩქარეები, რაც უზრუნველყოფს სათბობის კარგ გაფრქვევას. მიღებული ნარევის სრული წვა არ არის დამოკიდებული მარტო სათბობის კარგ შერევაზე, ის აგრეთვე დამოკიდებულია ნარევის თანაბარ განაწილებაზე წვის კამერაში. უკანასკნელი მიიღწევა წვის კამერის სათანადო კონფიგურაციით, შეფრქვეული სათბობის ჩირალდნის სათანადო

სიგრძით, რომელიც დამოკიდებულია, სათბობის წნევისა და მუშა ცლინდრში ჰაერის გრიგლისებრ მოძრაობაზე.

სათბობის ქველური გაფრქვევის შემთხვევაში ახალი ნარევის წარმოქმნისა და მისი სრული წვისათვის აგრეთვე დიდი მნიშვნელობა აქვს სათბობის შეფრქვევის დროის მიხედვით, ე. ი. სათბობის მიმწოდებელი სისტემის (ტუმბოსა და ფრქვევანს) მუშაობას.

ნაკ. 7-9-ზე ნაჩვენებია თხევადი სათბობის ქველური გაფრქვევით ნარეუწარმოქმნის სქემები.

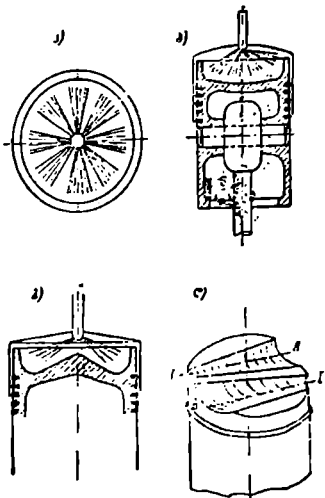
საერთოდ ფრქვევანების გვერდითი მდებარეობის დროს ჰრალი დგუშში შეიძლება იყოს ერთმხრივი. არის შემთხვევები, როდესაც გამოიყენება ბრტყელ ძროიანი დგუშები.

დადგენილია, რომ ნელი სელის უკომპრესორო დიზელებსათვის ქველური გაფრქვევით უხელსაყრელსი წნევა სათბობის გაფრქვევისათვის არის $p = 280 - 300$ ატ. ასეთი წნევიტ სათბობის გაფრქვევა ხდება უშეტეს სტაციონარულ და გემების უკომპრესორო დიზელებში, როდესაც გამოიყენებულია სათბობის ქველური გაფრქვევა.

თვითაალებით მომუშავე სწრაფი სელის დიზელებში პრაქტიკული ცდებით დამყარებულია, რომ სათბობის გაფრქვევის მაღალი წნევეები მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ წვის პროცესზე და უზრუნველყოფენ პროცესის მართვის დიდ შესაძლებლობას, ე. ი. მიიღწევა რაციონალური მუშა პროცესი სწრაფი სელის ძრავებში. ამეამად სწრაფი სელის უკომპრესორო დიზელებში გამოიყენება სათბობის გაფრქვევის გადიდებული წნევეები. სათბობის ქველური გაფრქვევით მომუშავე უკომპრესორო დიზელები მუშაობენ შედარებით ეკონომიურად და სათბობის მცირე ბევედროიი საბჯით. ასეთი ძრავების ნაკლოვან მასარებს მიეკუთვნება სათბობის გაფრქვევისათვის მაღალი წნევეების საჭიროება.

ქველური გაფრქვევის დროს ჰაერთან სათბობის უფრო სრული შერევისათვის ხშირ შემთხვევეებში გამოიყენება ჰაერის იძულებითი გრიგალწარმოქმნა. უკანასკნელი, ორტაქტიანი უკომპრესორო დიზელებში. ხორციელდება გამოქრევის პროცესში, ხოლო ოთხტაქტიანი უკომპრესორო დიზელებში კი შეწოვის პროცესის დროს.

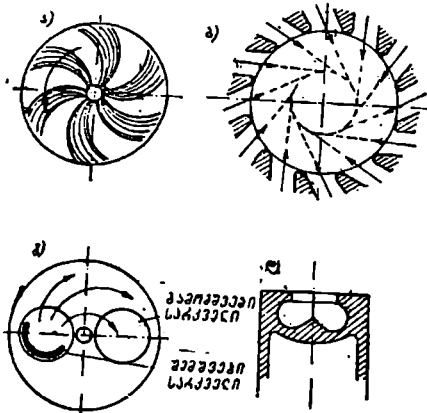
ნაკ. 7 10-ზე ნაჩვენებია ჰაერის გრიგალწარმოქმნის სქემები სათბობის ქველურ-



ნაკ. 7-9 ქველური გაფრქვევით ნარეუწარმოქმნის სქემები.

ა-რაციონალური ფრქვევითი გაფრქვევის სქემა, ბ-წვის პარისის დროს ბევედროს ჰაერის დროს, გ-წვის პარისის დროს ცენტრალური წერტილი დაწესებული ცენტრალური დროს, დ-ი და II ტრტკევიანი წარმოქმნილი სათბობის ჩრტვდენებისათვის A და B-ის რიგითი ჰრითიანი ბევედროს უხელსაყრელი სელი

რი გაფრქვევისას. კუმშვის დასაწყისში რომელიმე ხერხით შექმნილი ჰაერის ბრუნვითი მოძრაობა შენარჩუნებულია სათბობის გაფრქვევის დროს.



ნაქ. 7—10. სათბობის კვალური გაფრქვევისას ჰაერის გრიგალწარმოქმნის სქემები.

ა-გაფრქვეული სათბობის ჩირაღდების გარემოება ჰაერის გრიგალით, ბ-ორბატთან უკომპარსორო დიზელში ჰაერის გრიგალწარმოქმნის საკრეფო ფანჯრების ირიბად მდებარე არხების საშუალებით,

გ-ორბატთან უკომპარსორო დიზელში ჰაერის გრიგალწარმოქმნისთვის საფართო მოპარაგბული შემშვები (შემწოვი) სარქველი (ერთი შემშვები სარქველის დროს), დ-ორი შემშვები სარქველი შემოხვევაში განსაკუთრებული ბრალი დამუშო

წინაკამერული გაფრქვევა

წინაკამერული უკომპარსორო დიზელების მუშა ცილინდრების ზედა ნაწილი შეერთებულია სპეციალურ კამერებთან; უკანასკნელნი წვის ძირითად კამერასთან (ცილინდრის სილრუესთან) შეერთებული არიან ერთი ან რამდენიმე ვიწრო არხების საშუალებით. უკომპარსორო დიზელების წინაკამერების სქემები ნაჩვენებია ნაქ. 7—11-ზე.

როგორც სქემებიდან ჩანს, ამ შემთხვევაში ადგილი აქვს წვის კამერის დაყოფას წინაკამერად და წვის ძირითად კამერად — ცილინდრის სილრუე. წინაკამერიან ძრავებში წვის პროცესი მიმდინარეობს დაახლოებით შემდეგნაირად: კუმშვის პროცესის დროს შემაერთებულ არხებში წინალობათა არსებობის გამო ცილინდრში წნევა (პ) უფრო მეტად იზრდება, ვიდრე წნევა (პ₂) წინაკამერაში.

კუმშვის პროცესის დამთავრებისას, ე. ი. როდესაც დგუში

მიუახლოვდება ზედა მკვდარ მდგომარეობას, წინაკამერაში გაიფრქვევა თხევადი სათბობი, რომელიც ნაწილობრივად თვითააღდება და მიიღწევა წნევა ცილინდრის სილრუეში არსებულ წნევაზე უფრო მეტი. ჰარბი წნევის მოქმედებით წინაკამერაში აირების ნაკადის მიმართულდება იცვლება და წვის ნაწარმი, ჰაერი და აირი, რომლებიც ვერ დაიწვენ წინაკამერაში, უკანასკნელიდან განიღვენებიან ცილინდრის სილრუეში. ცილინდრის სილრუეში წვის პროცესი მთავრდება გაფართოების სვლის დროს. წინაკამერაში კი გაფართოების სვლის დროს წნევა ჩრება უფრო მაღალი, ვიდრე ცილინდრის ძირითად სივრცეში.

ნაქ. 7—11, ა-ზე ნაჩვენებია წინაკამერიან ძრავაში დროის განმავლობაში წნევათა გაშლილი დიაგრამა; მთლიანი ხაზით ნაჩვენებია წნევათა ცვლილების მიმდინარეობა ცილინდრში, ხოლო წვეტილი ხაზით — წინაკამერაში. ასეთ ძრავებში მიღწეულია შედარებით სრული წვის პროცესი ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის მცირე მნიშვნელობების დროს. სათბობის წინაკამერულმა გაფრქვევამ ფართო გამოყენება პპოვა სწრაფი სვლის ძრავებში, ასეთ ძრავებში არაა საჭირო დიდი წნევები გაფრქვევის დროს, საკმარისია 80—120 ატ. წნევა.

ნაქ. 7—11, ბ-ზე ნაჩვენებია წინაკამერა ფართო ხაზით, ნაქ. 7—11, გ-ზე წინაკამერა გამაგრებელი წყლით შემოვარებული და საცვლელი ცხაურათი. ნაქ. 7—11, დ-ზე ნაჩვენებია წინაკამერა, რომელიც შესრულებულია საცვლელი ტიქის ფორმით. ნაქ. 7—11, ე-ზე

ნაჩვენებია დახრილი წინაკამერა მასიური სითბომაკუმულირებელი ჩანაყენით ძნელად აალდება სათბობზე მუშაობისათვის.

წინაკამერიან უკომპარესორო დიზელში მიიღება სათბობის სრული წყა არამკეთ ნომინალური ბრუნთა რიცხვების დროს, არამედ უქმი სვლისა და ძრავის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმის დროს. სათბობის ხარისხს ისეთი გადამწყვეტი მნიშვნელობა არა აქვს, როგორც პველური გაფრქვევის დროს. ამისათვის წინაკამერულ ძრავებში გამოიყენება შედარებით მძიმე თხევადი სათბობი.

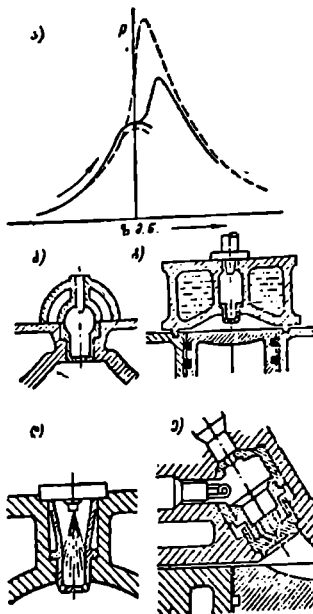
წინაკამერიანი ძრავების ნაკლოვან მხარეთა შორის აღსანიშნავია მათი გაშვების სიძნელე, გაშვების მომენტში პირველი ფეთქვის მისაღებად საჭირო ხდება დამზარე მოწყობილობების გამოყენება (ასანთი ხეია, რომლის გავარჯარება ხდება ელექტროდენით, ან ვაზნა გვარჯილიანი ქაღალდით, რომელსაც ცეცხლს უკიდებენ ასანთით ძრავის გარეთ).

გრიგალკამერიანი გაფრქვევა

გრიგალკამერიან უკომპარესორო დიზელში ნარეწარმოქმნა ხორციელდება ჰაერის ძლიერი გრიგლისებრი მოძრაობით, რომელიც აღიძვრება წვის კამერებზე სპეციალური ფორმის შედეგად. ნარეწარმოქმნის ამ ხერხის გამოყენებისას წვის კამერა დაყოფილია ორ ნაწილად. წვის კამერის უდიდესი ნაწილი (მეტი მოცულობით) მოთავსებულია ცილინდრის სახურავში, ხოლო უმცირესი ნაწილი თვით ცილინდრში. ორივე ნაწილი ერთმანეთთან შეერთებულია საკმარისად ფართო არხით. შემავრთებელი არხი შეიძლება იყოს პორიზონტალური, შვეული, დახრილი და ტანგენციალური. გრიგალური კამერების სქემა ნაჩვენებია ნაყ. 7-12.ზე.

იმის გამო, რომ წვის კამერა დაყოფილია ორ ნაწილად, ცილინდრში კუმშვის პროცესის დროს ჰაერი გაივლის რა შემავრთებელ არხს, სახურავში ვადვილებულ კამერაში ადგილი აქვს მის ძლიერ გრიგალურ მოძრაობას.

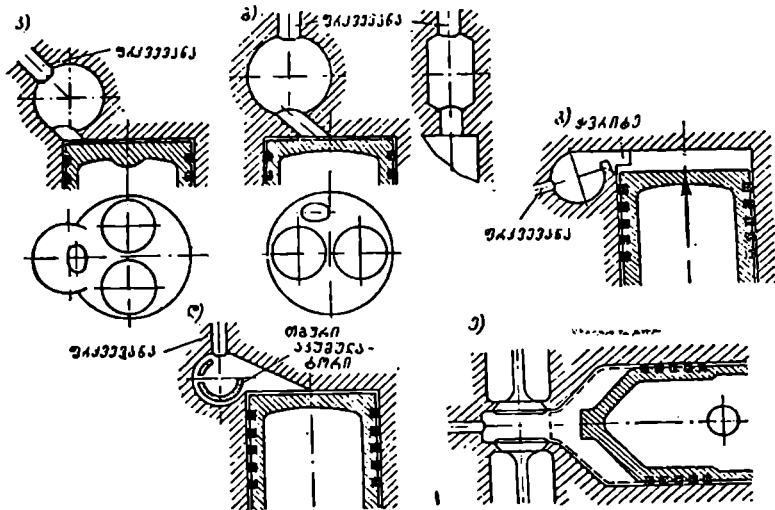
დგუშის ზედა მკვდარ წერტილში მისვლამდე გაიფრქვევა თხევადი სათბობი და მის ნაწილაკებს წარიტაკებს გრიგალურ მოძრაობაში მყოფი ჰაერი, რის შედეგად ადგილი ექნება კარგ შერევას და მიიღება თანაბარზომიერი ნარევი. ასეთ ძრავებში სათბობის გაფრქვევისათვის არაა საჭირო მაღალი წნევები, საკმარისია წნევა 100—150 ატ. ძრავა მუშაობს შედარებით მცირე მნიშვნელობების ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტით ($\alpha = 1,4 - 1,6$). ძრავას ნაკლოვანებათა შორის აღსანიშნავია ცილინდრის სახურავის კონსტრუქციის სირთულე. გრიგალკამერიანი ძრავების მუშაობის ეკონომიურობამ



ნაყ. 7—11. უკომპარესორო დიზელის წინაკამერების სქემები.

არხი შეიძლება იყოს პორიზონტალური,

და ცილინდრის მუშა მოცულობის კარგმა გამოყენებამ შეაპირობა ასეთი ძრავების ფართო გამოყენება სწრაფი სვლის ავტოტრაქტორებისათვის



ნაკ. 7—12. გრივალური კამერების სქემები.

ა-ბურთა კანუნი ნუა სიბრტყეში, ბ-ცილინდრული კამერა ტანგენციალური არხით, გ-ბურთა კამერა „პერულესი“, დ-კანუნი სიბრტყე აკუმულატორით, ე-განმდევნი დგუშე.

საპაერო აკუმულატორიანი კამერები

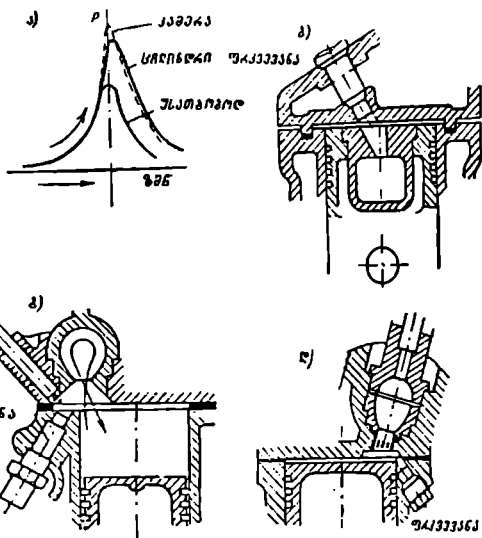
საპაერო კამერებიანი ძრავების წვის კამერა დაყოფილია ორ ნაწილად. საპაერო კამერის მოცულობა წვის კამერის მოცულობის 65—75%-ს შეადგენს და გაადგილებულია ცილინდრის სახურავში, ხოლო მეორე ნაწილი—მუშა ცილინდრში. წვის კამერის, ე. ი. კუმშვის სივრცის ორივე ნაწილი ერთმანეთთან შეერთებულია მცირეკვეთიანი ხახით. ფრქვევანა გაადგილებულია საპაერო კამერის გარეთ, მისი შესართავის პირდაპირ. ნაკ. 7—13 ზე ნაჩვენებია საპაერო აკუმულატორიანი კამერების სქემები.

საპაერო კამერებიანი ძრავების სვლაში გაშვებისათვის გამოიყენება გასაშვები სპეციალური მოწყობილობა. ასეთი ძრავები ფართოდ იყო გამოყენებული 20—25 წლის წინათ.

7—21. შომპკარისრო დიზელების ფრმევენები და ხათბობის ტუმბოები

უკომპრესორო დიზელებში თხევადი სათბობის გაფრქვევა და კუმშვის კამერაში სათბობის განაწილება ხორციელდება ფრქვევანების საშუალებით. როგორც წესი, ერთ მუშა ცილინდრს უდგამენ ერთ ფრქვევანას, ხოლო იშვიათად—ორს. ფრქვევანების გაადგილება დამოკიდებულია ცილინდრის წვის კამერის სახესხვაობაზე. საერთოდ ფრქვევანები შეიძლება გაადგილებულ იქნენ ცილინდრების სახურავების ცენტრში ან გვერდზე, შეველად, პორიზონტალურად ან დახრილად.

ფრქვევანების მთავარ ელემენტებად ჩითვლება გამფრქვევი—საქმნი ხერტებით, რომელთა რაოდენობასა და ზომებზე დამოკიდებულია თხევადი სათბობის გაფრქვევის სიწმინდე და ერთგვაროვნობა და აგრეთვე წვის კამერის მოცულობაში მისი განაწილე-

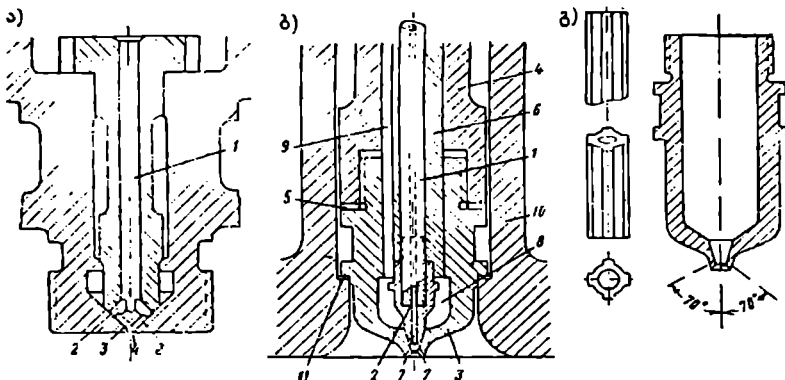


ნაკ. 7—13. საპერო აკუმულატორიანი კამერების სქემები.

ა-წვევის ცვლადობა საპერო კამერასა და ცილინდრში წვის (ფუქსის) დაწვის მომენტში (დგენი იმყოფება ნ. შ. წ.), ბ-დგენში გაადგილებული საპერო დამხარე კამერა; გ-ცილინდრის სახურავში საპერო კამერის გვერდითი გადაადგილება, დ საპერო კამერა, რომლის ცილინდრთან შემაერთებელ არხში მოთავსებულია ჩანაყენი რამდენიმე სერტიმი.

ბის თანახმობიერება. უკომპრესორო დიზელების ფრქვევანები არსებობენ როგორც ლია, ისე დახურული ტიპის. უკომპრესორო დიზელებში ფართო გამოყენება ჰპოვეს დახურული ტიპის ფრქვევანებმა.

ღია ფრქვევანის შემთხვევაში საკირხნ მიღგაყვანილობასა და საქშენის ხერცტებს შორის არ არსებობს რაიმე საკეტი ორგანო. ასეთ ფრქვევანებში სათბობის გაფრქვევა მთავრდება იმ მომენტში, როდესაც სათბობის წნევა სისტემაში უტოლდება წნევას ცილინდრში. სანამ უქანასკნელს ექნებოდა ადგილი, ცოტა წინ ადგილი აქვს სათბობის გაფრქვევას წნევათა მცირე სხვაობით, რის შედეგად ადგილი აქვს სათბობის არასრულყოფილ გაფრქვევას, რასაც მიყვავართ ფრქვევანაზე სათბობის ჩამოდინებამდე, უქანას-



ნაკ. 7—14. უკომპრესორო დიზელების ღია ტიპის ფრქვევანები.

კნელი წვეთების დაკოქსავამდე და ნაწვის წარმოქმნამდე. უკომპრესორო დიზელების დახურულ ფრქვევანებში კი საქშენის ხერცტების წინ არის საკეტი ნემსი, რომელიც იმყოფება მძლავრი ზამბარის ზემოქმედების ქვეშ და ღიაა მხოლოდ სათბობის გაფრქვევის პერიოდის განმავლობაში. საკეტი ნემსის აწევა ხდება სათბობის წნევით. არსებობს დახურული ფრქვევანების გამფრქვევების რამდენიმე ტიპი.

ნაკ. 7—14-ზე ნაჩვენებია უკომპრესორო დიზელების ღია ტიპის ფრქვევანები.

ნაკ. 7—14, ა-ზე ნაჩვენებია სათბობის ურთიერთგადაწყვეთი ქვალიანი ღია ფრქვევანის ქვედა ნაწილი: 1—ცენტრალური არხი სათბობისათვის, 2—ერთმილიმეტრიანი დიამეტრის შქონე ორი ხერცტი, 3—სწორი კუთხით თავმოყრილი ორი ღარაკი, 4—გამოსასვლელი ხერცტი. შეეჯახება რა ერთმანეთს სათბობის ორი შემხედრი ნაკადი, გაფრქვევიან ბრტყელი მარაოს ფორმით.

ნაკ. 7—14, ბ-ზე ნაჩვენებია 4 $\frac{29}{43}$ (BK-43) დიზელისათვის ღია ფრქვევანას ნა-

წილი, რომელიც მუშაობს 300 ატმ გაფრქვევის წნევით: 1—სქელკედლიანი ფოლადის მილი, რომლის ბოლოზე დახრახნილია ბუნიკი 2, ეს ბუნიკი თავისი კონიური ბოლოთი შიგნიდან მჭიდროდ არის მიჭერილი საქშენზე 3, 4.—ფრქვევანას კორპუსი, 5—შუასადები, 6—მასრა, 7—საქშენის 3-ის ბოლოზე რამდენიმე დახრილარხიანი ღრუტანიანი ნაშერი, 8—შუალედური სივრცე, რომლის დანიშნულებაა ფრქვევანას გაციელება, 9—გამაცივებელი წყლის ან სათბობის ასარინებელი 4 არხი, 10—ცილინდრის სახურავი, რა-

ზედაც სარკებით მაკრდება ფრქვევანა, 11 - ცილინდრის რგოლური ზეერილი საღებით, რომელზედაც ეყრდნობა ფრქვევანა.

ნაკ. 7-14, გ. ზე ნაჩვენებია სხვადასხვა მასშტაბში ღია ფრქვევანას საქშენი და მასრა. ღია ფრქვევანებისათვის საჭიროა სქელკედლიანი სათბობსაღენი.

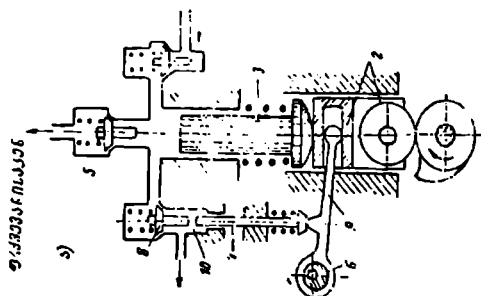
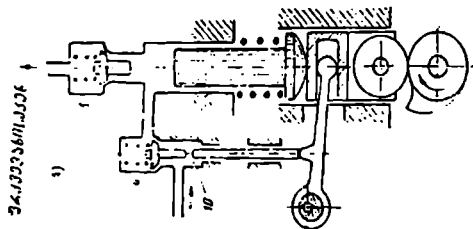
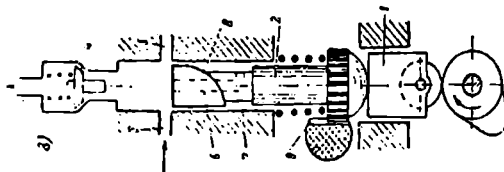
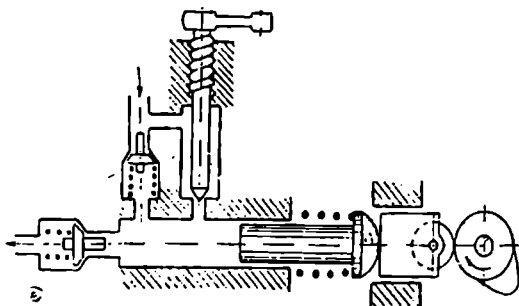
უკომპრესორო დიზელების ფრქვევანებში თხევადი სათბობის გარკვეული წნევით მიწოდებისათვის გამოიყენება სხვადასხვა სახის ტუმბოები. საერთოდ უკომპრესორო დიზელებში ფართო გამოყენება ჰპოვა ტუმბოებმა ყვინთას მუდმივი სვლით.

ნაკ. 7-15. ზე ნაჩვენებია უკომპრესორო დიზელების სათბობის ტუმბოების სქემები.

ნაკ. 7-15, ა. ზე ნაჩვენებია წამკვეთი სარქველიანი სათბობის ტუმბოს სქემა. აქ 1 არის მუშტა განმაწაწილებელ ლილვზე, 2 - მცოცი გორგოლაკით, 3 - ტუმბოს ყვინთა, 4 - შემწოვი სარქველი, 5 - საჭირხნი სარქველი, 6 - ექსცენტრიკი, 7 - მბიძგველი, 8 - წამკვეთი სარქველი, 9 - ექსცენტრიკიანი ბერკეტის ღერძი, 10 - ლიპო (მბიძგველსა და სარქველს შორის).

ნაკ. 7-15, ბ. ზე ნაჩვენებია შეღარებით

მარტივი სათბობის ტუმბოს სქემა, სადაც წამკვეთი სარქველის როლს ასრულებს შემ-



ნაკ. 7-15. უკომპრესორო დიზელის ტუმბოების სქემები.

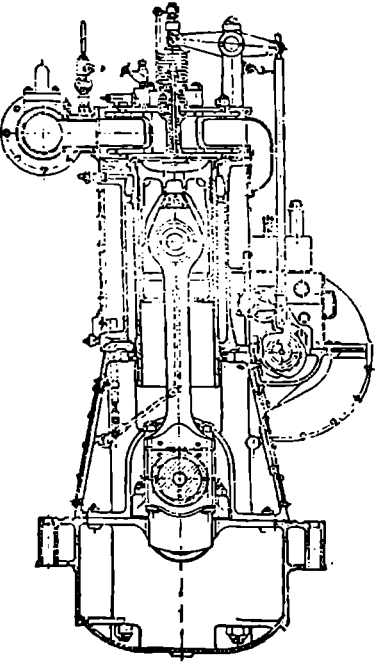
წივი საჩქველი. აღნიშნული ტუმბოები კონსტრუქციულად დიდი გაბარიტული სიძე-
ბის გაშლიან. ამიტომ სწრაფი სვლის დიზელებისათვის რეგულირებულ მკერძარეობას ტუმბო-
ებს უკანასკნელი ტიპის საბოთის ტუმბოების ყვინთას აქვს უკუქცევით-ვადატანიოთ
მოძრაობის გარდა, სარეგულირებელი ბრუნვითი მოძრაობა. ასეთი ტუმბოს სქემა ნაჩ-
ვენებია ნაკ. 7-15, გ. ზე. აქ 1 არის მცოცხ გორგოლაქით, 2-ყვინთა, 3-შემწოვი
ბერელი (შემწოვი საჩქელის შემცვლელი), 4-საქირხნი საჩქელი, 5-სათბობის გადაშ-
ვების ბერელი, 6-ცენტრალური არხი ყვინთას ზედა ნაწილში, 7-ყვინთას შუა ნაწილ-
ში რკოლური ღრუ ნაწილი ძრახნელი ზედა ნაწილებით, რომლას საშუალებით ხორ-
ციელდება მოყვება.

ნაკ. 7-15, დ-ზე ნაჩვენებია ტუმბო მთელი დაქირხანაკი სვლის განმავლობაში მე-
სამე მადროსელირებელი საჩქელის საშუალებით სათბობის გადაშვებით. ნაკ. 7-15-ზე
ნაჩვენებია სათბობის ტუმბოების მუშაობის პრინციპი ადვილი გასაგებია სქემების ელემ-
ენტების მოქმედებათა ანალიზით.

სწრაფი სვლის უკომპარესორო დიზელებისათვის ფართო გამოყენებას პოულობენ
ერთ კონსტრუქციულ მთლიანობაში სათბობის ტუმბოსა და ფრქვევანას შეერთება (ტუ-
მბო-ფრქვევანა). ტუმბო-ფრქვევანების გამოყენებით მიღწეულია კონსტრუქციის კომპაქ-
ტურობა.

7-22. უკომპარესორო დიზელის კონსტრუქციები

მაღალი კუმშვის უკომპარესორო დიზელები გამოიყენება როგორც სტაციონარული,
ისე სატრანსპორტო ძრავების სახით. ქვემოთ მოყვანილია ზოგიერთი ტიპის უკომპარე-



ნაკ. 7-16. ნელი სვლის ოთხტაქტიანი უკომპარესო-
რო $\frac{29}{43}$ დიხელი კავლურა გაფრქვევით.

სორო დიზელის კონსტრუქციული აღწე-
რა. ნაკ. 7-16-ზე ნაჩვენებია კავლური გა-
ფრქვევით მომშუავე ოთხტაქტიანი ნელი
სვლის $\frac{29}{43}$ ტიპის დიხელის განივი კრი-

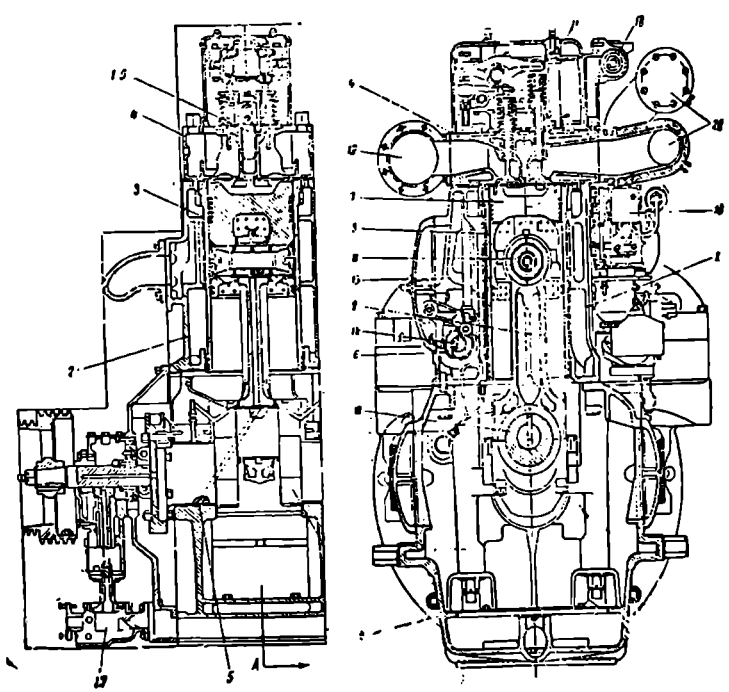
ლი. ასეთი ტიპის ძრავებში ცილინდრთა რი-
ცხვი იღება 3 ან 6. მუხლა ლილვის ბრუნ-
თა რიცხვი $n = 300$ ბრ/წთ. ცილინდრების
დიამეტრი $D = 290$ მმ, ხოლო დგუშის სვლის
სიდიდე $S = 430$ მმ.

ცილინდრული სიმძლავრე იღება 53 ც. ძ.
ძრავას კარტერი მთლიანია, ცილინდრე-
ბი ჩამოსხმულია სამ-სამი ერთ ბლოკში.
ყოველ ცილინდრს აქვს თავისი სახურავი.
ცილინდრის სახურავში გაადგილებულია:
ფრქვევანა, შემშვები, გამომშვები, მუ-
შაობაში გამშვები და დამცველი საჩქველე-
ბი. ბარბაცის ქვედა თავი სახსნელია. დგუ-
ში თუჯისაა. მას აქვს ხუთი შემამჭიდროე-
ბელი და ორი ზეთსაცლელი რგოლი.

განმანაწილებელი ლილვი მოძრაობას
ღებულობს ძრავას მუხლა ლილვიდან ცილი-
ნდრული კბილათვლების საშუალებით და
მომარაგებულია სათბობის ტუმბოსა და შე-
მშვები, გამომშვები' და მუშაობაში გამშვე-
ბი საჩქველების მუშტა საყელურებით. ყო-
ველი ცილინდრისათვის დაყენებულია ცალ-
კეული სათბობი ტუმბო. ძრავას დაყენებუ-
ლი აქვს ცენტრიდანული რეგულატორი. გა-
მოყენებულია ღია ტიპის ფრქვევანა კავლური გაფრქვევით, გაფრქვევის წნევა იღება

300 ატ. ცილინდრების შეხეთვა ხდება გაძიეფვით, დახარჩენი ნაწილების კი — ზეთის იძე-
 ლებითი ცირკულაციით (ტუმბოს საშუალებით). ძრავის გაშვებისთვის გამოიყენება შე-
 კუმშული ჰაერი, რომლის წნეეაა 15—30 ატ. კუმშვის ხარისხი $\lambda = 13$. სათბობის ხვედ-
 რითი ეფექტური ხარჯი არის $b_p = 180$ გრ/ეფ. ც. ძ. სთ. სათბობელ გამოიყენება თხეეადი
 სათბობი M 3 მარკის.

ნაკ. 7—17-ზე ნაჩვენებია ხარკოვის ქარხნის მერე აგებული T3 -1 თბომაელის
 D—50 მარკის ოთხტაქტიანი ოთხცილინდრიანი უკონსერუო დიზელის სიგრიძეი (ერთ
 ცილინდრზე) და განივი კრილები. განხილული ძრავას ეფექტური სიმძლავეა $N_p = 1020$
 ც. ძ., როლესაც ბრუნთა რიცხვი $n = 740$ ბრ/წთ.

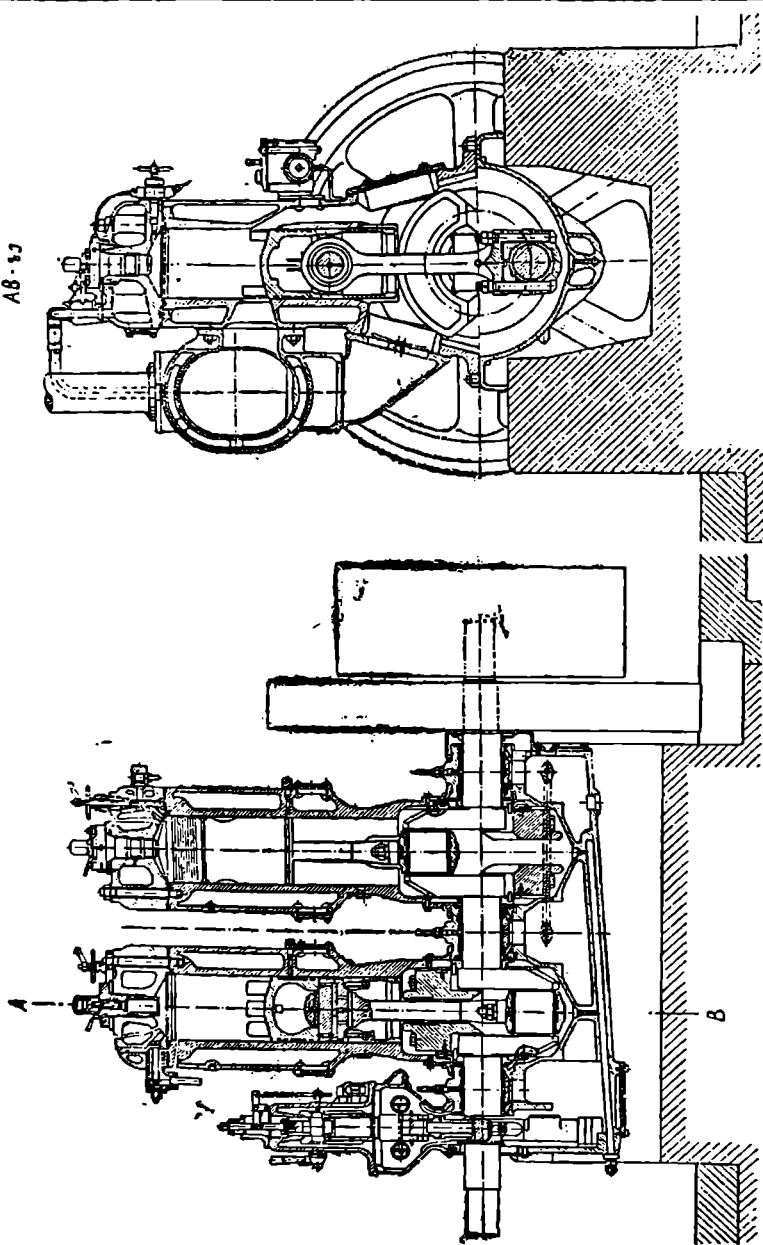


ნაკ. 7—17. თბომაელის დიზელი D—50.

1—კარტერი, 2—ცილინდრთა ბლოკი, 3—ცილინდრების მილისები, 4—ცილინდრების სახერაეეე, 5—მირიადი საიხრებე, 6—განმანაწილებელი ლილვის საიხრებე, 7—ფეუმი, 8—ფეუშის თიი, 9—ხარბაეა, 10—ქელა ლილი, 11—შეშეეე და გამომშეეეი სარქეეეები, 12—ბერატი, 13—შტატი, 14—განმანაწილებელი ლილი, 15—გრქეეეეა, 16—ბენეა რიქეეას რაეულატორი, 17—ზეთის ტუმბო, 18—წელის კოლექტორი, 19—საერის კოლექტორი, 20—განმანაწეეი კოლექტორეეა (მეფეეეი).

ძრავა მომარაგებულაა დახურული ფრქეეეანებით, რომლებიც მუშაობენ აირტურბი-
 ნიდან ჩაბერევით. ძრავას ცილინდრების დიამეტრი $D = 318$ მმ, ხოლო დეფუშის სელის
 სიდიდე $S = 330$ მმ. ძრავას ბრუნთა რიცხვი ილბეა $n = 275—740$ ბრ/წთ. ძრავას
 ეფექტური მარკი ქმედების კოეფიციენტის მაქსიმალური სიდიდე არის $\eta_p = 34\%$.

AB. 27



ნაკ. 7—18. უკონსტანტო ორტაქტიანი მრუდმსახა-კამერული ორცილინდრიანი დიზელი 2 მ 30 წინა-კამერული ნარეკვაზობუქნით.

სათბობის ხვედრითი ეფექტური ხარჯი $b_e = 180$ გრ/ეფ. ც. ძ. სთ (მინიმალური). ძრავას ცილინდრთა ბლოკი წარმოადგენს თუჯის მთლიან სხმულს და მუშა ცილინდრების მილინებისათვის მომარაგებულია სათანადო რაოდენობის ცილინდრული ხერცემბით.

განხილული ძრავას ჩარჩო თუჯისაა, ხოლო თბომავლის სხვა ძრავებში ჩარჩოები გვხვდება ფოლადის. მუხლა ლილევი მზადდება ფოლადისაგან. ძირითად საკისრებს აქვთ ბრინჯაოს სადენები, რომლებშიც ჩასხმულია 5-83 მარკის ბაბიტო.

ძრავას დგუშები დამზადებულია ალუმინის შენადნობისაგან, ჩანვეჭილი ძროთი. დგუშს ზედა ნაწილში აქვს შემაპქიდროებელი რგოლები. და ქვედა ნაწილში ზეთსაცლელი 2 რგოლი. ძრავის ბარბაცა მზადდება მალახარისხიანი ლევირებული ფოლადისაგან. ცილინდრების სახურავებს ასხავენ ძუჯისაგან; ეს სახურავები უზრუნველყოფილია წყლით გაგრილებით.

ძრავა მომარაგებულია აგრეთვე მაქსიმალური ბრუნთა რიცხვის რეგულატორით, რომელიც ძრავას აჩერებს, როდესაც ბრუნთა რიცხვი 10-15% ით ჰკარბობს უღიდეს სამუშაო ბრუნთა რიცხვს.

ნაკ. 7-18-ზე ნაჩვენებია $2D \frac{20}{30}$ ორტაქტიანი ორცილინდრიანი უკომპრესო-

რო დიზელი სიგრძე და განივ კრილში. ასეთ ძრავას აქვს უმარტივესი ტიპის მრულ-მხარა-კამერული გამოქრევა (განივი გამოქრევა ხერცელების საშუალებით). გამოყენებულია წინაკამერული ნარეფწარმოქმნა. ცილინდრული სიმძლავრე, როდესაც ბრუნთა რიცხვია 430 ბრ/წთ მიიღება 25 ც. ძ., ხოლო ძრავას სიმძლავრე $N_e = 50$ ც. ძ. ძრავას ცილინდრის დიამეტრი $D = 200$ მმ, ხოლო დგუშის სვლათა სიღრმე $S = 300$ მმ. ძრავას მუშა ცილინდრები ცალ-ცალკეა ჩამოსხმული და საერთო საძირკვლის ჩარჩოზე დამაგრებული არიან სარკვებით. დგუში მომარაგებულია ხუთი შემაპქიდროებელი და ორი ზეთსაცლელი რგოლით. ყოველი ცილინდრისათვის დაყენებულია სათბობის ტუმბო-გამოყენებულია დახურული ტიპის ფრქვევანა, რომელიც წინაკამერაში სათბობს აწვდის 100 ატ წნევით.

ძრავას ცილინდრების, დგუშებისა და დგუშის თითების და, აგრეთვე ბარბაცის საკისრების შესაზეთად გამოყენებულია ლუბრიკატორი, რომლის მოძრაობაში მოყვანა ხორციელდება რეგულატორის ლილეით. საკისრების წინ ნისტემაში ზეთის წნევა იღება 0,2-0,5 ატკ. შეზღოვისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს M და T მარკის მოტორის ზეთები. მუშა ცილინდრების გაგრილება შეიძლება განხორციელდეს როგორც გამდინარე, ისე აბრკულაციური ტუმბოების საშუალებით. ძრავას გაშვებისათვის გამოიყენება 20-30 ატკ წნევის შეკუმშული ჰაერი. ძრავას კუმშვის ხარისხი $\epsilon = 18$. სათბობის ხვედრითი ეფექტური ხარჯი $b_e = 205$ გრ/ეფ. ც. ძ. სთ. 36 კვტ სიმძლავრისა და 1000 ბრ/წთ ელექტროგენერატორი ძრავას მიერ მოძრაობაში მოიყვანება ლეფდური გადაცემის საშუალებით.

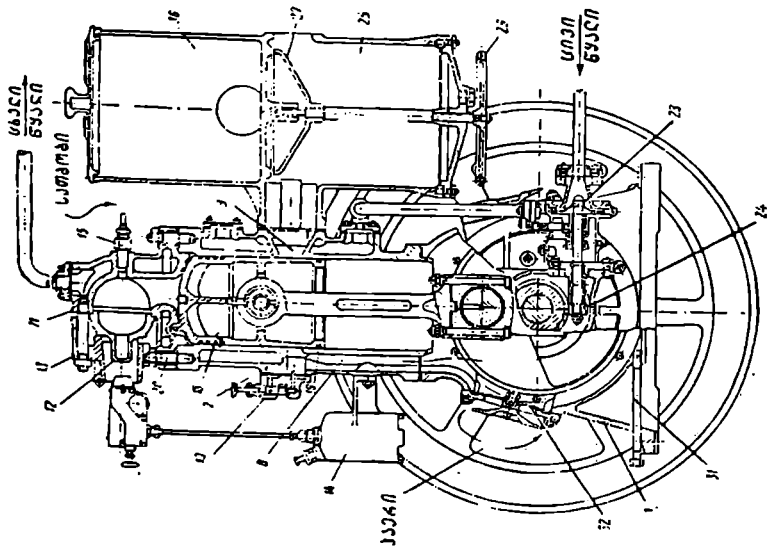
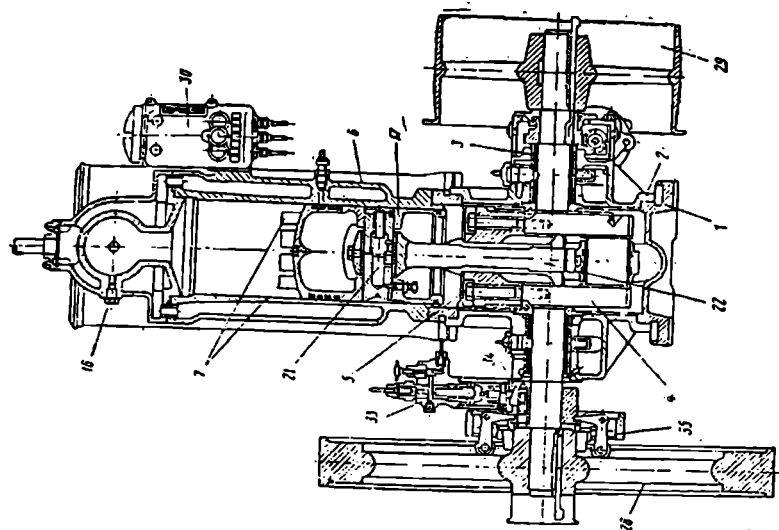
თ ა ვ ი 7-7

თხზავალ სათბობაში დახალი კუმშვის ხარისხით მომუშაობი ძრავები

7-28. კალორიზატორიანი ძრავები

კალორიზატორიანი ძრავები ითვლებიან თანამედროვე თვითაღებთ მომუშავე ძრავების წინამორბედებად. კალორიზატორიანი ანუ ნაუთობძრავები გამოჩნდნენ აირის ძრავების შემდეგ, მაგრამ დიზელების წინ, წინა საუუქნის უკანასკნელ ათწლეულში. პირველად ისინი მუშაობდნენ ნაფთზე, შემდეგ უპირატესად მძიმე თხევად სათბობზე. უკანასკნელ დროს კალორიზატორიანი ძრავები იგება ზეიული და ორტაქტიანი. სხვა ტიპების შიგაწვის ძრავებთან შედარებით კალორიზატორიანი ძრავები პრიმიტიული და არაეკონომიური არიან, ხოლო სამაგიეროდ მოვლის მხრივ ყუელავე მარტივი.

ნაკ. 7. 19-ზე ხაზვნიები კალორიზატორიანი ძრავა „ქრასნი პროგრესი“, სიმძლავ. 22 ც. ძ.



ნაკ. 7-19 კალორიზატორიანი ძრავა „ქრასნი პროგრესი“, სიმძლავით 22 ც. ძ.
 1-ბაგრა, 2-ვარდულის, 3-საბრუნებელი, 4-მუხის ბოლო, 5-საბრუნებელი, 6-საბრუნებელი, 7-საბრუნებელი, 8-საბრუნებელი, 9-საბრუნებელი, 10-საბრუნებელი, 11-ძრავის ბაზა, 12-კალორიზატორი, 13-კალორიზატორის ბაზა, 14-მუხის ბოლო, 15-მუხის ბოლო, 16-მუხის ბოლო, 17-მუხის ბოლო, 18-კალორიზატორის ბაზა, 19-მუხის ბოლო, 20-მუხის ბოლო, 21-მუხის ბოლო, 22-მუხის ბოლო, 23-მუხის ბოლო, 24-მუხის ბოლო, 25-მუხის ბოლო, 26-მუხის ბოლო, 27-მუხის ბოლო, 28-მუხის ბოლო, 29-მუხის ბოლო, 30-მუხის ბოლო, 31-მუხის ბოლო, 32-მუხის ბოლო, 33-მუხის ბოლო, 34-მუხის ბოლო, 35-მუხის ბოლო.

კალორიზატორიანი ძრავები იგება სიმძლავრით 25 ÷ 30 ც. ძ.-მდე, ხოლო ცალკეულ შემთხვევებში იგება სიმძლავრით 1 დან 60 ც. ძ.-მდე. კუმშვის ხარისხი იღება 160

$\varepsilon = 4,5 \div 6,5$. ასეთი ძრავის სათბობის სისტემა შედგება საძობის ტუმბოსა და ფრქვევანასაგან. კონსტრუქციულად კალორიზატორიანი ძრავები უხლოდებიან მრუდშაბრა-კამერული გამოქრევიტ მომუშავე უკომპარესორო ორტაქტიან დიხელებს; მათგან უმთავრესად განსხვავდებიან კალორიზატორის არსებობითა და ცილინდრის სახურავისა და დგუშის თავის ფორმის ცვლილებით და, აგრეთვე, სათბობის-სისტემის გამარტივებული კონსტრუქციით. სათბობის აალების წყაროდ ძრავის ემსახურება კალორიზატორი, რომელიც წარმოადგენს მსხლისებრი ან ბურთისებრი ფორმის თუჯის ღრუ ტანს. კალორიზატორი ქნის კუმშვის კამერის ნაწილს და მუშა ცილინდრის ღრუსთან შეერთებულია დიდ განივკვეთიანი ხახით. რ.ოღესაც ძრავა მუშაობს, კალორიზატორის კედლები გახურებულია მუქ-წითელ ფერამდე, რომლის ტემპერატურაა $350 \div 600$ °C. კალორიზატორიან ძრავებში სათბობის ხედრითი ხარჯი მიიღება 250-დან 350 გრ/ც. ძ. სთ მდე.

კალორიზატორიანი ძრავის გაწვევისათვის საჭიროა კალორიზატორის გახურება $5 \div 10$ წუთის განმავლობაში, რომელიც ხორციელდება ვარვარების ნათურას საშუალებით. კალორიზატორის ვაერავარების ხარისხის რეგულირებისათვის ჩვეულებრივად ცილინდრში წყლის შესხურებას აწარმოებენ. ძრავის დატვირთვისთან ერთად წყლის შესხურება უნდა გაიზარდოს, ხოლო უქმი სგლის დროს ძრავის ანუშავებენ შესხურების გარეშე.

შესხურებული წყლის რაოდენობა ზოგიერთ შემთხვევაში აღწევს $1 \div 2$ კგ და მეტს ერთ კილოგრამ თხევად სათბობზე, რაც იწვევს სითბოს დიდ დანაკარგებს.

კალორიზატორიან ძრავის ცილინდრში პროცესი მიმდინარეობს შემდეგნაირად. ჰაერის შეკუმშვისას, როდესაც დგუში გადახურავს გამოსაშვებ ფანჯრებს (9), ფრქვევანა (15) აწვდის თხევად სათბობს კალორიზატორში (12). ჰაერის შეკუმშვისასთან ერთად ადგილი აქვს თხევადი სათბობის ნაწილობრივ აორთქლებს, მის ჰაერში შერევის და მუშა ნარევის წარმოქმნას, რასაც ხელს უწყობს ცილინდრის კედლებისა და კალორიზატორის მალალი ტემპერატურა და, აგრეთვე, ნარევის ტემპერატურის გადიდება შეკუმშვის გამო. დგუშის ზედა მკვდარ მდგომარეობასთან მისვლისას მუშა ნარევი ააღდება და წნევა ცილინდრში მკვეთრად გადიდება. შემდგომ ადგილი ექნება წვის აიროვანი ნაწარმის გაფართოებას, წარმავალი აირების გამოშვებას და მუშა ცილინდრის გამოქრევას.

კალორიზატორიანი ძრავა თერმოდინამიკურად განიხილება ისეთ ძრავად, რომელშიაც ციკლი ხორციელდება მუშა სხეულზე სითბოს იზოქორულად ($P = \text{const}$) მიწოდებით.

7—24. ზოგადი ცნებანი კარბურატორიან ძრავებზე, ნაკმვის წარმოქმნა და ანთების სისტემები

კარბურატორიანი ძრავები მიეკუთვნებიან სწრაფი წვის ძრავებს, რომლებიც მუშაობენ მუშა სხეულზე მუდმივი მოცულობის დროს ($P = \text{const}$) სითბოს მიწოდების ციკლით. ასეთ ძრავებში მუშა ნარევის წარმოქმნა ხორციელდება სპეციალური იელსაწყობის ე. წ. კარბურატორის საშუალებით. მუშა ნარევის წარმოქმნის პროცესს, როდესაც ნარევი შედგება ჰაერისა და თხევადი სათბობის ორთქლისაგან ან მისი უმცირესი ნაწილაკებისაგან, უწოდებენ კარბურატაციას. კარბურატორიანი ძრავების სათბობად გამოიყენება ადვილად ასაორთქლებელი თხევადი სათბობები, როგორცაა ბენზინი, ნავთი, სპირტი და სხვ.

კარბურატორიან ძრავებს უმთავრესად იყენებენ სატრანსპორტო სახის შიგა წვის ძრავებში, როგორცაა საავტომობილო, სატრაქტორო, საჰაიაკო, ავტოდრეზინების, სამოტოციკლეთო და სხვ. რიგ შემთხვევებში კარბურატორიანი ძრავები განიყენება გადასატან ელექტროსადგურებისათვის, ნაეებზე საკიდ მოტორებად და ყოველგვარი სახის დამხმარე ამძრავებად.

საერთოდ კარბურატორიანი ძრავები არსებობს როგორც ოთხ-, ისე ორტაქტიანი. ძირითადად კარბურატორიანი ძრავები იგება ოთხტაქტიანი. მაგრამ არ არის გამორიცხ

ხული ზოგიერთ შემთხვევაში ორტაქტიანი კარბურატორიანი ძრავების გამოყენება, მაგალითად, მოტოციკლებებისა და სხვ. მცირე სიმძლავრის ძრავებისათვის.

კარბურატორიან ძრავებში, ენიანიდან თვით მუშა ნარევი განიცდის შეკუმშვას, ნარევის ტექტონაიკის თავიდან აცილების მიზნით კუმშვის ϵ ხარისხის სიდიდეს, შედარებით თვითაალებით მომუშავე ძრავებთან, იღებენ შემცირებულს. კარბურატორიანი ძრავების კუმშვის ხარისხის დასაშვები მნიშვნელობები დამოკიდებულია გამოსაყენებელი თხევადი სათბობის თვისებებსა და ძრავას კონსტრუქციაზე. კარბურატორიანი შიგაწვის ძრავებისათვის შეიძლება მივიღოთ კუმშვის ხარისხის შემდეგი მიახლოებითი მნიშვნელობები:

1) ბენზინით მომუშავე სააღიაციო კარბურატორიანი ძრავებისათვის $\epsilon = 5,5 \div 7,5$;

2) ბენზინით მომუშავე საავტომობილო კარბურატორიანი ძრავებისათვის $\epsilon = 4,2 \div 7$;

3) ნავთით მომუშავე სატრაქტორო კარბურატორიანი ძრავებისათვის $\epsilon = 3,5 \div 4,5$.

როგორც განხილული იყო, კარბურატორიანი ძრავების ძირითად ნარევეწარმოქმნელ ორგანოს კარბურატორი წარმოადგენს.

ნაქ. 7-20-ზე ნაჩვენებია სტაციონარული შიგაწვის ძრავას ელემენტარული კარბურატორი.

კარბურატორიანი ძრავას ნარევეწარმოქმნელის — კარბურატორის მუშაობის უკეთ წარმოდგენისათვის განვიხილოთ ოთხტაქტიანი ძრავას მუშაობა. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, პირველი ტაქტის დროს ადგილი აქვს მუშა ნარევის შეწოვას მუშა ცილინდრში, ამ დროს შევეულ ძრავებში დგუში მოძრაობს ზემოდან ქვემოთ და წნევა ცილინდრში გარემოს წნევაზე ნაკლებია (შეწოვის პროცესის დროს თუ სადროსელო საფარი მთლიანად ღიაა, წნევა უდრის 0,8—0,9 ატმოსფეროს). გარემოსა და ცილინდრში არსებული წნევათა სხვაობა აიძულებს ატმოსფერულ ჰაერს კარბურატორისა და შემშვები სარქველის გავლით შედინდეს მუშა ცილინდრში.

ნაქ. 7—20. კარბურატორიანი სტაციონარული შიგაწვის ძრავას ელემენტარული კარბურატორი.

1-ტიტრის კამერა, 2-შერევის კამერა, 3-ძრავას ცილინდრი, 4-დრუტინაი ტრეტევა, 5-წინა სარქველი, 6-ტიტრის კამერადან შერევის კამერაში ზეშენის მიხაწოდებელი მილი, 7-ტიტრის, 8-საქმენი, 9-შერევის კამერის შეკრუვა, 10-საფარელო საფარი, 11-მუშა ცილინდრის შემშვები სარქველი.

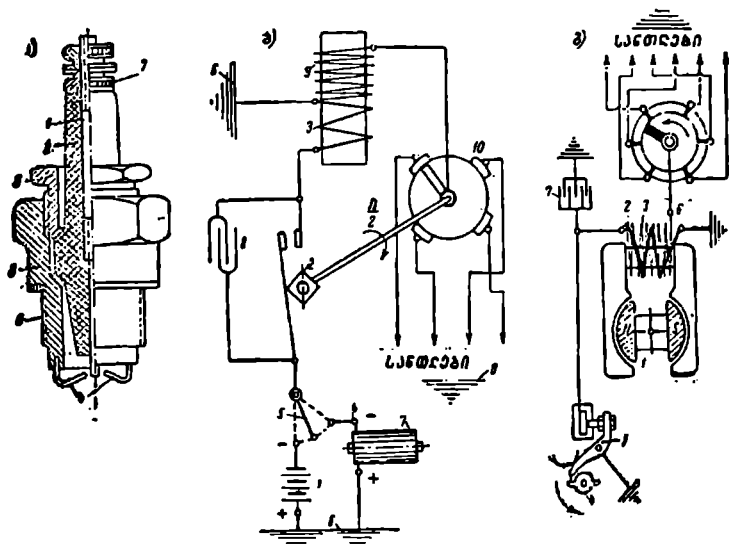
ატმოსფერული ჰაერი კარბურატორში გავლის დროს იელენთება წმინდად გაფრქვეული და ნაწილობრივად აორთქლებული თხევადი სათბობით და შეერევა რა კუმშვის კამერაში ჰარჩენილ წარმავალ აირებს, მიიღება მუშა ნარევი. მეორე ტაქტის დროს ადგილი ექნება ნარევის შეკუმშვას, მესამე ტაქტის დროს მუდმივი მოცულობის დროს ხელოვნურ აუეთქებას და გაფართობას, ხოლო მეოთხე ტაქტის დროს მუშა ცილინდრის განთავისუფლებას წარმავალი აირებისაგან.

ნაქ. 7—20-ზე ნაჩვენებია იყო ელემენტარული კარბურატორის სქემა, რომელსაც შეუძლია მომსახურება გაუწიოს მუდმივ ბრუნთა რიცხვით მომუშავე სტაციონარულ ძრავას. ასეთი კარბურატორები ცხადია გამოუსადეგარია სატრანსპორტო ძრავებისათ-

ვის, რომელთა ბრუნთა რიცხვები ფართო ზღვრებში იცვლება. სატრანსორტო ძრავების კარბურატორები* მომზადებული არიან დამტებითი სამარჯვებით.

კარბურატორიან შიგაწვის ძრავებში კუმშვის პროცესის ბოლოს მუშა ნარევის ანთება ხდება ამნთები ელექტრული სანთლის ელექტროდებზე ნაპერწყლური განმუხტვით. საერთოდ თითოეული მუშა ცილინდრის სახურავში ჩაბრახნილია თითო სანთელი, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში (საავიაციო ძრავებში) ორ-ორი სანთელი დამოუკიდებელი კვებით.

ნაკ. 7—21-ზე ნაჩვენებია კარბურატორიანი შიგაწვის ძრავების ანთების სქემები.



ნაკ 7—21. კარბურატორიანი შიგაწვის ძრავების ანთების სქემები.

ნაკ. 7—21, ა-ზე ნაჩვენებია სანთლის ჭრილი. ცენტრალური ღერო (1) ჩადგმულია ფაიფურის იზოლატორში (2) და ზემოდან დამაგრებულია ქანჩით (7). თავის მხრივ თვით იზოლატორიც ზემოდან ჩადგმულია სანთლის კორპუსში (3) და დამაგრებულია ქანჩით (5), ჰერმეტიკობისა და ელასტიკურობისათვის გამოყენებულია შუასადებები. კუთხვილით (6) სანთელი ჩაბრახნილია ძრავის მუშა ცილინდრის სახურავში. სანთლის კორპუსზე (3) დამაგრებულია ნაშეერები (4), რომელთა რაოდენობა იღება 1-დან 4-მდე. როგორც ნაკვთზე ჩანს, ნაშეერები თავისი მოხრილი ბოლოებით ცენტრალურ ღეროს ბოლოსთან მიახლოებული არიან 0,2—0,8 მმ მანძილზე. დაჩენილ შუალედში ანთებისას ცეცია ნაპერწყლვები, რომლებიც იწვევენ შეკუმშული მუშა ნარევის აფეთქებას.

კუმშვის ბოლოს მაღალი წნევისა და სათბობის წვის ნაწარმში ნაბზირორენის არსებობა ართულებს ელექტრონაპერწყლის წარმოქმნის პროცესს; სანთლის საიმედო მუშაობა შეიძლება მიღწეულ იქნეს მის ელექტროდებს შორის 10000—15000 ვ და უფრო

* კარბურატორების შესახებ უფრო ფართოდ იხ. „სატრანსპორტო და საავტომობილო ძრავები“, ვ. მახალდიანი, გამომცემლობა „სტალინი“—1959 წელი.

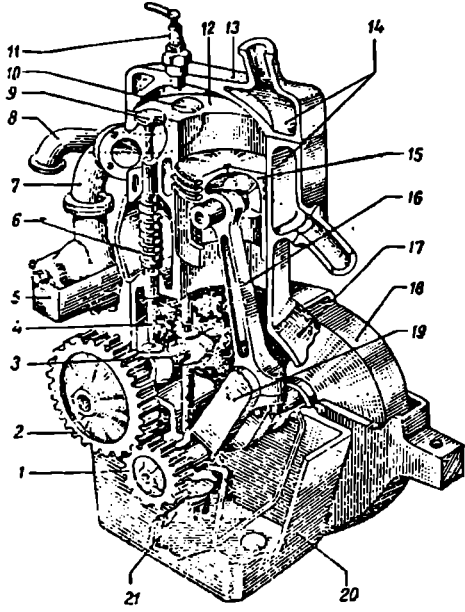
მეტი ძაბვის დროს. ამიტომ საჭირო ხდება პირველადი წყაროს ელექტროდენის ტრანსფორმირება მაღალი ძაბვის ღებად.

როდესაც გამოყენებულია სანთლებით ანთების ხერხი, ელექტროდენის წყაროებად გამოიყენება აკუმულატორის ბატარეა ან მაგნეტო.

ნაკ. 7--21, ბ-ზე ნაჩვენებია ანთების სქემა აკუმულატორის ბატარეის გამოყენებით. ასეთი ხერხით ანთება ფართოდაა გამოყენებული საავტომობილო ძრავებზე.

დაბალი ძაბვის დენი ბატარეის (1) დადებით კონტაქტიდან 6 ან 12 ვ ძაბვით ძრავის (6) მთელი მასის გავლით მიდის კოქის პირველად გრავნილში (3), რის შემდეგ მწყვეტარას (2) და ამომართველის (5) საშუალებით ბრუნდება ბატარეის უარყოფით კონტაქტზე. დაშვებულია, რომ შეკრულია როგორც ამომართველი (5), ისე მწყვეტარაც (2). კოქის მეორად გრავნილში (9) აღიძვრება მაღალი ძაბვის დენი, რომელიც განმანაწილებლის (10) საშუალებით მიემართება მორიგებით ყოველი ცილინდრის სანთლებისაკენ (სქემაზე 4-ია). ძრავას მიერ ბრუნვის საემარისი დიდი სიჩქარის მიღწევის დროს კვება წარმოებს დინამომანქანიდან (7), რომელიც დადებითი მომპერიდან დენს აგზავნის ძრავას მასაზე და შემდეგ ისევე, როგორც ბატარეიდან (კოქას (3) საშუალებით მწყვეტარასა (2) და ამომართველში (4), რის შემდეგ დენი ბრუნდება დინამომანქანის უარყოფით მომპერზე. და-

ბალი ძაბვის პირველადი დენი და მაღალი ძაბვის მეორადი დენი პერიოდულად უნდა აღიძვრას, რადგან მწყვეტარას (2) მუშტა საყელური მუხლა ლილვის ორი ბრუნის განმავლობაში ერთ ბრუნს აკეთებს (ოთხტაქტიან ძრავაში) და მას აქვს ძრავას ცილინდრთა რაოდენობის ტოლი მუშტას გამონაშვერთა რაოდენობა. ყოველი მუშტა, გაივლის რა მწყვეტარას ჩაქუჩის მახლობლად, მყისიერად მას გრდემლიდან გადაწვეს, რის შემდეგ ჩაქუჩი თავისუფლდება და გრდემლზე ეცემა, შეკრავს რა პირველადი დენის ჯაჭვს. განმანაწილებლის კონტაქტთა რაოდენობა აგრეთვე ძრავას ცილინდრთა რაოდენობის ტოლია, და იგი ბრუნავს სინქრონულად მწყვეტარას მუშტა საყელურთან. ამა თუ იმ ცილინდრის სანთელზე მეორადი ჯაჭვის შერთვა განმანაწილებლით წარმოებს სწორედ მწყვეტარას ჯაჭვის წყვეტის მომენტში. ნაპერწკლიანობის შესამცირებლად მწყვეტარასთან პარალელურად ჩართულია კონდენსატორი (8). დენის ნაწილი დინამომანქანიდან იხარჯება აკუმულატორის ბატარეის დამუხტვისათვის.



ნაკ. 7--22. ერთცილინდრიანი შეველი კარბურატორიანი შიგაწვის ძრავას სქემა.

1-კბილანი მუხლა ლილვა, 2-კბილანი განმანაწილებელი ლილვა, 3-განმანაწილებელი ლილვა, 4-კარბურატორი, 5-კარბურატორი, 6-მასობარა, 7-მწყვეტარა, 8-გამონაშვართა მუხლა, 9-მწყვეტარა, 10-მწყვეტარა, 11-მწყვეტარა, 12-მუხლა ცილინდრის, 13-ცილინდრის საბურთი, 14-ცილინდრის და მისი კარბურატორის უკლის პერანგები, 15-ფუძე, 16-ხარბა, 17-ხედა კარბურა, 18-მუხლა, 19-მუხლა ლილვა, 20-ქვედა კარბურა-სამართვის საწილი, 21-ხედი ტრანსმისი.

ნაკ. 7--21, გ-ზე ნაჩვენებია ანთების სქემა მაგნეტოს

გამოყენებით. ლუის (1) მოპირდაპირე ბოლოები წარმოადგენენ მის პოლუსებს—ჩრდი-
464

ლოეთის N და სამხრეთის S, ლუხა ბრუნავს მაგნეტოს ჩარჩოს ბუნიკებს შორის; მაგნეტოს ზედა ნაწილში იმყოფება გულა ორი გრაგნილით—პირველადი (2) და მეორადი (3). პირველად ჯაჭვში ჩართულია მწვევეტარა, რომლის შედგენილობაში შედის მუშტა საყელური (4) და ბერკეტი (5), მეორადი გრაგნილი კი მიერთებულია განმანაწილებლის კონტაქტზე (6), რომელიც თანამიმდევრობით რთავს ყველა ცილინდრის სანთელს. პირველად გრაგნილში პარალელურად ჩართულია კონდენსატორი (7). მაგნეტოს ლუხის ბრუნვის დროს ჩარჩოში აღიძვრება შეკრულ პირველად გრაგნილში დაბალი ძაბვის დენის მაინლექტირებელი წვევეტადი მაგნიტური ნაკადი. მაქსიმალური დენი მიიღება ჩარჩოს ბუნიკების მახლობლად ლუხის პოლუსების გაყვლის მომენტებში. თუ ამ დროს მწვევეტარათი პირველად ჯაჭვს განვრთავთ, მაშინ მეორე ჯაჭვში მოხდება მაღალი ძაბვის დენის ინდუქტირება; ეს უკანასკნელი განმანაწილებლის საშუალებით მიიმართება ამა თუ იმ სანთლისაკენ, გამოიწვევს რა ნაპერწყლურ განმუხტვას.

ოთხტაქტიან ექვსცილინდრიან ძრავაში მუხლა ლილვის ორი ბრუნის განმავლობაში ასეთი ტიპის მაგნეტომ უნდა გააყეთოს სამი ბრუნი, რაც შექმნის დენის ექვს იმპულსს (სამს ერთ მხარეს და სამს მეორე მხარეს). ამ დროის განმავლობაში მწვევეტარამ პირველად გრაგნილში დენი ექვსჯერ უნდა განრთავს, რაც მეორად გრაგნილში გამოიწვევს მაღალი ძაბვის დენის ექვს იმპულსს. განმანაწილებლის ლილვი, რომელიც ერთ ბრუნს აკეთებს, ექვს ცილინდრზე დენს ანაწილებს ფეთქვითა მოთხოვნილი წესრიგის შესაბამად.

ნაკ. 7—22-ზე ნაჩვენებია ერთცილინდრიანი კარბურატორიანი შეველი შიგაწვის ძრავას კონსტრუქციული შესრულება.*

თ ა ვ ი 7-8

აირის შიგაწვის ძრავები და პირგენერატორები

7-25. აირის ძრავები

აირის ძრავები ეწოდება ისეთ შიგაწვის ძრავებს, რომლებშიაც სათბობად გამოიყენება სხვადასხვა სახის აირადი სათბობი. აირის ძრავები იგება როგორც ორისე ოთხტაქტიანი. აირის შიგაწვის ძრავები ამჟამად ფართოდ გამოიყენებიან როგორც სტაციონარული, ისე — როგორც სატრანსპორტო ძრავები. ოთხტაქტიან აირის ძრავებში აირისა და ჰაერის მუშა ნარევის აალება ხოციელებდა ელექტრონაპერწყლის საშუალებით. ოთხტაქტიან აირის ძრავებში გამოიყენება როგორც ელექტრონიკალიორიზატორით ანთება. სოფლის მეურნეობაში გამოყენებული აირის შიგაწვის ძრავების მახასიათებლები მოცემულია ცხრილში 7—1.

ცხრილი 7—1

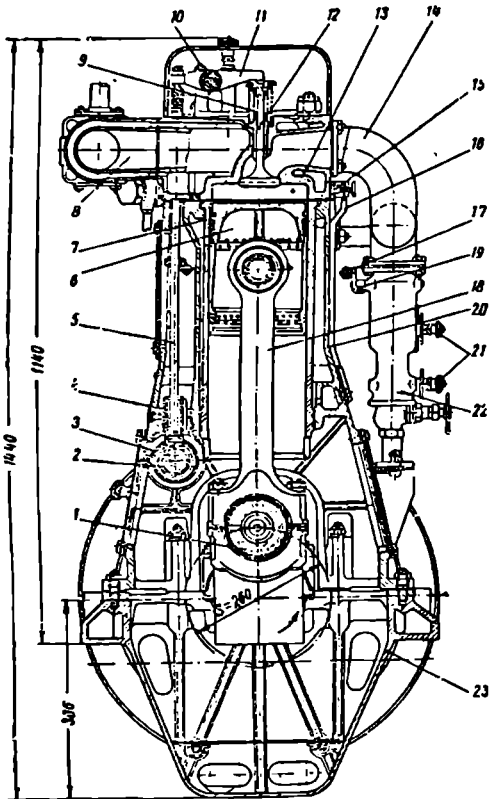
აირის შიგაწვის ძრავების მახასიათებლები

მ ა რ კ ა	სიმძლავრე ტ. ძ.	მუხლა დენის ბრუნების რიცხვი	ცილინდრის რიცხვი	ტაქტების რაოდენობა	დანიშნულება
1 ΓД 16/30-18	15	620	1	2	სტაციონარული
СХТЗ-1 Γ	28	1050	4	4	ტრაქტორის
Д 21 . . .	45	1250	4	4	ტრაქტორის
2 Г4 18/26	45	750	2	4	სტაციონარული
4 Г4 18/30	90	750	4	4	სტაციონარული

* სატრაქტორო და საავტომობილო ძრავების კონსტრუქციები იხილეთ: „სატრაქტორო და საავტომობილო ძრავები“, ვ. მახალდიანი, გამოცემლობა „სოლხა“, 1959 წ.

7—1 ცხრილიდან ჩანს, რომ სოფლის მეურნეობაში გამოყენებული აირის შიგა-
წვის ძრავები უმეტესად აირიან ოთხტაქტიანი და შრავალცილინდრიანი.

ნაკ. 7—23-ზე ნაჩვენებია აირის 4 Γ $1^{1/2}$ /₂₈ სტაციონარული შიგაწვის ძრავის განივი
კრილი.



ნაკ. 7—23. აირის 4 Γ $1^{1/2}$ /₂₈ სტაციონარული შიგაწვის ძრავის განივი კრილი.

1-ბუბლი ლილვი, 2-მუშტა, 3-განმანაწილებელი ლილვი, 4-პიპეტული, 5-შუაგა, 6-დუში, 7-მუშა ცილინდრის მასრა, 8-გაზომწვევი კოლექტორი, 9-მხრეული ლეზი, 10-მხრეული, 12-მუშევი სარტყელი, 18-ცილინდრის საბურავი, 14-შემწვევი კოლექტორი, 18-ანთების სანთელი, 16-ბალა ძაბვის ელსაფხი, 17-წყვა რეგულატორიდან, 18-ბარბაცა, 19-სადროსელი საფარის ბერკეტი, 20-ცილინდრების ბლოკი, 21-ხარისხობრივი რეგულირების დროსელი, 22-მუშევი, 23-მუშევი კარტრი ანუ სპირტკლის ხარხი.

გამშვებ ბალონში შეკუმშული ჰაერის დაკვირვებისათვის ძრავას კომპარესორი.

აირის შიგაწვის ძრავებში გამოყენებულ აირად სათბობთა შორის განსაკუთრებულ როლს ასრულებს გენერატორის აირი, რომელიც მიიღება სხვადასხვა სახის პირველადი მყარი სათბობებიდან (მურა ნახშირი, ქვანახშირი, ანთრაციტი, შეშა, ტორფი და სხვ.). ამის გარდა, ამ ბოლო დროს ფართოდ გამოიყენება ბუნებრივი აირები, ნავთობის აირი, საოქსავეი ლუმელების აირი, სანათი აირი, ბრძმედის აირი და სხვ.

განხილულ სტაციონარულ აირის ძრავაში სათბობად გამოიყენება გენერატორის აირი. აირისა და ჰაერის მუშა ნარევის აალენისათვის გამოყენებულია მკენეტოთი ანთების სისტემა. აირადი სათბობი და ჰაერი მიეწოდება შემრევი (22). შემრევის მილულის გამოსასვლელზე დაყენებულია სადროსელი საფარის ბერკეტი (19), რომლის საშუალებით ძრავაში ხორციელდება რაოდენობითი რეგულირება. შემრევის აირისა და ჰაერის მილულებზე დაყენებულია დროსელები (21) ხარისხობრივი შერეგულირებისათვის. რაოდენობითი რეგულირება განხორციელებულია ბრტყელი ცენტრიდანული რეგულატორით, რომელიც ნარევის დროსელთან დაკავშირებულია წვეით (17). ხარისხობრივი შერეგულირება ხორციელდება ხელით.

ასეთი აირის ძრავების გაშვებისათვის გამოიყენება შეკუმშული ჰაერი, რომელიც ინახება გამშვებ ბალონებში.

აქვს ერთსაფეხურიანი

როგორც აღნიშნული იყო, აირის შერევის ძრავებში ფართოდ გამოიყენება აირ-გენერატორებში მიღებული აირები. აირგენერატორში მიღებული აირის უშუალო შემდეგაა ძრავას ცილინდრებში დაუშვებელია, რადგან ის შეიცავს სხვადასხვა მექანიკურ მინარევს, ფისსა და ტენს. ამას გარდა, გენერატორის აირი, ზალილი ტემპერატურის გამო, ძლიერ ამცირებს ცილინდრების შეფხვას. ამისათვის, აირგენერატორის დანადგარი უნდა შეიცავდეს გამწმენდ ფილტრებს და აირის გაციელებისათვის მოწყობილობას—სკრუბერს.

7—26. აირგენერატორები

აირადი სათბობი, რომელიც მიიღება სხვადასხვა სახის მყარი სათბობებიდან, ე. წ. გენერატორის აირი, მიიღება აირგენერატორებში. აირგენერატორები არსებობენ სტაციონარული და სატრანსპორტო, რიგ შემთხვევებში სტაციონარული აირგენერატორების დანადგარების დანიშნულებას სტაციონარული აირძაფისათვის აირის გამოშვებებზე, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში მათი დანიშნულებაა საერთოდ აირადი სათბობის გამოშვებებზე მოხმარების ადგილზე გადასაზიდვად-სპეციალური ბალონებით ან აირსადენებით.

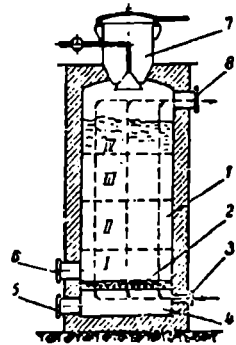
სატრანსპორტო აირგენერატორები მზადდება ავტომობილებისა და ტრაქტორებისათვის.

აირგენერატორული პროცესი მდგომარეობს მყარი სათბობის დაწვაში ჰაერის არასაკმარისი რაოდენობით მიწოდების დროს. ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის მნიშვნელობა აირგენერატორებში იღება $\alpha = 0,4 - 0,45$, ე. ი. თეორიულად საჭირო რაოდენობასთან შედარებით, სათბობის წვის პროცესი მასში მიმდინარეობს $60 \div 55\%$ ჰაერის ნაკლებობით.

როგორც აღნიშნული იყო, მყარი სათბობებიდან საწვავი აირის მიღება ხორციელდება აირგენერატორებში. ნაქ. 7—24-ზე ნაჩვენებია აირგენერატორის სქემა, რომელიც სინამდვილეში წარმოადგენს შახტურ საცხებლეს.

ცეცხლიკებიან ცხაურასა (2) და ჩაპტიერთაე საკეტს (7) შორის აირგენერატორის შახტის (1) სივრცე სავსეა მყარი სათბობით. მყარი სათბობის წვის პროცესი მიმდინარეობს ცეცხლიკებიან ცხაურაზე (2) ე. წ. წვის ზონაში I. წვისათვის ჰაერის მიწოდება ხორციელდება მისაწოდებელი მილყელის (3) საშუალებით. ნაცრისა და წილის გაცლა ხდება (5) და (6) კარების საშუალებით. აირგენერატორში ჰაერის მოძრაობისათვის საჭიროა შახტაში შეიქმნას გაუხშობება. თუ აირგენერატორი ემსახურება აირის შერევის ძრავას, მაშინ ძრავას მუხლა ლილვის ბრუნვის დროს ჰაერის მოძრაობა აირგენერატორის შახტაში შეიქმნება დღუშის მოძრაობის შედეგად წარმოშობილი გაუხშობების ხარჯზე.

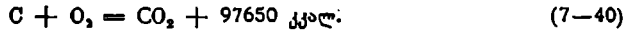
აღნიშნულის გარდა, აირგენერატორში ჰაერის მოძრაობა შეიძლება გამოვიწვიოთ ჰაერის სპეციალური შემწოვი ვენტილატორით. წვის ზონაში წარმოებს მყარი სათბობის



ნაქ. 7—24. აირგენერატორის სქემა. I—მყარი სათბობის წვის ზონა, II—აღდგენის ზონა, III—მზრალი გამოშლის ზონა, IV—შეჯრობის ზონა, I-შახტა, 2-ცეცხლიკებიან ცხაურა, 3-ნაცრის მისაწოდებელი მილყელი, 4-საპროცესო, 5-წილის გამოსაწვივ კარი, 6-წილის გამოსაწვივ ნივთი კარი, 7-ჰაერის სათბობის ჩაქტიერთაე საცხებელი, 8-ვენტილატორის აირის პალეტა.

ნახშირბადისა C და წყალბადის H₂ წვა, რომლის დროსაც მიიღება როგორც სრული, ისე უსრული წვის აიროვანი ნაწარმი.

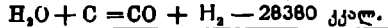
სათბობის წვის ზონაში სრული წვის რეაქციის დროს მიმდინარეობს ეგზოთერმული პროცესის და გამოიყოფა სითბო. თუ წვის რეაქციებს საერთოდ განვიხილავთ ერთი მოლის მიმართ, მაშინ ნახშირბადისა და წყალბადის წვის რეაქციები სრული წვის შემთხვევაში გამოისახება ფორმულებით:



სულ: + 155460 კკალ.

მოყვანილი რეაქციების შედეგად სითბოს დიდი რაოდენობით გამოყოფისას სათბობის წვის ზონაში I ტემპერატურა აღწევს 1200—1500 °C.

წვის ზონაში I მიღებული წვის აიროვანი ნაწარმი ადის ალდგენის ზონაში II, სადაც ეხება რა 900—1100 °C-მდე გავარდნებულ ნახშირბადს, აწარმოებს სითბოს შთანთქმას და მიმდინარეობს ალდგენითი ხასიათის ენდოთერმული რეაქციები:



სულ: - 67170 კკალ.

შენიშნავთ, რომ უკანასკნელ რეაქციაში მონაწილეობს არა მარტო ის H₂O, რომელიც მიიღება (7-41) რეაქციის შედეგად (რომლის რაოდენობა ძლიერ მცირეა), არამედ ის ტენიცი, რომელიც შეიტანა აირგენერატორში მყარმა სათბობმა და ჰაერმა.

საწვავ აირს, რომელიც მიიღება აირგენერატორის ალდგენის ზონაში, ეწოდება გენერატორის აირი. გენერატორის აირი შახტაში (1) მოძრაობს ქვემოდან ზემოთ და გამოდის მილყელიდან (8).

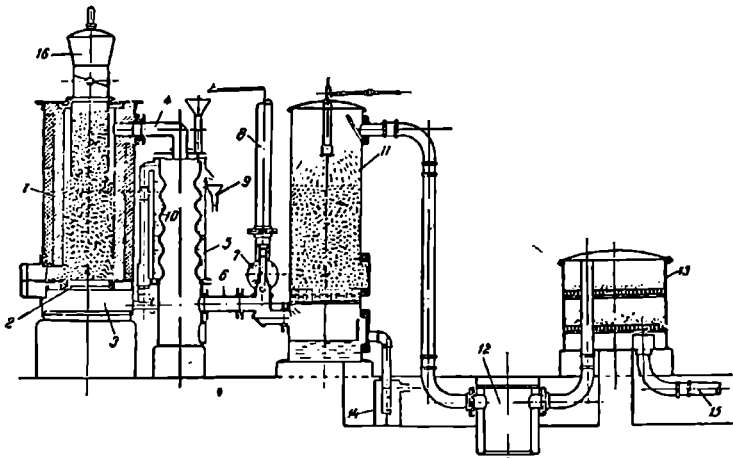
მშრალი გამოხდის ზონაში III მყარდება ტემპერატურა 500—800 °C, რის შედეგადაც წარმოებს მყარი სათბობის მშრალი გამოხდა ენგბადის მონაწილეობის გარეშე. მშრალი გამოხდის შედეგად გამოიყოფა სხვადასხვა ნივთიერება, პირველ რიგში კი ფისი. შეშრობის ზონაში IV, სადაც ტემპერატურა აღწევს 300—500 °C, მიმდინარეობს მყარი სათბობის შეშრობის პროცესი. აღწერილი ხერხით გენერატორის აირის მიღების პროცესს ეწოდება პირდაპირი პროცესი. აღნიშნულის გარდა, არსებობს გენერატორის აირის მიღების შებრუნებული პროცესი* (ძირითადად გამოიყენება საავტოტრაქტორო ძრავებისათვის) და პორიზონტალური პროცესი.

საბოლოოდ უნდა აღინიშნოს, რომ აირგენერატორებში მიღებული გენერატორის აირები წარმოადგენენ სხვადასხვა აირების შექანიკურ ნარევეს. გენერატორის აირების საწვავი ნაწილი მიახლოებით შეიცავს ნახშირბადს (20—30%), მეთანს (1—3%), წყალბადს (10—16%), ხოლო არასაწვავი ნაწილი კი შეიცავს აზოტს (50—60%), ნახშირორბანს (4—9%) და წყლის ორთქლს (0—5%).

საერთოდ ბუნებრივ აირებთან შედარებით გენერატორის აირებს აქვს დაბალი დაწვის სითბო და შეიძლება ის მივაკუთვნოთ ლარიმ სათბობებს, მაგრამ თუ შევადარებთ სხვა ხელოვნურ აირებს, როგორცაა ბრძმელების და სხვ. გენერატორების აირებს აქვთ შედარებით უფრო დიდი დაწვის სითბო. აირგენერატორების აირების დაწვის სითბო მერყეობს ფარგლებში 1100—1500 კკალ/ნ მ³.

* საკითხის დაწვრილებით შესწავლისათვის იხილეთ: „სატრაქტორო და საავტომობილო ძრავები“; გ. შახალდიანი, გამოცემულმა „ტოლნა“, 1959 წ.

ნაკ. 7—25. ზე ნაჩვენებია აირის სტაციონარული შიგაწვის ძრავებისათვის გამოყენებული აირგენერატორის დანადგარის ერთ ერთი კონსტრუქციის სივრცითი კრილი. აირგენერატორის დანადგარი მუშაობს შემდეგნაირად. მყარი სათბობი და მტკიცრთავი ძაბრიდან (16) ჩაიტვირთება გენერატორის (1) შაბტაში. ჰაერი წყლის ორთქლთან ერთად, რომელიც მიიღება ამპორთქლებელში (5), მილის (10) საშუალებით მიეწოდება ცხაურას (2) ქვემოთ. წვის ზონაში ცხაურაზე მიმდინარეობს ერთდროულად სათბობის წვის და გარკვეული რაოდენობის წყლის ორთქლის დაღლის პროცესი. წვის ზონაში მიღებული წვის ნაწარმი, რომელიც შედგება CO , CO_2 , H_2 , H_2O და N_2 -გან, აღის აღდგენის ზონაში. აღდგენის ზონიდან გენერატორის აირი საჩინი მილის (4) საშუალებით



ნაკ. 7—25. აირგენერატორის დანადგარის სივრცითი კრილი სტაციონარული აირის შიგაწვის ძრავებისათვის.

1-აირგენერატორი, 2-ცეკლბრებიანი ცხაურა, 3-ქვემო, 4-გენერატორის აირის საჩინი მილი, ნაპირთქლებელი, 5-მილი, 6-მილი, 7-ონკანი, 8-ამწოვი მილი, 9-საორთქლო ძაბრი, 10-მილი ამპორთქლებელიდან ცეკლბრებიან ქვემოთ ორთქლის მასაწოდებლად, 11-სერუბერი, 12-წყალსაცლელი, 13-მშრალი გამწმენდი, 14-წყლის საცხი, 15-მილი აირის შიგაწვის ძრავისაკენ, 16-დამტვირთავი ძაბრი.

ბით მიემართება ამპორთქლებელში (5), რომელიც იესება წყლით და შემოვარებულა ამ აირებით. ამპორთქლებლიდან (5) აირი გადის გამწმენდ მოწყობილობებში, სერუბერში (11) — სველ გამწმენდში, რომელშიაც მოთავსებულია კოქსის ნატეხები, წყალსაცლელსა (12) და მშრალ გამწმენდში (13). მშრალ გამწმენდში მოთავსებულია ხის ნახერხი ან სხვა ნეთიერება, რომელიც აირის აცლის ტენს. სველ გამწმენდში — სერუბერში ხდება წარტაყებული სათბობისა და ნაციის ნაწილაკებისაგან გენერატორის აირის გამწმენდა და მისი გაცილება. სუფთა და გაციებული გენერატორის აირი მილის (15) საშუალებით შეიწოვება აირის შიგაწვის ძრავის მიერ. აირის შიგაწვის ძრავები მომარაგებული არიან სხვადასხვა კონსტრუქციის აირმწოდებლთ, რომლებიც უზრუნველყოფენ ძრავას მუშა ცილინდრებში შესაწოვი მუშა ნარეების მიღებას.

თ ა მ 7—9

ძრავების გაზრილება, შიგაწვა და რეპულირება

7—27. ძრავას გაზრილების სისტემა

შიგაწვის ძრავას ცილინდრებში სათბობის წვის პროცესის დროს გამოიყოფა სითბოს განსაზღვრული რაოდენობა. სათბობის წვის შედეგად მიღებული სითბოს ნაწილი წვის აირიდან ნაწარმის საშუალებით გადაეცემა ძრავის ნაწილებს.

ცხელი აირებით შემოგარებულა ძრავს ცილინდრი, დეჟში, ცილინდრის სახურავი და სარკველები. ძრავს აღნიშნული ნაწილები მოითხოვენ ინტენსიურ გაგრილებას, რათა ისინი დაკულ იქნენ გადამეტებული გაცხელებისაგან.

გაგრილების ვარგზე ძრავს მუშაობა წარმოუდგენელია, რადგან ცხელი აირებით შემოგარებული ნაწილების გადამეტებული გაცხელება გამოიწვევს ამ ნაწილების სიმტკიცის დარღვევას, ზეთის დაწვას, მოხახუნე ნაწილების ზედაპირების გაქექვას და ძრავს წყობილებიდან გამოსვლას. ამასთან დაუშვებელია ძრავს ნაწილების გადამეტებული გაგრილება, რადგან აღნიშნული გამოიწვევს სიბზოს გაძლიერებულ კარგევებს, წვის პროცესის გაუარესებას, სათბობის კონდენსაციას და სხვ. ცხადია, რომ ძრავს სათანადო ნაწილების გაგრილება იწვევს სითბური ენერჯის დიდ დანაკარგს, მაგრამ ეს აუცილებელია ძრავს ნორმალური მუშაობისათვის. საერთოდ არსებობს შიგაწვის ძრავების გაგრილების სამი სისტემა:

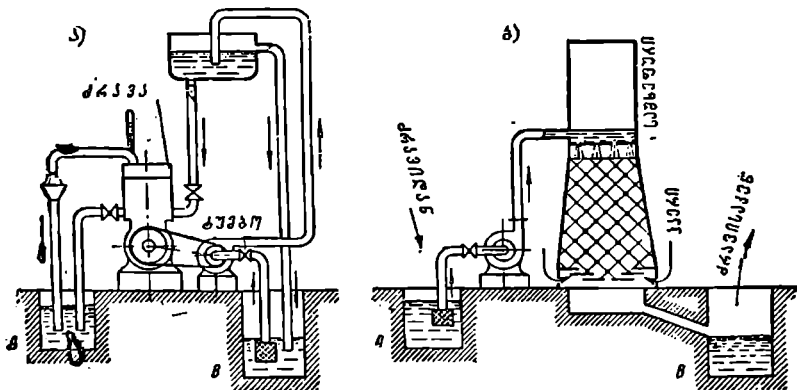
1) სითხით, როდესაც გამაგრილებელ არედ გამოიყენება წყალი, ზეთი და სხვ. სითხეები, რომელთა დუღილის ტემპერატურა შედარებით მაღალია;

2) ჰაერით, როდესაც გამაცივებელ არედ გამოიყენება ჰაერის ნაკადი;

3) აორთქლებით, როდესაც გაგრილება მიიღწევა სითხის აორთქლებით, რომელიც აორთქლადქცევის დროს შთანთქავს ძრავს გაცხელებული ნაწილების სითბოს ნაწილს (გამოიყენება შედარებით იშვიათად).

გაგრილების აღნიშნული სისტემებიდან სტაციონარულ და სატრანსპორტო შიგაწვის ძრავებში ძირითადად გამოიყენება წყლით გაგრილების სისტემა. წყლით გაგრილების სისტემა არსებობს გამდინარე ანუ განრთული და ცირკულაციური ანუ შეკრული -- ბრუნვადი.

გამდინარე ანუ განრთული გაგრილების დროს წყალი ძრავაში ერთჯერადად გადის. წყაროდ, სადაც ამ შემთხვევაში იღება წყალი, შეიძლება იყოს მდინარე, ტბა, ქა და სხვ. გამდინარე გაგრილების დროს წყლის მიწოდება იძულებითია, რაც ხორციელდება



ნაქ. 7—26. სტაციონარული შიგაწვის ძრავს გაგრილებისა და გამაგრილებელი წყლის გაცივების სქემები: ა—ძრავს გამდინარე გაგრილების სისტემა საწერო აუზით, ბ—წყლის ცირკულაციური (ბრუნვადი) გაცივების სისტემა საწეროაუზით, ა—არჩინი არხი (ჩაშლამუხევი ქა) ან ცხელი წყლის აუზი, ბ—მიწოდებული არხი (მიწვევი ქა) ან გამაგრილებელი წყლის აუზი.

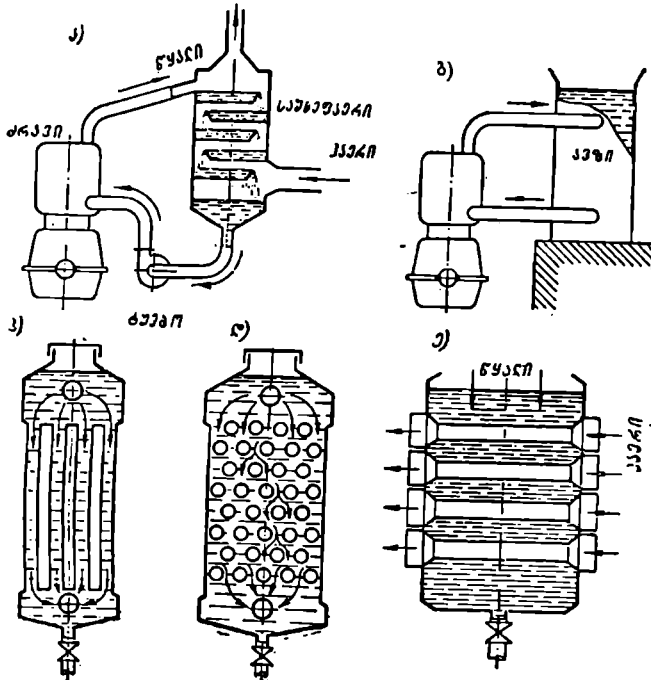
საციკულაციო ტუმბოს საშუალებით; ამასთან ერთად საჭიროა განხილულ იქნეს გამაგრილებელი წყლის შემდგომი გაცივების სქემები.

ნაკ. 7—26-ზე ნაჩვენებია სტაციონარული შიგაწვის ძრავას გამდინარე გაგრილები-
სა და გამაგრილებელი (გამაცივებელი) წყლის გაცივების სქემები.

ნაკ. 7—26, ა-ზე ნაჩვენებია ძრავას გამდინარე გაგრილების სქემა საწნეო ავზით.
წყლის ტუმბოსა და ძრავას შორის სათანადო სიმაღლეზე გაადგილებულია საწნეო ავ-
ზი, რომელიც უზრუნველყოფს ძრავაში მისაწოდებელი გამაგრილებელი წყლის დაწნე-
ვის მუდმივობას და, აგრეთვე, ტუმბოს ხანმოკლე გაჩერების დროს გაგრილების განუწყ-
ვეტლობას. მცირე სიმაღლის სტაციონარული ძრავების შემთხვევაში შეიძლება გა-
მოყენებულ იქნეს წყალსადენის წყალი. გამდინარე გაგრილება წყლის დიდ ხარჯსა
და მის კარგ ხარისხს მოთხოვს; იგი გამოიყენება მხოლოდ სტაციონარულ ძრავებში.

ნაკ. 7—26, ბ-ზე ნაჩვენებია გამაგრილებელი წყლის გაცივება საშხეფურის (შხეფ-
საცივარის) საშუალებით.

ძრავას ცირკულაციური გაგრილების დროს წყალი მოძრაობს ჩაკეტილ კონტურ-
ში, რომლის ერთ ნაწილში ადგილი აქვს გამაგრილებელი წყლის გაცხელებას, ხოლო



ნაკ. 7—27. საშხეფურით (შხეფსაცივარით), რადიატორითა და თერმოსიფონით გაგ-
რილების უმარტივესი შეკრული სქემები:

ა-უმარტივესი სქემა საშხეფურით, ბ-თერმოსიფონური გაგრილება, გ-მილითაში რადიატორის სქემა, დ და ე-ფო-
კაში რადიატორით.

კონტურის მეორე ნაწილში წყლის გაცივებას, ე. ი. ძრავას გამაგრილებელი წყლის მიერ
სითბოს გადაცემას გარემომცველ ჰერზე.

ნაკ. 7—27-ზე ნაჩვენებია საშხეფურით (შხეფსაცივარით), რადიატორითა და თერ-
მოსიფონით გაგრილების უმარტივესი შეკრული სქემები.

რიგ შემთხვევებში წყლის ნაცულად ძრავების გაგრილების სისტემისათვის იყენებენ ისეთ სითხეს, რომელსაც დუღილის მაღალი და გაყინვის დაბალი ტემპერატურა აქვს. ასეთ სითხეს, მგავლითად, წარმოადგენს ეთილენგლიკოლისა და წყლის ნარევი, რომლის დუღილის ტემპერატურა დაახლოებით 170 °C-ს უდრის, ხოლო გაყინვის ტემპერატურა კი —18 °C.

ზოგიერთ შემთხვევაში წყლით გაგრილების ნაცულად იყენებენ ჰაერით გაგრილებას, რომლებშიც ძრავას ცილინდრებისა და მათი საბურავების გარე ზედაპირს უშუალოდ ხვდება გამაგრილებელი ჰაერის ნაკადი. შეენიშნავთ, რომ ჰაერზე თბოგადაცემის კოეფიციენტი წყალზე თბოგადაცემის კოეფიციენტზე ბევრად მცირეა; ამის გამო ჰაერით გაგრილებას შემთხვევაში საჭიროა გამაგრილებელი ჰაერის ნაკადის მოძრაობის დიდი სიჩქარე და გაწიბოვნების გზით სითბოს გადაძეგში ზედაპირის მნიშვნელოვანი გადიდება.

წყლით გაგრილების სისტემის გამოყენებისას აუცილებელი მოთხოვნაა, რომ გაგრილების სისტემა უზრუნველყოს ძრავის პერანგებიდან გამოშვებული გამაგრილებელი წყლის ტემპერატურა 80—90 °C. გაგრილების სისტემისათვის, მინადადის შემცირების მიზნით, უნდა გამოიყენოთ რბილი წყალი (სასურველია წვიმის წყალი). ხისტი წყლის გამოყენების შემთხვევაში საჭიროა მისი წინასწარი შერბილება.

7—28. ძრავის შეხვეთვა

შეგაწვის ძრავას მოძრავი ნაწილების ხახუნისა და ცვეთის შესამცირებლად და, აგრეთვე, ხახუნის გამო წარმოქმნილი სითბოს ნაწილის არინებისათვის გამოიყენება ძრავას შეხეთვა. აღნიშნულის განხორციელებისათვის არ არის საკმარისი მოხახუნე ზედაპირებს შორის ზეთის წასმა, ასეთ პირობებში სწრაფად მოძრავი ზედაპირები ძლიერ ცხელდება, ზეთი დაიწვება და შეხეთვის პროცესი შეწყდება; აღნიშნულის გარდა, მოხახუნე ზედაპირებს შორის შერჩება ცვეთის ნაწარმი და გამომწვარი ზეთი, რაც მათს გაქვევას გამოიწვევს. შეგაწვის ძრავის ნაწილური შეხეთვისათვის აუცილებელია ზეთის მუდმივი ცირკულაცია, რაც იმას ნიშნავს, რომ მოხახუნე ზედაპირებს შორის მოხვედრილი ზეთი, განსახლებულ ტემპერატურამდე გაცხელების შემდეგ, უნდა ტრეებდეს ამ ზედაპირებს და მის ადგილს კი იკავებდეს ახალი ზეთი. ცირკულაციაში მყოფი ზეთი მოხახუნე ნაწილებს აგრილებს და მოხახუნე ზედაპირებიდან გამოაქვს ცვეთის ნაწარმი. ცხადია, რომ ცირკულაციის პროცესში საჭიროა ზეთის გაფილტვრა, რათა ცვეთის ნაწარმი კვლავ არ მოხვდეს მოხახუნე ზედაპირებზე. განუწყვეტელ შეხეთვას შიითხოვს ძრავას მუხლა ლილვის საკისრები (ძირითადი და საბარბაე), დგუში და დგუშის თითი, კბილანები და განმანაწილებელი მექანიზმის საკისრები და სხვ.

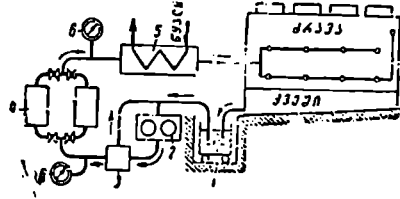
ნაკლებად საპასუხისმგებლო ნაწილებს შეხეთვა შეიძლება განხორციელდეს პერიოდულად ხელით. შეგაწვის ძრავების პირველ კონსტრუქციებში შეხეთვის სისტემა მარტივი იყო. ძრავის კარტერში, დადგენილ დონემდე, ჩასხული იყო ზეთი, რომელიც მუხლა ლილვის ბრუნვის გამო გაიშეფებოდა და ხორციელდებოდა მოძრავი ნაწილების შეხეთვა. შემდგომ შეხეთვის სისტემაში ჩართეს ზეთის ტუმბო, რომელიც გაშეფებასთან ერთად ახლენდა ზეთის იძულებით ცირკულაციას. ამიტომ შეხეთვის სისტემის განხილვისას არჩევენ იძულებით და გაშეფვით შეხეთვას. ამასთან ერთად არჩევენ შეხეთვის კომბინირებულ სისტემას, როდესაც ნაწილი (საკისრები) იზეთება იძულებითი წესით, ხოლო დანარჩენი კი (ცილინდრები, დგუშები, რკოლები) გაშეფვით.

ნაკ. 7—28-ზე ნაჩვენებია ძრავას ცირკულაციური შეხეთვის სქემა.

ზეთშემკრებიდან (1) ზეთი კბილანებიანი ტუმბოთი (2) მიეწოდება ზეთის საჭირბნ ზეთსადენში. ზეთი სარედუქციო სარკველის (3) გავლით გადის ფილტრში (4), რომლის წინ და შემდეგ დაყენებულია მანომეტრები (5). ფილტრების (4) შემდეგ ზეთი გაივლის რა მა-

ცივარს (5), ზეთის განმანაწილებელი მილგაყენილობით მიეწოდება შესაბამის ნაწილებში. სარედუქციო სარქველებით რეგულირდება ზეთის წნევა შეზეთვის სისტემაში. ნამუშევარი ზეთი ქვეშის საშუალებით ჩამოდინდება ზეთშემკრებში. საერთოდ ზეთის ხარჯი მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული და სხვადასხვა სახისა და სიმძლავრის ძრავებისათვის სათანადო ნორმებით განისაზღვრება.

გაშვების წინ შეზეთვისათვის შეიძლება ძრავებზე დაყენებულ იქნეს ხელის ტუმბო. შიგაწვის ძრავების შეზეთვისათვის, მათი მუშაობის პირობების მიხედვით, გამოიყენება სხვადასხვა სახის და მარკის საცხები ზეთები.

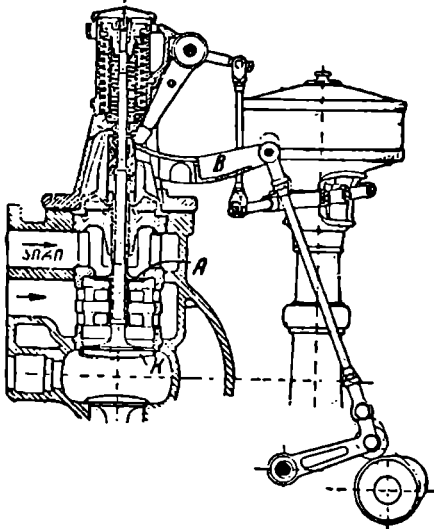


7—29. რამბულირბაის მეთოდები

ნაკ. 7—28. შიგაწვის ძრავის ცირკულაციური შეზეთვის სქემა.

1-ზეთშეკრება, 2-მკობლანაწიხი ზეთის ტუმბო, 3-სარედუქციო სარქული, 4-ფილტრი (ოთხი), 5-მათეარაი, 6-მანოზრტბეი.

ისე როგორც სხვა სითბურ ძრავებში, შიგაწვის ძრავებში რეგულირების მიზანს წარმოადგენს შეთანხმებულობა ძრავას დატვირთვისა და მისაწოდებელი სათბობის რაოდენობას შორის. იმ შემთხვევაში, როდესაც იხილება შიგაწვის ძრავები ნუშა ნარევის ვარე წარმოქმნით, როგორცია აირისა და კარბურატორიანი ძრავები, ანსხვებებენ: რაოდენობით რეგულირებას, როდესაც იცვლება ძრავას ცილინდრებში მიწოდებული მუშა ნარევის რაოდენობა, ხარისხობრივ რეგულირებას, როდესაც იცვლება ნარევის პროპორცია და შერეულ რეგულირებას, როდესაც იცვლება ნარევის რაოდენობა, ისე პროპორცია. რაოდენობით რეგულირების ხერხის გამოყენების დროს, როგორც აღნიშნული იყო, იცვლება ძრავას ცილინდრებში მიწოდებული ნარევის რაოდენობა, ხოლო მისი პროპორცია მუდმივი რჩება. ასეთი ხერხით რეგულირებისას რეგულატორი ზეკმელებას ახდენს ძრავას შემშვებ სარქველზე ან ნარევის შემწოვ მელში დაყენებულ სადრისელო საფარზე.



ნაკ. 7—29-ზე ნაჩვენებია სტაციონარული აირის ძრავას რაოდენობითი რეგულირების მოწყობილობა.

ნაკ 7—27. სტაციონარული აირის შიგაწვის ძრავას რაოდენობითი რეგულირების მოწყობილობა.

კოლოფის ზედა ღრუ ნაწილით აირის შეშებას მართავს. პერი. შეიწოვება სარქველის

შემშვები სარქველის K შიანდელზე მოთავსებულია აირის სარქველი A, რომელიც სარქველის

კოლოფის შუა არხით. როგორც ნაკეთიდან ჩანს, როგორც შემშვები, ისე აირის საბრუნველები ერთსა და იმავე დროს ბერკეტთა სისტემით იღებან. მუშტა საყელური განმანაწილებელი ლილიდან მოძრაობის მიღებით, მძიძგავის საშუალებით მოქმედებს ბერკეტის B ბოლოზე, რომლის მეორე ბოლო სარკველის შპინდელთანაა დაკავშირებული. რაოდენობითი რეგულირების ხერხი ყველაზე მეტად გამოიყენება აირისა და კარბურატორიან ძრავებში. ამ ხერხით რეგულირების ნაკლოვან მარეს წარმოადგენს გადიდებული ჰიდრაულიკური კარგები და ნარევის კუმშვის წნევის შემცირება შემწვოვ მიღში გაუხშობის გადიდების გამო.

სატრანსპორტო ძრავებს უმეტესად არ უყენებენ ავტომატურად მოქმედ რეგულატორებს, ვინაიდან ასეთ ძრავებს უხდებთ ცვალებადი ბრუნთა რიცხვებით მუშაობა. ნარევის რაოდენობითი რეგულირება ხორციელდება თვით მძლოის მიერ. სატრაქტორო ძრავებს ზოგიერთ შემთხვევაში სასოფლო-სამეურნეო მანქანა-იარაღების მუშაობის სპეციფიკურობიდან გამომდინარე უყენებენ რეგულატორებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ ძრავას ბრუნთა რიცხვის მუდმივობას და, მაშასადამე, ტრაქტორის მოძრაობის მუდმივი სიჩქარეს.

ხარისხობრივი რეგულირების დროს, როგორც აღნიშნული იყო, იცვლება ნარევის პროპორცია, ე. ი. რეგულირდება არა ნარევის რაოდენობა, არამედ იცვლება თვით სათბობის რაოდენობა მუშა ნარევიში. მაშასადამე, ხარისხობრივი რეგულირებით მიიღწევა მუშა ნარევის როგორც გაღარიბება, ისე გამდიდრება. ხარისხობრივი რეგულირებას აქვს ნაკლოვანი მხარე, რომელიც გამოსახება იმაში, რომ მუშა ნარევის პროპორციის ცვლილებას ვაგენა აქვს წვის პროცესზე. მუშა ნარევის გაღარიბება, ე. ი. ნარევი სათბობის რაოდენობის შემცირება აალებინა და წვის პროცესს აყოვნებს, ხოლო მუშა ნარევი ნორმალურზე მეტი სათბობის არსებობა ანუ ნარევის გამდიდრება, არასრული წვის პროცესს იწვევს; საერთოდ რეგულირების ეს ხერხი უმეტესად გამოიყენება აირისა და ნაფოობის ძრავებში.

შერეული წვისით რეგულირების გამოყენებისას, როგორც აღნიშნული იყო, იცვლება როგორც მუშა ნარევის რაოდენობა, ისე პროპორცია. მაშასადამე, შერეული რეგულირება წარმოადგენს რაოდენობრივი და ხარისხობრივი რეგულირების კომბინაციას. საერთოდ შერეული რეგულირება სხვადასხვანაირად ხორციელდება. ხშირ შემთხვევებში ძრავას დიდი დატვირთვების დროს მიმართავენ ხარისხობრივი რეგულირებას, ხოლო მისი მცირე დატვირთვების დროს კი იყენებენ რაოდენობრივი რეგულირებას. მაშასადამე, შერეული რეგულირების დროს საერთოდ ხორციელდება ნაწილობრივი როგორც რაოდენობრივი, ისე ხარისხობრივი რეგულირება; ამასთან ერთად გამოიყენება შერეული რეგულირების სხვა ხერხებიც.

აღნიშნული რეგულირების ხერხებთან ერთად გამოიყენება რეგულირება წვის ფაზის გამოტოვებით. ასეთი ხერხის რეგულირებისას განმანაწილებელ ლილვზე მოთავსებულ მუშტაზე რეგულატორი მოქმედებს და მას განზე ვაწევს, რის გამო აირის სარკველი არ იღება და შეწოვის დროს ძრავას ცილინდრებში მუშა ნარევის ძაგიერ მხოლოდ ჰაერი შედის, ე. ი. წვის ფაზა გამოიტოვება. ამის გამო ძრავას მუხლა ლილვის ბრუნთა რიცხვი მცირდება და რეგულატორი მუშტას წინა მდგომარეობაში დაბრუნებს. ამ მდგომარეობაში სარკველის მართვას ისევ აირის მუშტა იწვევს და ძრავას ცილინდრებში სათბობი შეიშება.

ასეთი ხერხით რეგულირება ვერ უზრუნველყოფს ძრავას თანაბარზომიერ სვლას და გამოიყენება მხოლოდ გენერატორის აირზე მომუშავე და კალორიზატორიან (ვარვართავიან) მცირე სიმძლავრის ძრავებში.

თვითაალებით მომუშავე დიხელის ძრავებში რეგულირება მიიღწევა მუშა ცილინდრებში სათბობის ტუმბოთი მიწოდებული თხევადი სათბობის რაოდენობის ცვლით, რაც სათბობის ტუმბოს წაქეფის სარქველზე რეგულატორის ზეკმედებაზეა დამოკიდებული. ფრქვევანაში მიწოდებული თხევადი სათბობის რაოდენობა წაქეფის სარქველის მოძრაობაზეა დამოკიდებული. შევნიშნავთ, რომ ძრავის ცილინდრებში შეწოვილი ატმოსფერული ჰაერის რაოდენობა დატვირთვის სიდიდეზე არ არის დამოკიდებული.

თ ა გ ი 7-10

შიგაწვის ძრავების მასკალმბათიისა და გამოსცდის ზოგნიმტი საკითხი

7-30. ძრავების გავების ხმარების და მუშაობის დროს მოვლა

შიგაწვის ძრავების გაშვების ხერხები დამოკიდებულია მათ სახესხვაობაზე. საერთოდ ძრავების გაშვებისათვის მოსამზადებელი მუშაობა შეიცავს შემდეგ ძირითად ლონსიციბებს:

ძრავის მომსახურე პერსონალის მიერ გულმოდგინედ უნდა გაისინჯოს ძრავის ყველა კვანძი, განსაკუთრებით ხანგრძლივი გაჩერებისა და მიმდინარე და კაპიტალური რემონტების შემდეგ. ძრავას ჰაერით გაშვების შემთხვევაში საჭიროა გამშვები ბალონების შემოწმება, ხოლო ელექტროენერგიით გაშვებისას აკუმულატორებსა შემოწმება. აგრეთვე უნდა გაისინჯოს სათბობის მარაგი და შემოწმდეს შეზუთვის სისტემა. უნდა შემოწმდეს ძრავას გაგრილების სისტემის წესიერულობა და გამაგრილებელი წყლით სისტემის უზრუნველყოფა.

კარბურატორიანი ძრავების გაშვება ხორციელდება, როგორც წესი, ელექტროენერგიით (სტარტერის საშუალებით, რომელიც აკუმულატორის ბატარეიდან იკვებება), ხოლო იშვიათ შემთხვევაში ხელით. საავიაციო ძრავების გაშვებისათვის ზოგჯერ აგრეთვე გამოიყენება შეკუმშული ჰაერი.

ძრავას გაშვების წინ აყენებენ ნავიანებ ანთებაზე, ხოლო სადროსელო საფარს— მინიმალურ გალებზე, რითაც ამოქმედებენ უკმი სელის ეიკლერს. მუშა ნარევის გამდიდრებისათვის გაშვების მომენტში კარბურატორის საპერო საფარს სათანადო სიდიდით მიხურავენ. ძრავას მუხლა ლილვის ბრუნთა რიცხვის ზრდის მიხედვით ანთებას აყენებენ ნორმალურ წინსწრებაზე.

აირის სათბობზე მომუშავე ძრავების გაშვება ხორციელდება შეკუმშული ჰაერით. ძრავას გაშვების წინ ფალის აყენებენ ნავიანებ აალებზე და მას ამორთავენ. გაშვების მომენტში შეკუმშული ჰაერით მომარაგებულ გამშვები ბალონის ვენტრის აღებენ. როდესაც ძრავას მუხლა ლილვი შემობრუნდება რამდენიმეჯერ, აღებენ აირის ვენტრის; მუშა ნარევის წარმოქმნელში აირის შესვლასთან ერთდროულად ხდება ანთების სისტემის ჩართვა. ძრავას უკმი მუშაობისათვის ანთებას აყენებენ ნაადრევ აალებზე. ძრავას 10—15 წუთი ამუშაებენ უკმი სელით, ხოლო შემდგომ მას თანდათან დატვირთავენ.

კომპრესორიანი დიხელის გაშვება, როგორც ეს აღნიშნული იყო კომპრესორიანი დიხელის აღწერის დროს, ხორციელდება მხოლოდ და მხოლოდ შეკუმშული ჰაერით.

უკომპრესორო დიხელის გაშვება ხორციელდება შეკუმშული ჰაერით. ძრავას გაშვებისათვის შეკუმშული ჰაერის მარაგი ორი გზით მიიღება. პირველ შემ-

თხვევაში ძრავას ცილინდრიდან, მისი მუშაობის დროს, ართმეულია სპეციალური სარქველის საწელებით შეკუმშული ჰაერი და მიწოდებულია გამშვებ ბალონში. მეორე შემთხვევის დროს განშვები ბალონის დამუხტვა ხდება განსაკუთრებული კომპრესორის საშეულებით, რომელიც გამშვები ბალონის დამუხტვის შემდეგ ამოირთვება. უკომპრესორო დიზელის პნევმატიკური გაშვებისას სათბობის ტუმბო გამოირთვება; უკანასკნელის ჩართვა ხორციელდება ძრავას ცილინდრში შეკუმშული ჰაერის შეშვების შეწყვეტის შემდეგ, როდესაც ძრავა განავითარებს საკმარის ბრუნთა რიცხვს. თუ უკომპრესორო დიზელის ცილინდრის კამერა გაყოფილია, ძრავას გაშვება რთულდება. ასეთ ძრავებში გაშვების პერიოდში რთავენ დამხმარე ფალიას ვალვებივებული პატრუქიანი (გვარჯილით გაქენთილი და მშრალი ქაღალდი) ამნთები ვაზნის სახით ანდა ვარვარა ელექტროხეიის სახით. შესაძლოა ასეთი სახის ძრავების ვასაშვებად გამოყენებულ იქნეს ადვილად ასაადლებელი სათბობი, როგორიცაა: ნავთი, სოლანის წეთი და სხვ.

კალორიზატორიანი ძრავას გაშვებისას 10—15 წეთის განმელობაში ახდენენ ძრავას კალორიზატორის (ვარვარათავის) ვახურებას სარჩილავი ნათურათი. თუ ძრავას სიმძლავრე არ აღემატება 10—12 ც. ძალას, გაშვებას ახდენენ ხელით, ხოლო მეტი სიმძლავრეების დროს იყენებენ შეკუმშულ ჰაერს.

შიგაწვის ძრავების მომსახურე პერსონალმა უნდა იცოდეს ძრავების ექსპლოატაციის ინსტრუქციები („შიგაწვის ძრავების მომსახურების ინსტრუქცია“). ცხადია, რომ სხვადასხვა სახისა და მარკის ძრავები მოითხოვენ არაერთნაირი სახის მომსახურებას. მოქმედებაში, ე. ი. ექსპლოატაციაში მყოფი ძრავების მოვლისას ერთ-ერთ უმთავრეს მოთხოვნათვანს წარმოადგენს შეზეთვის სისტემის ნორმალური მუშაობა, ვამაგრილებელი წყლის სისტემის ტემპერატურული რეჟიმის უზრუნველყოფა, სათბობის ნიწოდებელი და ანთების სისტემების წესიერული მუშაობა; უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს ძრავას მოძრავ ნაწილებზე სისტემატური თვალყურის დევნება და ავტომატიკისა და სიგნალიზაციის შეუფერხებელი მუშაობა.

მომსახურე პერსონალი (მემანქანები) ვალდებულია ყოველი ცვლის დამთავრების შემდეგ აწარმოოს ჩანაწერები საექსპლოატაციო ეურნალში, აღნიშნულ ჩანაწერში ასახული უნდა იქნეს ძრავას მდგომარეობა მორიგეობის ჩაბარებისას, რათა უწესიგრობის შემთხვევაში მიღებულ იქნეს საჭირო ზომები.

მორიგე მემანქანემ უნდა აიცოდეს ავარიული მდგომარეობის ყველა ნიშანი და ავარიით თავიდან აცილების ღონისძიებანი.

შიგაწვის ძრავების მომსახურე მემანქანეს უნდა ჰქონდეს შიგაწვის ძრავების მართვისა სათანადო მოწმობა.

7—31. შიგაწვის ძრავების გამოცდა

შიგაწვის ძრავების სითბურ გამოცდას აწარმოებენ სხვადასხვა მიზნით. ძრავას სითბურ გამოცდას ძირითადად აწარმოებენ ცალკე კვანძების მუშაობის შემოწმებისათვის, სითბური ბალანსის შედგენისათვის, სათბობის ხედრითი ხარჯის და ბოლოს მარგი ქმედების კოეფიციენტის ვანსაზღვრისათვის.

აღნიშნულის ვარდა, პერიოდულად უნდა ტარდებოდეს ძრავას გამოცდა 350—750 საათის მუშაობის შემდეგ. ცალკე კვანძების მუშაობის წესიერულობისა და ეკონომიურობის დადგენის მიზნით.

ძრავას მონტაჟისა და კაპიტალური რემონტის შემდეგ აუცილებელი პირობაა სითბური გამოცდის ჩატარება. ყოველი გამოცდის შემდეგ მონაცემები უნდა შედარდეს წინა გამოცდის შედეგებს ან ქარხანა-დამამზადებლის მონაცემებს.

ძრავას საერთო გამოცდა ტარდება როგორც სრული, ისე შემოკლებული.

სრული გამოცდის დროს ისაზღვრება ძრავის ყველა გარე მახასიათებელი და დგება სითბური ბალანსი. ძრავას გარე მახასიათებლების განსაზღვრაში შედის: სათბობისა და ზეთის ხარჯის განსაზღვრა, ცალ-ცალკე ცილინდრების მიერ განვითარებულ სიმძლავრეების დადგენა, ე. ი. როგორ ნაწილდება ძრავას სიმძლავრე ცილინდრებზე, მოწმდება ძრავას მუშაობის ტემპერატურული რეჟიმი და იღება ინდიკატორული დიაგრამა სხვადასხვა პარამეტრის განსაზღვრისათვის. იგება აირგანაწილების სპირალური დიაგრამა და სხვ. ძრავას გამოცდა ტარდება სხვადასხვა დატვირთვის დროს; აღებული დატვირთვისათვის გამოცდის ხანგრძლიობა იღება ერთი საათი. შემოკლებული გამოცდის* დროს სითბური ბალანსი არ დგება და ისაზღვრება მხოლოდ გარე მახასიათებლები.

სასწავლო მიზნით ძრავას სითბური გამოცდა ტარდება სრული გამოცდის მსგავსად, მხოლოდ ერთი ვარკვეული დატვირთვისათვის ერთი საათის განმავლობაში, უმეტესად სრული დატვირთვისათვის.

სამზადისი სამუშაოები ძრავას გამოცდისათვის. ძრავას სითბურ გამოცდამდე საჭიროა ჩატარდეს შემდეგი სამზადისი სამუშაოები:

1. წესრიგში მოყვანილი უნდა იქნეს სათბობის ხარჯის განსაზღვრისათვის სათანადო მოწყობილობა, როგორცაა თხევადი სათბობის ავზი სათანადო სკალით, ან სასწორი და აირადი სათბობის გამოყენებისას აირის ხარჯის აღმრიცხველი და სხვ.;

2. უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს ძრავას გამაგრებელი წყლის განსაზღვრა წყალმზომის ან სათანადო სკალიანი წყლის ავზის საშუალებით;

3. შემოწმებული უნდა იქნეს ინდიკატორისა და ტაბომეტრის წესიერულობა (ინდიკატორი დიაგრამის გადაღებისათვის და ტაბომეტრი ძრავას მუხლა ლილვის ბრუნთარიცხვის განსაზღვრისათვის);

4. ფარზე შემოწმებული უნდა იქნეს (ძრავას მიერ ელექტროგენერატორის საშუალებით ენერჯის გამომუშავებისას) ელექტროხელსაწყოები ძრავას დატვირთვის განსაზღვრისათვის;

5. უნდა შემოწმდეს და გამზადდეს აირანალიზატორები ნამწვი აირების ანალიზის ჩასატარებლად;

6. უნდა დაყენდეს თერმომეტრები ძრავას გასაგრძობელი წყლის საწყისი და საბოლოო ტემპერატურების განსაზღვრად;

7. უნდა მოეწყოს თერმოწყვილები ცხელი აირების ტემპერატურის განსაზღვრისათვის;

8. უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს შენობაში ჰაერის ტემპერატურისა და ბარომეტრული წნევის განსაზღვრა.

სითბური ბალანსის შედგენა ძრავას სრული გამოცდის შემთხვევაში

გამოცდის შედეგად დადგენილი მონაცემების ჩაწერას ახდენენ სპეციალური ფორმის ტურნალში და შემდგომ ამ ჩანაწერების საფუძველზე ისაზღვრება სითბური ბალანსის განტოლების მდგენელი სიდიდეები. სითბური ბალანსის განტოლება გამოისახება შემდეგნაირად;

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5, \quad (7-42)$$

სადაც Q კკალ/სთ არის ერთი საათის განმავლობაში ძრავას ცილინდრებში სათბობის წვის შედეგად მიღებული სითბო (რომელიც ისაზღვრება ფორმულით $Q = Q_{\text{წვ}} \cdot B$);

* ძრავას გამოცდის შესახებ იხილეთ „Методическое руководство по лабораторным испытаниям двигателей внутреннего сгорания“, В а ш а к и д з е А. В. издание ТБИИЖТ-а, 1953 г.

Q_1 კვალ/სთ—ძრავაში სასარგებლოდ გამოყენებული სითბო (რომელიც ისაზღვრება ფორმულით $Q_1 = 632 \cdot N_e$);

Q_2 კვალ/სთ—სითბოს დანაკარგი წარმავალი აირებით;

Q_3 კვალ/სთ—სითბოს დანაკარგი ქიმიურად უსრულო წვის გამო;

Q_4 კვალ/სთ—სითბოს დანაკარგი გამაგრილებელი წყლის საშუალებით;

Q_5 კვალ/სთ—სითბოს დანაკარგი გარემომცველ არეში, რომელიც ისაზღვრება სითბური ბალანსის განტოლებიდან

$$Q_5 = Q - (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4).$$

ძრავას შარგი კმედების კოეფიციენტებისა და სათბობის ხედრითი ხარჯის განსაზღვრას აწარმოებენ გამოცდის ეურნალში ჩაწერილი მონაცემებისა და წინამდებარე სახელმძღვანელოს მეშვიდე განყოფილებაში მოყვანილი გასაანგარიშებელი ფორმულების საშუალებით.

გ ე ო მ ხ ა ნ ა ნ ი ლ ი
თბოქალაქური ლანაღბაკები

ბ ა ნ ყ ო ფ ი ლ ბ ა მ ი რ ვ ი

ს ა ს ო უ ლ ო თ ბ ო ქ ა ლ ა უ რ ი ლ ა ნ ა ღ ბ ა კ ე ბ ი ლ ა ს ი თ ბ უ რ ი ე ნ ე რ გ ი ი ს
გ ა მ ო ყ ე ა ნ ე ბ ა ს ო უ ლ ი ს მ ე ა რ ს ნ ო ბ ა უ მ ი

თ ა ვ ი მ — 1

თ ბ ო ე ლ ე ქ ტ რ ო ს ა დ გ უ რ ე ბ ი ს კ ლ ა ს ი ფ ი კ ა ც ი ა

მ — 1. ზ ო მ ა დ ი ც ნ ე ბ ა ნ ი თ ბ ო ე ლ ე ქ ტ რ ო ს ა დ გ უ რ ე ბ ი ს კ ლ ა ს ი ფ ი კ ა ც ი ა ი ს ზ ა ნ ა ნ ე მ

თ ბ ო ე ლ ე ქ ტ რ ო ს ა დ გ უ რ ე ბ ი ე წ ო ლ ე ბ ა ი ს ე თ ტ ე ქ ნ ი კ უ რ ნ ა გ ე ბ ო ბ ე ბ ს, რ ო მ ე ლ -
თ ა ლ ა ნ ი შ ო უ ლ ე ბ ა ა გ ა მ ო ი მ უ შ ა ე ო ს სა თ ბ ო ბ ი ს ქ ი მ ი უ რ ი ე ნ ე რ გ ი ი ლ ა ნ ს ი თ ბ უ რ ი ლ ა ე ლ ე ქ -
ტ რ უ ლ ი ე ნ ე რ გ ი ა.

თ ბ ო ე ლ ე ქ ტ რ ო ს ა დ გ უ რ ე ბ ი ს კ ლ ა ს ი ფ ი კ ა ც ი ა შ ე ს ა ძ ლ ა მ ო ვ ა ზ ნ დ ი ნ ო თ ო თ ხ ი ნ ი შ ნ ი ს მ ი -
ხ ე ლ ვ ი თ :

- 1) ს ი თ ბ უ რ ი ძ რ ა ე ბ ი ს, რ ო მ ლ ე ბ ი ც გ ა მ ო ი ა ე ე ნ ე ბ ა ს ი თ ბ უ რ ი ე ნ ე რ გ ი ი ს მ ე ქ ა ნ ა ე კ უ რ ე ნ ე რ -
გ ი ა დ გ ა რ დ ა ქ მ ნ ი ს ა თ ე ი ს;
- 2) მ ო მ ხ მ ა რ ე ბ ლ ე ბ ზ ე გ ა ც ე მ უ ლ ი ე ნ ე რ გ ი ი ს სა ხ ი ს მ ი ხ ე ლ ვ ი თ;
- 3) მ ო მ ხ მ ა რ ე ბ ე ლ თ ა ხ ა ს ი ა თ ი ს ა და ა დ გ ი ლ მ დ ე ბ ა რ ე ბ ი ს მ ი ხ ე ლ ვ ი თ;
- 4) ო რ თ ქ ლ ი ს სა წ ყ ე ი ს წ ნ ე ვ ი ს მ ი ხ ე ლ ვ ი თ.

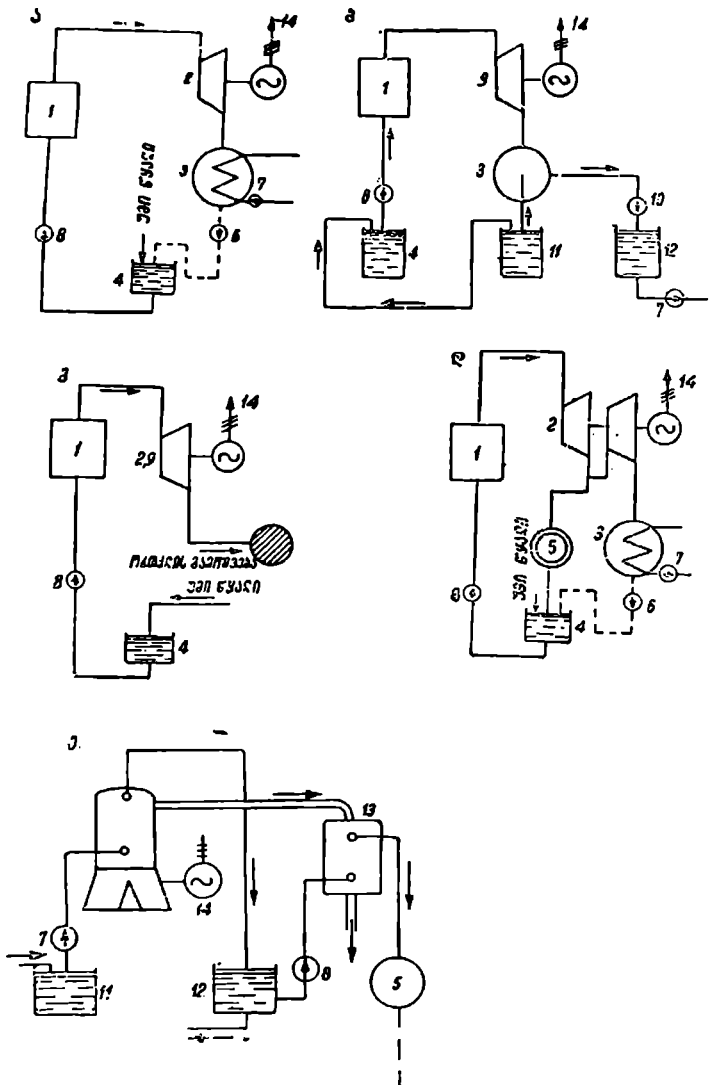
ს ი თ ბ უ რ ი ძ რ ა ე ბ ი ს მ ი ხ ე ლ ვ ი თ, რ ო მ ლ ე ბ ს ა ც ბ რ უ ნ ე თ მ ო ძ რ ა ო ბ ა შ ი მ ო პ ყ ა ე თ
ე ლ ე ქ ტ რ ო გ ე ნ ე რ ა ტ ო რ ე ბ ი ს რ ო ტ ო რ ი, თ ბ ო ე ლ ე ქ ტ რ ო ს ა დ გ უ რ ე ბ ი ი ყ ო ფ ა; სა დ გ უ რ ე ბ ი დ გ უ -
შ ი ა ნ ი ო რ თ ქ ლ ი ს მ ა ნ ქ ა ნ ე ბ ი თ; სა დ გ უ რ ე ბ ი ო რ თ ქ ლ ი ს ტ უ რ ბ ი ნ ე ბ ი თ; სა დ გ უ რ ე ბ ი შ ი გ ა -
წ ვ ი ს ძ რ ა ე ბ ი თ; სა დ გ უ რ ე ბ ი ა ი რ ტ უ რ ბ ი ნ ე ბ ი თ.

მ ო მ ხ მ ა რ ე ბ ლ ე ბ ზ ე გ ა ც ე მ უ ლ ი ე ნ ე რ გ ი ი ს მ ი ხ ე ლ ვ ი თ თ ბ ო ე ლ ე ქ ტ რ ო ს ა დ -
გ უ რ ე ბ ი ი ყ ო ფ ა სა დ გ უ რ ე ბ ა დ, რ ო მ ლ ე ბ ი ც გ ა მ ო ი მ უ შ ა ე ე ბ ე ნ მ ა რ ტ ო ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ე ნ ე რ გ ი ა ს
და სა დ გ უ რ ე ბ ა დ, რ ო მ ლ ე ბ ი ც მ ო მ ხ მ ა რ ე ბ ლ ე ბ ს ა წ ვ დ ი ა ნ რ ო გ ო რ ც ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ, ი ს ე ს ი თ ბ უ რ
ე ნ ე რ გ ი ა ს.

ნ ა კ. მ — 1 ზ ე ნ ა ჩ ე ე ნ ე ბ ი ა თ ბ ო ე ლ ე ქ ტ რ ო ს ა დ გ უ რ ე ბ ი ს პ რ ი ნ ც ი პ უ ლ ი ს ქ ე მ ე ბ ი.

მ ო მ ხ მ ა რ ე ბ ე ლ თ ა ხ ა ს ი ა თ ი ს ა და ა დ გ ი ლ მ დ ე ბ ა რ ე ბ ი ს მ ი ხ ე ლ ვ ი თ
თ ბ ო ე ლ ე ქ ტ რ ო ს ა დ გ უ რ ე ბ ი შ ე ი ძ ლ ე ბ ა და ი ყ ო ს რ ა ი ო ნ უ ლ ი და ა დ გ ი ლ ო ბ რ ი ვ ი მ ნ ი შ ე ნ ე ლ ო ბ ი ს
ს ა დ გ უ რ ე ბ ა დ.

რ ა ი ო ნ უ ლ ი თ ბ ო ე ლ ე ქ ტ რ ო ს ა დ გ უ რ ე ბ ი ი გ ე ბ ა დ ი დ ი ს ი მ ძ ლ ა ე რ ე ვ ე ბ ი ს და გ ა მ ო ი მ უ შ ა -
ვ ე ბ ე ნ მ ა ლ ა ლ ი ძ ა ბ ე ი ს ე ლ ე ქ ტ რ ო ლ ე ნ ს. ა ს ე თ ი რ ა ი ო ნ უ ლ ი სა დ გ უ რ ე ბ ი ხ შ ი რ შ ე მ თ ხ ე ვ ე ა მ



ნაყ. 8—1. თბოელექტროსადგურების პრინციპული სქემები.

ა-თბოელექტროსადგური კონდენსაციური ტურბინით, ბ-თბოელექტროსადგური კონდენსაციური ლოკომობლით, გ-თბოელექტროსადგური ორთქლის ძრავებით, რომლებიც მუშაობენ ნამრევაარი ორთქლის გარემოში გამოშვებით (გამობოლქვით); დ-თბოელექტროსადგური ორთქლის შთაღებური ართბევით, ე-თბოელექტროსადგური შიდაწყის ძრავებით, რომელსაც იყენებენ გამაგრისადაც წყლის და წარჩავალი არევის სითბოს. 1-საქვავებ აგრევატი, 2-ორთქლის ტურბინა, 3-გამაგრის კონდენსატორი, 4-საქვები ავზი, 5-სითბოური ენერჯის მომხარებელი, 6-კონდენსატის ტუმბო, 7-საქვულადაც ტუმბო, 8-ქვევით ტუმბო, 9-ლოკომობლის მანქანა, 10-საქვულაერუვის ტუმბო, 11-კვიტი წყლის ავზი, 12-სტელი წყლის ავზი, 13-ქვავ-უტილიზატორი, რომელიც მუშაობს წარჩავალი აირებზე, 14-მლაქტროგენერატორი. შევებითი ნაბიჯი ნაჩვენებია კონდენსატის დაბრუნება სა-ქვავებ აგრევატის საქვებ სისტემაში.

ქმნიან ენერგოსისტემას. რაიონულ ელექტროსადგურებს უმეტეს შემთხვევაში აგებდნენ სათბობის საბადოების მახლობლად. ამჟამად სსკ-ში ბუნებრივი აირის დიდი მარაგის აღმოჩენა და სხვა სახის სათბობებთან შედარებით დიდ მანძილზე მისი ადვილი ტრანსპორტირება სათბობის საბადოებიდან დაშორებით სადგურების აგების საშუალებას იძლევა.

ადგილობრივი მნიშვნელობის თბოელექტროსადგურებს მიეკუთვნება სამრეწველო და კომუნალური სადგურები. სამრეწველო თბოსადგურები ენერგიით ამარაგებენ ცალკეულ საწარმოო ობიექტებს და შედიან ამ საწარმოში, როგორც ერთ ერთი საამქრო.

კომუნალური თბოსადგურები იძულებიან ქალაქების მშრომელთა დეპუტატების საბჭოების გაზეგებლობაში და ამარაგებენ ენერგიით სამრეწველო საწარმოებს და; აგრეთვე, აკმაყოფილებენ ქალაქის მცხოვრებლების კომუნალურ და საყოფაცხოვრებო მოთხოვნილებებს.

რაც შეეხება საკოლმეურნეო სოფელს, მის ელექტრიფიკაციის საფუძველს, როგორც აღნიშნული იყო, წარმოადგენს რაიონული და სამრეწველო ელექტროსადგურების სიახლოვე და, აგრეთვე, მცირე სიმძლავრის საკოლმეურნეო ჰიდროელექტრო- და თბოელექტროსადგურები.

1955 წლის მონაცემებით სოფლის მეურნეობაში გამოყენებული ელექტროენერჯის დაახლოებით 30% მიიღება რაიონული და სამრეწველო მნიშვნელობის ელექტროსადგურებიდან, 15% მიიღება საკოლმეურნეო ჰიდროელექტროსადგურებიდან, ბოლო 55% კი საკოლმეურნეო თბოელექტროსადგურებიდან.

აღნიშნული კლასიფიკაციის გარდა, თბოელექტროსადგურები საკოლმეურნეო სოფლისათვის იყოფა ორ ჯგუფად: სტაციონარული და გადასადგილებელი.

სოფლის სტაციონარულ თბოელექტროსადგურებში შეიძლება გამოყენებულ იქნეს შედარებით მცირე სიმძლავრეების სტაციონარული ორთქლის მანქანები, ორთქლის ტურბინები, აირტურბინები, სტაციონარული შიგაწვის ძრავები და სტაციონარული ლოკომობილები.

გადასადგილებელი თბოელექტროსადგურები შეიძლება მოეწყოს ლოკომობილების П-25, П-38, П-75 და სოფლის მეურნეობის მსუბუქი ორთქლძალური დანადგარების ППУ-1-ის ბაზაზე.

ორთქლის საწყისი წნევის მიხედვით თბოელექტროსადგურები შეიძლება დაიყოს:

- ა) დაბალი წნევის ელექტროსადგურებად (20 ატა მდე);
- ბ) საშუალო წნევის ელექტროსადგურებად (40 ატა-მდე);
- გ) მაღალი წნევის ელექტროსადგურებად (120 ატა-მდე);
- დ) ზემალაღი წნევის ელექტროსადგურებად (120—225 ატა);
- ე) ზეკრიტიკული წნევის ელექტროსადგურებად, ე. ი. 225 ატა-ზე მეტი წნევით მომუშავე ელექტროსადგურებად.

შეგნიშნავთ, რომ ფ. ძერენისკის სახ. სრულიად საკავშირო თბოტექნიკური ინსტიტუტის თბოელექტროცენტრალში ექსპლოატაციაში იმყოფება სავტსპერიმენტო ორთქლს ქვაბი წნევით 300 ატპ.

8-2. ორთქლისა და შიგაწვის ძრავებიანი თბოელექტროსადგურების შედარებითი შეფასება

ორთქლის ძრავებსა და შიგაწვის ძრავებს შორის პრინციპული განსხვავება მდგომარეობს იმაში, რომ ორთქლის ძრავებისათვის წინასწარ მიღებული უნდა იქნეს მუშა 31. ზოგადი თბოტექნიკა.

სხეული—ორთქლი, რომლის მიღება დაკავშირებულია დიდი გაბარიტული ზომის საქვაბე აგრეგატის არსებობის აუცილებლობასთან.

შიგაწვის ძრავებში კი სათბობის ქიმიური ენერჯის გარდაქმნა სითბურ ენერჯიად ხორციელდება უშუალოდ ძრავების მუშა ცილინდრებში. აღნიშნული პრინციპული სხვაობა სათბობის ენერჯის გამოყენების სქემაში აპირობებს შიგაწვის ძრავების ელექტროსადგურების მოწყობილობათა სქემების სიმარტივეს ორთქლის ძრავებიან სადგურებთან შედარებით.

შიგაწვის ძრავებიანი ელექტროსადგურების როგორც მშენებლობა, ისე მონტაჟი სრულდება შედარებით მოკლე დროში. 1500—2000 კვტ სიმძლავრემდე შიგაწვის ძრავებიანი სადგურების ღირებულება დაყენებული სიმძლავრის ერთეულზე, ორთქლის ძრავებიან სადგურებთან შედარებით, ნაკლები ჯდება.

მომსახურების მხრივ შიგაწვის ძრავებიანი სადგურები უფრო მარტივია (განსაკუთრებით თუ მუშაობენ თხევადი და ბუნებრივი აირადი სათბობით). აღნიშნულის გარდა, შიგაწვის ძრავების მარტივ კმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობა, ორთქლის ძრავებთან შედარებით, უფრო მაღალია და სხვ.

აღსანიშნავია, რომ ელექტროსადგურები, რომლებიც მუშაობენ აირგენერატორებით, ძრავების ზოგიერთ ამ დადებით მხარეს მოკლებულია. შიგაწვის ძრავების ნაკლოვან მხარეთა შორის აღსანიშნავია გადატვირთვით მუშაობის მათი ნაკლები უნარი შედარებით ორთქლის ძრავებთან.

მიუხედავად ზემოაღნიშნულისა, საკოლმეურნეო სოფლის თბოელექტროსადგურებში უმთავრესად იყენებენ სათბოფიკაციო ორთქლძალურ დანადგარებს. უკანასკნელი პირობადგებულია იმით, რომ საკოლმეურნეო სოფელს, ელექტროენერჯის გარდა, სჭირდება სითბური ენერჯია ცხელი წყლისა და ორთქლის სახით.

სითბური ენერჯიით საკოლმეურნეო სოფლის დაქმყოფილებისათვის, გარდა საკოლმეურნეო და საბჭოთა მეურნეობების თბოფიკაციური დანადგარებისა, გამოყენებული უნდა იქნეს ახლო მდებარე სახელმწიფო რაიონული და სამრეწველო თბოელექტროცენტრალები და, აგრეთვე, მრეწველობის ნარჩენი სითბო.

ზოგიერთ შემთხვევაში ადგილობრივი პირობებიდან გამომდინარე სითბური ენერჯის მისაღებად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მცირე ორთქლმწარმოებლობის ორთქლის ქვაბები და ჰელიოდანადგარები.

თ ა 3 0 8—2.

სითბური და ელექტრული ენერჯიის კომბინირებული წარმოება და ზოგადი ცნებანი სხვადასხვა ტიპის თბოელექტროსადგურების მუშაობის შესახებ

8—3. სითბური ენერჯიის მოხმარებაში სოფლის მეურნეობაში

საკოლმეურნეო სოფელს ელექტროენერჯის გარდა, როგორც აღნიშნული იყო; სჭირდება სითბური ენერჯია ცხელი წყლისა და ორთქლის სახით არა მარტო საყოფაცხოვრებო მომსახურებისათვის, როგორცაა სამრეცხაო, აბანო და საზოგადოებრივ ნაგებობათა გათბობა და სხვ., არამედ აგრეთვე სოფლის მეურნეობის წარმოების კომპლექსური მექანიზაციისათვის. საბჭოთა მეურნეობები და კოლმეურნეობები სითბურ ენერჯიას იყენებენ მეცხოველეობის ფერმებში უხეში საკვების დამუშავებისათვის, რძისა და ღვინის პასტერიზაციისათვის, კურჭლის გარეცხვისათვის, სოფლის მეურნეობის პრო-

დუქტთა ხელოვნური შრობისათვის, სათბურებისა და კვლასათბურების ტექნიკური გათბობისათვის და სხვ.

საპროექტო გაანგარიშებების დროს სითბური ენერჯიის ხარჯი, ცხელი წყლისა და ორთქლის სახით, ისაზღვრება არსებული ნორმების მიხედვით, რომლებიც მოცემულია სპეციალურ საცნობარო ლიტერატურაში. სოფლის მეურნეობის მოთხოვნა სითბურ ენერჯიაზე ხასიათდება დიდი ცვალებადობით როგორც დღე-ღამის, ისე წლის განმავლობაში. განსაკუთრებით შემცირებულია სითბური ენერჯიის ხარჯი ზაფხულის პერიოდში სოფლის საზოგადოებრივ შენობათა, სათბურებისა და კვლასათბურების გათბობის შეწყვეტის გამო.

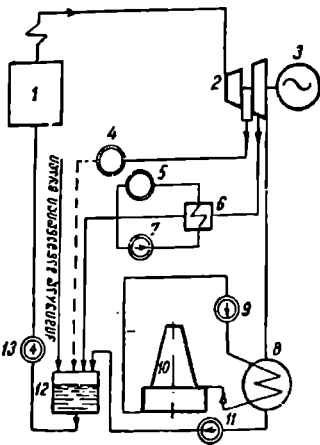
8-4. სითბური და ელექტრული ენერჯიის კომბინირებულად გამოყენებაზელი თბოელექტროსადგური

თბოელექტროსადგურს, რომელიც გამოიმუშავებს და მიაწვდის მომხმარებლებს სითბურსა და ელექტრულ ენერჯიას, უწოდებენ თბოელექტროცენტრალს ანუ „თეც“-ს. ასეთ შემთხვევაში სითბოს შემცველად გამოიყენება ორთქლის ტურბინის საფეხურებიდან ართმეული ორთქლი 3—12 ატა წნევით და სათანადო წნევიანი ცხელი წყალი 105—150 °C ტემპერატურით. ნაკ. 8—2-ზე ნაჩვენებია სითბური და ელექტრული ენერჯიების კომბინირებულად გამოიმუშავებელი თბოელექტროსადგურის პრინციპული სქემა.

საერთოდ ორთქლის ტურბინის საფეხურებიდან არ ართმეული ორთქლი გამოიყენება სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგში ტექნოლოგიური მიზნებისათვის; ამ შემთხვევაში ორთქლის მოთხოვნილი წნევა არ აღემატება 10 ატა წნევას. ამიტომ ტურბინებში, რომლებიც მზადდება ჩვენს ქარხნების მიერ, საფეხურებიდან ართმეული ორთქლის წნევა იღება: 1,2; 5; 7 და 10 ატა.

ნაკ. 8—2-ზე განხილული სქემა ხასიათდება იმით, რომ ტურბინის საფეხურიდან ართმეული თითოეული კილოგრამი ორთქლის სითბო ნაწილობრივად გამოიყენება ელექტროენერჯიის გამოიმუშავებისათვის, ხოლო დანარჩენი ნაწილი კი მომხმარებლებსათვის ორთქლისა და ცხელი წყლის სახით. მომხმარებელთა სითბური ენერჯიით ცენტრალიზებულად მომარაგებას სითბურ ძრავებში ნამუშევარი მუშა სხეულის სითბოთი ეწოდება თ ბ ო ფ ი კ ა ც ი ა (გათბიერება).

შეინიშნავთ, რომ თბოელექტროსადგურებს, რომლებიც მომხმარებლებს ამარაგებენ (უშუალოდ ორთქლის ქვაბებიდან) უბმარი ორთქლით არ შეიძლება ეწოდოს სათბოფიკაციო, ვინაიდან ასეთ შემთხვევაში არაა გამოყენებული თბოფიკაციის ძირითადი პრინციპი—ნამუშევარი ორთქლის სითბოს გამოყენება.



ნაკ. 8—2. სითბური და ელექტრული ენერჯიის კომბინირებულად გამოიმუშავებელი თბოელექტროსადგურის პრინციპული სქემა.

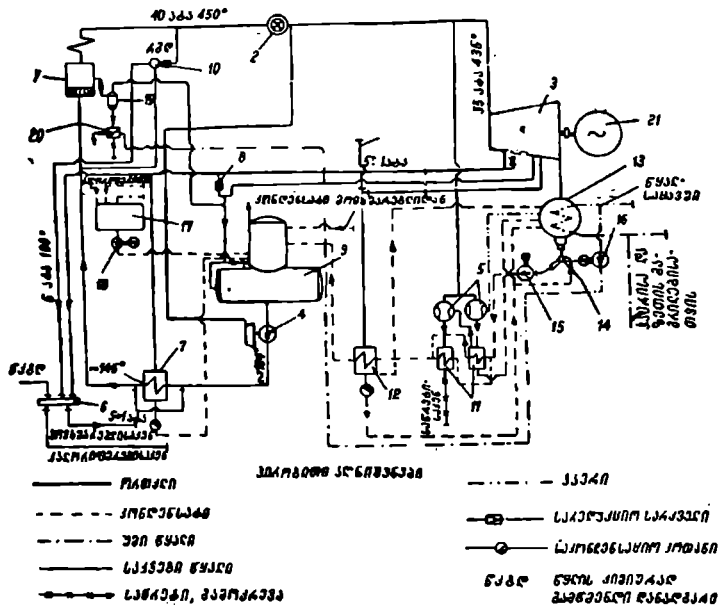
1-ორთქლის ქვაბი, 2-ორთქლის ტურბინა, 3-ელექტრული გენერატორი, 4-ორთქლის მიხმარებელი, 5-ცხელი წყლის მოხმარებელი, 6-ქვილის წლის შემოხმარ, 7-ქვილის ტუბი, 8-თბოენერჯიის, 9-საბოლოო წყლის ტუბი, 10-სხეულისკარი, 11-ქვილისწავის ტუბი, 12-საბოლოო წყლის ავზი, 13-საბოლოო ტუბი.

8-5. ორთქლის ტურბინიანი თბოელექტროსადგურის პრინციპული სითბური სქემა

ნაკ. 8-3-ზე ნაჩვენებია 750 კვტ სიმძლავრის ტიპური ორთქლის ტურბინიანი თბოელექტროსადგურის პრინციპული სითბური სქემა.

საერთოდ სსრკ-ში თბოელექტროსადგურებისათვის ტურბინების მშენებელი ქარხნებში ორთქლის ტურბინებს აგებენ მინიმალური სიმძლავრით 750 კვტ.

ნაკ. 8-3-ზე ნაჩვენებ თბოელექტროსადგურის პრინციპულ სქემაში ჩართულია ორთქლის ტურბინა სიმძლავრით 750 კვტ. საქებაზე აგრეგატიდან (1) ორთქლი წნევით 40 ატა და გადახურების ტემპერატურით 450 °C წყალსაცლელის (2) გავლით მიეწოდება ორთქლის ტურბინას (3). ორთქლის ნაწილი წყალსაცლელის შემდეგ მიეწოდება ორთქლის მყვებზე ტუმბოს (4) და, აგრეთვე, ეექტორს (5). ორთქლის ტურბინაში (3) შეს-



ნაკ. 8-3. 750 კვტ სიმძლავრის ტიპური ორთქლტურბინიანი თბოელექტროსადგურის პრინციპული სითბური სქემა.

1-საქებაზე აგრეგატი, 2-წყალსაცლელი, 3-ორთქლის ტურბინა, 4-ორთქლის მყვებზე ტუმბო, 5-ორთქლის ეექტორი, 6-კოლექტორი, 7-მალალი წნევის შემობოძი, 8-დეაერატორი, 9-რეგულაციულ-გამაყვებელი დანადგარი, 10-დეაერატორული შემობოძი; 11-დეაერატორული შემობოძი; 12-მალალი წნევის შემობოძი, 13-ორთქლის ტუმბო, 14-წყალგაწველი ეექტორი, 15-ორთქლის ტუმბო, 16-უპი წყლის მყვებზე ტუმბო, 17-გისუფლებული წმინდა წყლის შეყვანი აუზი, 18-წყლის გადასატუმბავი ტუმბო, 19-დეაერატორი, 20-წყლის წყლით შემობოძი; 21-ელექტროგენერატორი.

ვლისას ორთქლის სანაგარიშო პარამეტრებია 35 ატა და 435°C. ტურბინის საფეხურებიდან ართმეული ორთქლის ნაწილი მიეწოდება სითბოს მომხმარებლებს, ნაწილი ზოგიერთ შემთხვევაში გამოიყენება საკვები წყლის რეგენერაციული შეთბობისათვის.

ასეთი ტიპის ტურბინებში ართმეული ორთქლის წნევის რეგულირება ხორციელდება 5 ± 1 ატა ფარგლებში. ტურბინიდან ართმეული ასეთი წნევის ორთქლი მიეწოდება კოლექტორში (6) და, აგრეთვე, მალალი წნევის რეგენერაციულ შემობოძიში

(7). ელექტროსადგურის სითბურ სქემაში ჩართულია მაღალი წნევის რეგენერაციული შემთბობი, მაგრამ სქემა საშუალებას იძლევა მისი გამორთვისა შემოსაყლები ხაზის გამოყენებით. მაქსიმალური თბოფიციაციისა და მისი მახლობელი რეგიონის დროს ართმეული ორთქლი რედუქტორის (8) გავლით მიეწოდება დეაერატორში (9). ელექტრონიდან (6) ორთქლი 5 ± 1 ატა წნევით მიეწოდება მომხმარებელს და, აგრეთვე, წყლის ქიმიურად გაწმენდის სისტემაში. ორთქლის ნაწილი მიეწოდება სანიტარულ-ტექნიკური მოთხოვნილებებისათვის და კალორიდურებში, რომლებშიაც ადგილი აქვს საცეცხლეში წვისათვის საჭირო პაერის შეთბობას.

5 ± 1 ატა წნევის ორთქლის სარეზერვო ართმევისათვის სადგურში იღვმება ავტომატური რედუქციულ გამაცივებელი დანადგარი (აბღ), რომელსაც მიეწოდება ორთქლი ქვაბიდან $35-40$ ატა წნევით. აბღ-დან ორთქლი 5 ± 1 ატა წნევით და -190°C ტემპერატურით მიეწოდება კოლექტორში (6). საკვები წყლის რეგენერაციულ სისტემაში, მაღალი წნევის შემთბობის გარდა, შედის ემექტორის (5) ორსაფეხურიანი შემთბობები (11), დაბალი წნევის შემთბობი (12) და დეაერატორი (9). დაბალი წნევის შემთბობი და დეაერატორი მიერთებულია ქვაბის მხრიდან დაბალი და საშუალო წნევების არარეგულირებული ართმევის ადგილებთან.

კონდენსაციური რეგიონის ნომინალური სიმძლავრის დროს ართმეული ორთქლის წნევა იღება $0,5$ და $1,8$ ატა. ორთქლის ტურბინიდან გამოსული ნამუშევარი ორთქლი მიეწოდება ზედამირულ კონდენსატორში (13). ზედამირული კონდენსატორის დაზიანების შემთხვევაში კათოდისწინებული ნამუშევარი ორთქლის გაშვება ატმოსფერულ პაერში. კონდენსატორიდან (13) გამომდინებული კონდენსატი წყალპაველური ემექტორის (14) და ტუმბოს (15) საშუალებით მიეწოდება ემექტორების (5) ორსაფეხურიან შემთბობებში, შემდგომ დაბალი წნევის შემთბობში (12) ან დეაერატორში (9). ქიმიურად გამწმენდი დანადგარიდან გაწმენდილი წყალი მიეწოდება ავზში (17), რომელშიც აგრეთვე მიეწოდება ცხელი წყალი სარეტი შემკრები სისტემიდან. ავზიდან (17) ქიმიურად გაწმენდილი წყლისა და საწრეტი სისტემიდან ჩამოდენილი ცხელი წყლის ნარევი ტუმბოთი (18) მიეწოდება დეაერატორში, სადაც ნარევი შეერევა კონდენსატს. კონდენსატი დეაერატორში მიეწოდება დაბალი წნევის შემთბობიდან და, აგრეთვე, სითბოს მომხმარებლების სისტემიდან.

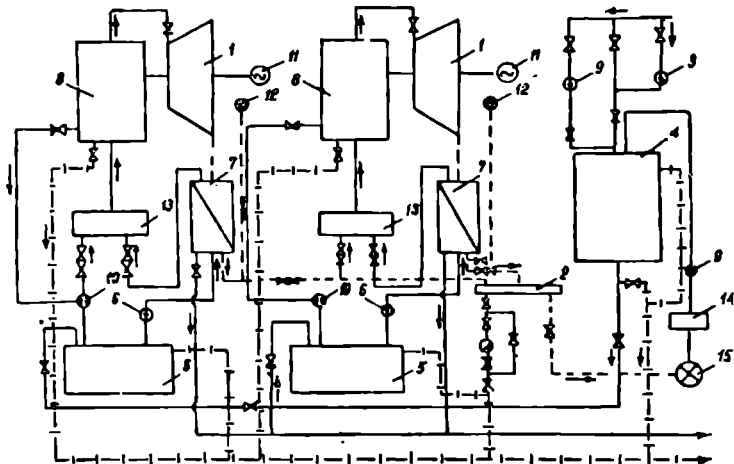
დეაერაციის შემდეგ საკვები წყალი ორთქლის მკვებავი ტუმბოთი, მაღალი წნევის შემთბობის გავლით მიეწოდება ორთქლის ქვაბში.

8-6. ლოკომოტივთაში (გადასაადგილებელი-ი ტიპის ლოკომოტივებში) თბოაღმართოსადგურის პრინციპული სითბური სქემა

სოფლის თბოელექტროსადგურებში, როგორც თბოძალური დანადგარები, დიდ გამოყენებას პოულობს როგორც სტაციონარული, ისე გადასადგილებელი ლოკომოტივები. ნაქ. 8-4-ზე ნაჩვენებია გადასადგილებელი П-75 ტიპის ორლოკომობილიანი თბოელექტროსადგურის სითბური სქემა. ასეთი თბოელექტროსადგურების სითბური სქემები, სტაციონარული ლოკომოტივთაში თბოელექტროსადგურების სითბურ სქემებთან შედარებით, გამარტივებულია. თბოელექტროსადგურის სითბური სქემიდან ამოღებულია კონდენსატორი სველპაეროვანი ტუმბოთი, კონდენსატორული დანადგარის ცხელი და ცივი წყლის ავზები, ზეფსაცივარი და სხვა დამხმარე მოწყობილობანი. კვამლის აირები ორთქლგადამხურების გავლის შემდეგ განიდევნებიან ატმოსფერულ პაერში. თბოსადგურის სითბური სქემიდან აგრეთვე ამოღებულია საკვები წყლის მოსაძამებელი (გამწმენდი) მოწყობილობა. უხმარი ორთქლი ორთქლის ქვაბებიდან მიეწოდება ლოკომოტივის ორთქლის მანქანის ცილინდრში, სადაც ის ფართოვდება $1,1-1,2$ ატა წნევამდე. იმ შემთხვევაში, თუ საჭიროა ნამუშევარი ორთქლის გამოყენება სითბოს მომხმარებლების მიერ, შეიძლება მიღებულ ბუნებრივ ნამუშევარი ორთქლი წნევით არაუმეტეს $1,4$ ატა. ორთქლის მანქანიდან (1) ნამუშევარი ორთქლი ინდივიდუალური ზედამირული შემთბობის გავლით მიეწოდება საკვამლე მილში, საიდანაც განიდევნება ატმოსფერულ პაერში. ნამუშევარი

ორთქლის ნაწილი ინდივიდუალური შემთბობიდან მიეწოდება შემკრებ კოლექტორში (2) სადგურის სანიტარულ-საყოფაცხოვრებო საჭიროებისათვის, გათბობის მიზნებისათვის და სხვ.

ლოკომობილების საკვები წყალი წყალსადენიდან ან ტუმბოთი (3) სარეზერვო ავზიდან (4) მიეწოდება ინდივიდუალურ საკვებ ავზებში (5). საკვები ავზებიდან (5) წყალი ყვინთა ტუმბოებით (6) მიეწოდება შემთბობებში, სადაც წყალი ნამუშევარი ორთქ-



ნაკ. 8-4. 11-75 ტიპის ორლოკომობილიანი თბოელექტროსადგურის პრინციპული სითბური სქემა.

1-ორქლის მანქანები, 2-შეკრები კოლექტორი, 3-ტუმბო, 4-სარეზერვო ავზები წყლისათვის, 5-მკვებავი ავზები, 6-ყვინთა ტუმბოები, 7-საკვები წყლის შეშობაები (ავთომობილები), 8-ორთქლის ქვაბები, 9-საიტარულო ტუმბო, 10-წვეტორები, 11-ელემენტარული რადიოები, 12-ნამუშევარი ორთქლის გამოსაბოლოო მილები, 13-საკვები წყლის შეშობა, 14-დახრეხებული კომდესატის ავზები, 15-სითბოს მომხმარებლები.

ლით თბება 80°C-მდე და იმავე ტუმბოთი მიეწოდება ორთქლის ქვაბში (8). ლოკომობილებში სარეზერვო მკვებავ ტუმბოებზე გამოყენებულია ინექტორები, რომლებითაც სარგებლობენ ორთქლის მანქანების გამართვის პერიოდში. ინექტორების მუშაობისათვის გამოიყენება ტენიანი ნაჯერი ორთქლი. ამ სქემის მთელი მოწყობილობა მზადდება და იგზავნება ლოკომობილების დამამზადებელი ქარხნების მიერ. სტაციონარული და გადასადგილებელი ლოკომობილები შეიძლება გამოყენებულ იქნენ, როგორც სათოფიკაციო დანადგარები საერთოდ და, კერძოდ; სოფლის მეურნეობაში.

თ ა ვ ი 8-3.

სოფლის მეურნეობის თბოეკონომიის ზოგადი საკითხი

თანამედროვე კოლმეურნეობები და საბჭოთა მეურნეობები თავისი მალალგანვითარებული სასოფლო-სამეურნეო წარმოებით წარმოადგენენ ელექტრული ენერჯისა და, აგრეთვე, სითბური ენერჯის მსხვილ მომხმარებლებს. როგორც წინა თავებში იყო აღნიშნული, სითბური ენერჯია საჭიროა მეცხოველეობის ფერმებში უხეში საკვების დაწმენვისათვის, რძის პასტერიზაციისათვის, ჭურჭლის გარეცხვისათვის, სათბურებისა და კვლასათბურების ტექნიკური გათბობისათვის, სასოფლო-სამეურნეო პროდუქტების გადამუშავების ტექნოლოგიური პროცესისათვის და ხელოვნური გაშრობისათვის, საზოგადოებრივ ნაგებობათა გათბობისათვის, სამრეცხაობის, აბანოების და სხვ. საყოფაცხოვრებო საჭიროებისათვის.

სოფლის მეურნეობის სითბური ენერჯით მომარაგება შეიძლება განხორციელებულ იქნეს სხვადასხვა ხერხით. სითბური ენერჯის მომხმარებლებს სითბური ენერჯია შეუძლიათ მიიღონ კოლმეურნეობებისა და საბჭოთა მეურნეობების სათბოეკაციო ორთქ-

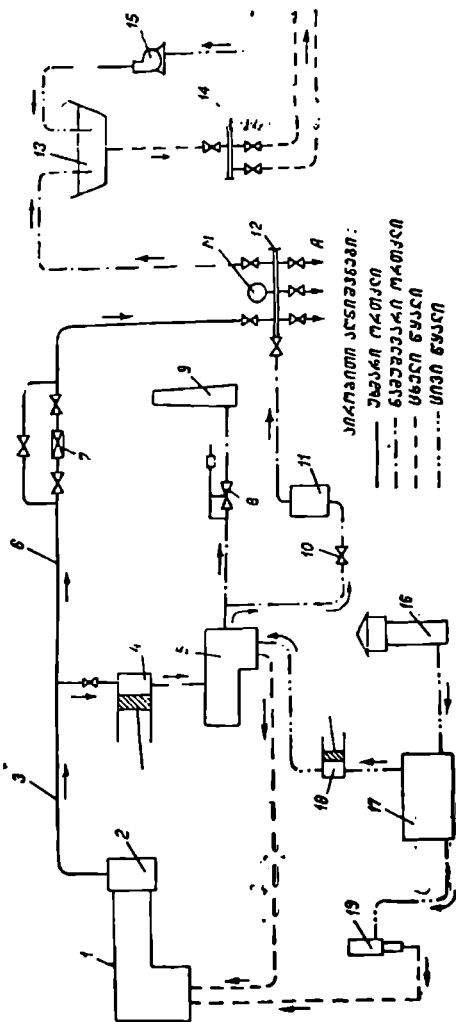
ძალური დანადგარებიდან, ახლო მდებარე თბოელექტროცენტრალებიდან, ბიოთერ-
მული და ჰელიო-ბიოთერმული წყალსატობი დანადგარებიდან, სპეციალურად ამ მიზნე-
ბისათვის დადგმული წყლისა და ორთქლის ქვაბებიდან. ზოგიერთ შემთხვევაში შესაძ-
ლებელი ხდება სოფლის მეურნეობის საჭიროებისათვის გამოყენებულ იქნეს ახლო მდე-
ბარე წარმოებების ნარჩენი სითბო და ბუნებრივი ცხელი წყლების სითბური ენერჯია.

სოფლის მეურნეობის სითბური ენერჯიით მომარა-
გების საკითხი მუდროდ არის დაკავშირებული სოფ-
ლის მეურნეობის წარმოების კომპლექსური მექანიზაციის საკითხებთან. სოფლის მეურ-
ნეობის წარმოების კომპლექ-
სური მექანიზაციის დანერ-
გვა მოითხოვს, როგორც მე-
ქანიკური და ელექტრული ენერჯიების გამოყენებას, ავ-
რთვე სითბური ენერჯიის გამოყენებასაც. ამიტომ, თუ რის ბაზაზე უნდა მოხდეს სოფლის პირობებში სით-
ბური ენერჯიით მომხმარე-
ბელთა დაკმაყოფილება, უნ-
და გადაწყდეს ცალკეულ შემ-
თხვევებში.

8-7. ლოკომობილური ხაზოვითი ტარმდ-
ბაროსადგარიდან სითბური ენერჯიის გამოყენების სქემა

ნაკ. 8-5-ზე ნაჩვენე-
ბია სოფლის პირობებისათვის სათბოთიკაციო თბო-
ელექტროსადგურიდან სით-
ბური ენერჯიის გამოყენების სქემა, როდესაც თბოძალური დანადგარად გამოყენებულია სასოფლო-სამეურნეო ვად-
საადგილებელი ლოკომობი-
ლი П-75.

ორთქლის ქვაბიდან (1) ორთქლი მიეწოდება ორ-
თქლგადამხურებელს, სადაც გადახურდება რა 280 —
— 330°C ტემპერატურამდე, ორთქლსადენით (3) შედის ორთქლის მანქანაში (4). ორთქლის მანქანის მუშა ცილინ-
დრიდან გამოსული ნამუშევარი ორთქლი შედის საკვები წყლის ზედაპირულ შემთბობში, რომელიც თვით ლოკომობილზე დაყენებული. საკვები წყლის ზედაპირულ შემთბობში (5) ნამუშევარი ორთქლის ხარჯზე ხდება საკვები წყლის შეთბობა 80°C ტემპერატურამდე.



ნაკ. 8-5. ლოკომობილური ხაზოვითი ტარმდ-ბაროსადგურიდან სითბური ენერჯიის გამოყენების სქემა. 1-ორთქლის ქვაბი, 2-ორთქლის მანქანის ცილინდრი, 3-ორთქლის მანქანის ცილინდრიდან გამოსული ორთქლის მანქანის ცილინდრი, 4-ორთქლის მანქანის ცილინდრიდან გამოსული ორთქლის მანქანის ცილინდრი, 5-ორთქლის მანქანის ცილინდრიდან გამოსული ორთქლის მანქანის ცილინდრი, 6-ორთქლის მანქანის ცილინდრიდან გამოსული ორთქლის მანქანის ცილინდრი, 7-ორთქლის მანქანის ცილინდრიდან გამოსული ორთქლის მანქანის ცილინდრი, 8-ორთქლის მანქანის ცილინდრიდან გამოსული ორთქლის მანქანის ცილინდრი, 9-ორთქლის მანქანის ცილინდრიდან გამოსული ორთქლის მანქანის ცილინდრი, 10-ორთქლის მანქანის ცილინდრიდან გამოსული ორთქლის მანქანის ცილინდრი, 11-ორთქლის მანქანის ცილინდრიდან გამოსული ორთქლის მანქანის ცილინდრი, 12-ორთქლის მანქანის ცილინდრიდან გამოსული ორთქლის მანქანის ცილინდრი, 13-ორთქლის მანქანის ცილინდრიდან გამოსული ორთქლის მანქანის ცილინდრი.

საკვები წყლის შემთბობიდან (5) ნამუშევარი ორთქლი შებრუნებულ საჩქველის (10) გაგლით მიეწოდება ზეთგამოყოფით (11) და შემდგომ ორთქლგანმანაწილებელში (12). უკანასკნელშია ორთქლი მიღებული მიეწოდება მომხმარებლებს. ერთ-ერთი მილის საშუალებით, რომელიც გამოდის ორთქლგანმანაწილებლიდან (12), ნამუშევარი ორთქლი მიეწოდება ცხელი წყლის დამწვევ ავზში (13), სადაც ის წყალს ათბობს 95—98 °C ტემპერატურამდე. ავზში (13) შემთბარი ცხელი წყალი თვითინებით მიეწოდება ცხელი წყლის განმანაწილებელში (14), სანიდანაც ცხელი წყალი მიღების საშუალებით მიედინება მომხმარებლებისაკენ.

სითბური ენერჯის მომხმარებელთა ცხელი წყლით უზრუნველსაყოფად თბოელექტროსადგურის სითბურ სქემაში გათვალისწინებულია საციკრულაციო ტუმბოს (15) დაყენება, რომლითაც ხორციელდება ცხელი წყლის ცირკულაცია. გათვალისწინებულია სითბური ენერჯის მომხმარებლიდან ვაკუუმული წყლის დაბრუნება ცხელი წყლის ავზში ხელშეორედ გასაცხელებლად, რათა სითბოს მომხმარებელი განუწყვეტილად მარაგდებოდეს ცხელი წყლით.

ლოკომობილის ორთქლის ქვაბის საკვები წყალი, წყალსატუმბაიდან (16) მიეწოდება საკვები წყლის ავზში (17). საკვები წყალი ავზიდან (17) ყვინთა ტუმბოთი (18) მიეწოდება ორთქლის ქვაბს (1) წყლის შემთბობში (5) გაყვით. ინექტორი (19) წარმოადგენს ორთქლის ქვაბის საკვები წყლით მკვებავ დამატებით (სარეგულირებო) ტუმბოს, რომელიც საკვებ წყალს ქვაბში აწვდის წყლის შემთბობში (5) გაუტარებლად.

სათბოფიკაციო ქსელი უხმარი ორთქლის ორთქლსადენთან (6) მიერთებულია სარელექციო საჩქველის (7) საშუალებით; უკანასკნელი საშუალებას იძლევა ორთქლის ქვაბიდან ორთქლი უშუალოდ ავტომატურად შევიდეს სათბოფიკაციო ქსელში. როდესაც სითბოს მომხმარებლისათვის ნამუშევარი ორთქლი აღარ იქნება საკმარისი, წნევა სათბოფიკაციო ქსელში დაეცემა და სარელექციო საჩქველი (7) ორთქლის ქვაბიდან უხმარ ორთქლს ავტომატურად შეუშვებს სათბოფიკაციო ქსელში. შებრუნებული სარქველის (10) არსებობით თვიდან აცილებულია სათბოფიკაციო ქსელიდან ორთქლის დაბრუნება ორთქლის მანქანაში.

სათბოფიკაციო ქსელის მიერთება უხმარი ორთქლის ორთქლსადენთან აგრეთვე უზრუნველყოფს სითბოს მომხმარებელთა უხმარი ორთქლით მომარაგებას იმ პერიოდში, როდესაც ორთქლის მანქანა არ მუშაობს და შეწყვეტილია ელექტრული ენერჯის გამოუმუშავება. ასეთ შემთხვევაში ლოკომობილის ქვაბი ასრულებს ცენტრალური საქვაბეს დანიშნულებას, ე. ი. გამოიმუშავებს მხოლოდ სითბურ ენერჯიას ორთქლისა და ცხელი წყლის სახით. როდესაც ნამუშევარ ორთქლზე მოთხოვნილება სათბოფიკაციო მიზნით ნაკლებია ორთქლზე, რომელიც საჭიროა ელექტრული ენერჯის გამოსაუმუშავებლად, მაშინ მოქმედებაში მოდის სხვა მოწყობილობა; და სათბოფიკაციო ქსელი სპეციალური მილაგაყვანილობით, რომელზედაც დაყენებულია დამცველი საჩქველი (8) მიერთებულია საკვამლე მილზე (9). როდესაც დიდი რაოდენობით მიიღება ნამუშევარი ორთქლი (ელექტრული ენერჯის გადიდებული გამოუმუშავებისას) და სათბოფიკაციო ქსელში წნევა გადიდდება, მაშინ გაიღება დამცველი საჩქველი (8) და ნამუშევარი ორთქლი განიღმებება საკვამლე მილსა და შემდეგ ატმოსფეროში.

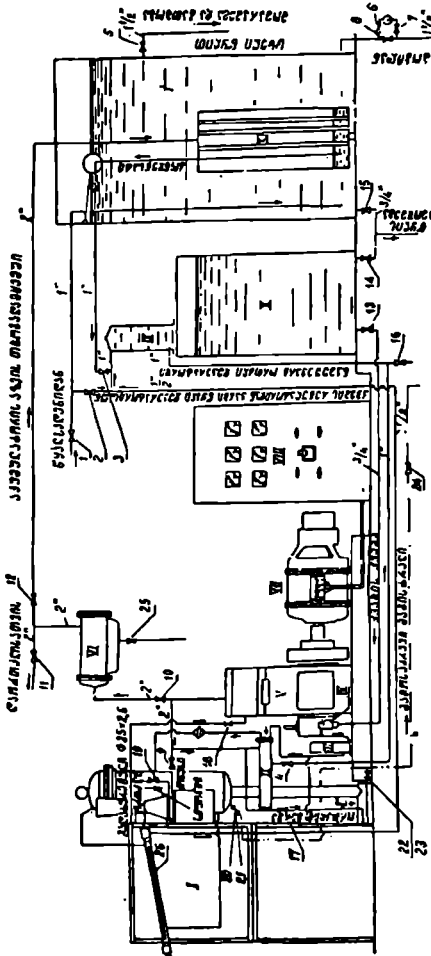
8-8. II-Y-1. ორთქლქალური დანადგარიანი სათბოფიკაციო თბოელექტრო-ხადგარიდან სითბური ენერჯის გამოუმუშავის სქემა

როგორც წინა თავებში იყო აღნიშნული, მსუბუქი ორთქლქალური დანადგარი II-Y-1 წარმოადგენს საკომლექტრო თბოელექტროცენტრალს.

ნაკ. 8-6-ზე ნაჩვენებია II-Y-1 ორთქლქალური დანადგარის სითბური სქემა. პრაქტიკიდან ცნობილია, რომ სოფლის მეურნეობაში სითბურ ენერჯიაზე (ორთქლისა და ცხელი წყლის სახით) მოთხოვნა დღეღამის განმავლობაში ერთნაირი არ არის და

ყოველთვის არ შეესაბამება ელექტრულ დატვირთვის, მაგალითად, ЛПУ—1 დანადგარის სრული დატვირთვისას (25 კვტ), მისგან შეიძლება მიღებულ იქნეს 250 კგ ნამუშევარი ორთქლი. ამ რაოდენობის ნამუშევარი ორთქლით შეიძლება თითქმის დუღილის ტემპე-რატურამდე გავათბოთ საათში 1500 ლიტრა და ცოტა მეტი წყალი. თუ დანადგარის ელექტრული დატვირთვა იქნება მხოლოდ 10 კვტ, მაშინ ნამუშევარი ორთქლი მიიღება 140—150 კგ/სთ. ნამუშევარი ორთქლის აღნიშნული რაოდენობა დუღილის ტემპერატურამდე შეათბობს საათში მხოლოდ 800—900 ლიტრ წყალს. რომ ორთქლძალური დანადგარი უფრო ეფექტურად იქნეს გამოყენებული, საჭიროა შედგენილ იქნეს ისეთი სითბური სქემა, რომელიც უნდა ითვალისწინებდეს არასრული ელემენტული დატვირთვისას საბოლოო ენერჯის კსელში უზნარი ორთქლის მიწოდებას უშუალოდ დანადგარის ქვაბიდან. ამასთან ერთად ნამუშევარი ორთქლის სითბოს უკეთ გამოყენებისათვის სითბურ კსელში ჩართული უნდა იყოს სითბოს აკუმულატორი. უკანასკნელი მოგვეცემს საშუალებას დანადგარის შემცირებული ელექტრული დატვირთვებისას აკუმულირებული სითბო გამოყენებულ იქნეს როგორც სამეურნეო, ისე ტექნოლოგიური მიზნებისათვის. აღნიშნულის რეალიზაციისათვის დანადგარიდან სითბური ენერჯის გამოყენების სქემაში ვათვალისწინებულები უნდა იყოს დიდი ტევადობის სითბოს (წყლის) აკუმულატორის (XI) დაყენება. სითბოს აკუმულატორი ძავე დროს წარმოადგენს ბოილერს (თბოვადამცემს), რომლის საშუალებითაც ხდება წყლის გათბობა ნამუშევარი ორთქლის სითბოს ხარჯზე.

ნაკ. 8—6-ზე ნაჩვენებია დანადგარის მუშაობა მიმდინარეობს შემდეგნაირად: წყალმილა ორთქლის ქვაბში (1) მიღებული ტენიანი ნაჯერი ორთქლი გაივლის რა ორ-



ნაკ. 8—6. ЛПУ—1 ორთქლძალური დანადგარის სითბური სქემა: I—ორთქლის ქვაბი, II—წყლის შემობოლი III—ჰაერბანი, IV—წყლის ტუმბო, V—ორთქლის მაჩანა, VI—სეკონდარული, VII—ენერჯი, VIII—განმარტვობის ფორი, IX—დარბაზი, X—საჯები წყლის ავარი, XI—სითბოს აკუმულატორი. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24—გაბაზები ვაბილბის, ვა-ვანა, 25—სითბოს რეგულატორი.

თქვადადამხურებელს, მიეწოდება ორთქლის მანქანაში (V). მანქანაში ორთქლის განაწილება განხორციელებულია ცილინდრული მკვეთარას საშუალებით. ორთქლის მანქანიდან გამოსული ნამუშევარი ორთქლი ონკანის (9) გავლით მიემართება საკვამლე მილში წვეის გასაძლიერებელ კონუსში ან ზეთგამომყოფის (VI) გავლით მიეწოდება წყლის ავზში—სითბოს აკუმულატორში (XI), რომელიც სავსეა ცივი წყლით. აქ ზედაპირულ თბოგადამცემში ნამუშევარი ორთქლი, ათბობს რა ცივი წყალს, განიცდის კონდენსაციას. მიღებული წმინდა კონდენსატი მიეწოდება საკვები წყლის ავზში (X), საიდანაც მკვეთავი ტუმბოს (IV) საშუალებით მიეწოდება ორთქლის ქვაბში (1). სითბოს აკუმულატორის ავზიდან (XI) ცხელი წყალი ვენტილის (5) საშუალებით გაიცემა სხვადასხვა მომხმარებელზე. თუ ერთდროულად საჭიროა როგორც ცხელი წყალი, ისე ორთქლი (მცხოველეობის ფერმაში უხეში საკვების დარბაზისათვის, რძის პასტერიზაციისათვის ან სოფლის მეურნეობის პროდუქტთა ხელოვნური შრობისათვის და სხვ.), მაშინ სითბოს აკუმულატორის ავზში იგზავნება ნამუშევარი ორთქლისნაწილი, ხოლო დანარჩენი ორთქლი მიეწოდება ონკანის (11) გავლით ტექნოლოგიური პროცესებისათვის. წყალი სითბოს აკუმულატორის ავზში წყალსადენიდან მიეწოდება ავტომატურად.

რაოდესაც ნამუშევარი ორთქლი გამოიყენება ტექნოლოგიური მიზნებისათვის და სითბოს აკუმულატორის ავზში წყლის ვასათობადად, მაშინ დანადგარის აირსაყვლელებში წვეის გაძლიერება ხდება სპეციალური მოწყობილობის—სიფონის საშუალებით, ხოლო ცუცხლრაკებიანი ცხაურას ქვეშ ბერვა ხორციელდება საბერავი ვენტილატორის საშუალებით.

აირსავალეებში წვეის შესაქმნელად იხარჯება მთელი ვადახურებული ორთქლის 10—15%, რომელიც სარეგულაციო ვენტილის (19) საშუალებით მიეწოდება კონუსში დაყენებულ სპეციალურ საქმენში ე. წ. სიფონში. დანადგარის მუშაობის ეკონომიურობის გასაძლიერებლად ვათვალისწინებულია საკვები წყლის შეთბობა 100 -- 110°C ტემპერატურამდე. ამ მიზნით ნამუშევარი ორთქლის ნაწილი არინდობა დანადგარზე დაყენებული ნამუშევარი ორთქლის გამოსაბოლქვ მილგაყვანილობიდან და მიეწოდება წყლის შემთბობში (II). ორთქლის ქვაბში მიწოდებული საკვები წყლის რაოდენობა რეგულირდება სპეციალური მოწყობილობით ე. წ. კვების რეგულატორით (26), რითაც მიღწეულია ორთქლის ქვაბის მუშაობა წყლის განსაზღვრული მუდმივი დონით. დანადგარის მუშაობის პროცესში საკვები წყლის ავზის შევსება ხდება წყალსადენიდან ცივი წყლით. ცივი წყალში კი ყოველთვის ვარკვეული რაოდენობით გახსნილია ეანგბადი, რომელიც წყალთან ერთად ხვდება წყლის შემთბობში და ახდენს მისი ზედაპირების ქიმიურ კოროზიას (ამოკმას). აღნიშნულის თავიდან ასაცილებლად საკვები წყლის ავზზე დამონტაჟებულია დეაერატორი (IX).

8-9. ბიოთერაპიული და ჰელიო-ბიოთერაპიული წყალსათბობი დანადგარიდან სითბური მწარმოის გამოყენების სქემატი

სოფლის მეურნეობის წარმოების საჭიროებისათვის ცხელი წყლით მომარაგება ზოგიერთ შემთხვევაში აგრეთვე შეიძლება განხორციელდეს ბიოთერაპიული და ჰელიო-ბიოთერაპიული წყალსათბობი დანადგარებიდან.*

ა) ბიოთერაპიული წყალსათბობი დანადგარის მოქმედების სქემა. ნაკ. 8-7-ზე ნაჩვენებია გ. დ. ანანიაშვილის მიერ შემუშავებული ბიოთერაპიული წყალსათბობი დანადგარის მოქმედების სქემა.

* ასეთი დანადგარების დაწერილებით შესწავლისათვის იხ. „ჰელიო-ბიოთერაპიული წყალსათბობი დანადგარები“, გ. დ. ანანიაშვილი, საქართველოს ს/მ მეცნიერებისა და ელექტროფიკაციის შრომები, გამოშვება IV—1958 წ.

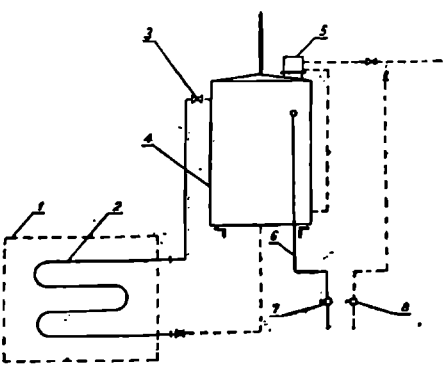
საქონლის ნაკელი, რომელიც მეცხოველეობის ფერმებში უხვად მოიპოვება, ნაკ. 8—7-ზე ნაჩვენებ დანადგარში გამოიყენება ბიოსათბობად, რომლის მიკრობიოლოგიური გადამუშავება სითბური ენერჯის მიღების საშუალებას იძლევა.

ბიოთერმული კამერა (1) წარმოადგენს ორმოს, რომლის კედლები სხვადასხვა სახის სამშენებლო მასალისაგან მზადდება.

ბიოთერმული კამერაში (1) საქონლის ნაკელის ჩატვირთვის, ავზი-აქუმულატორისა (4) და თბოგადამცემის (2) ცივი წყლით შევსების შემდეგ, დანადგარში იწყება წყლის თერმოსიფონური შეთბობა. ასეთ დანადგარს შეუძლია ერთი დღეღამის განმავლობაში შეათბოს დაახლოებით 1500 ლიტრა წყალი 32—50 °C ტემპერატურამდე.

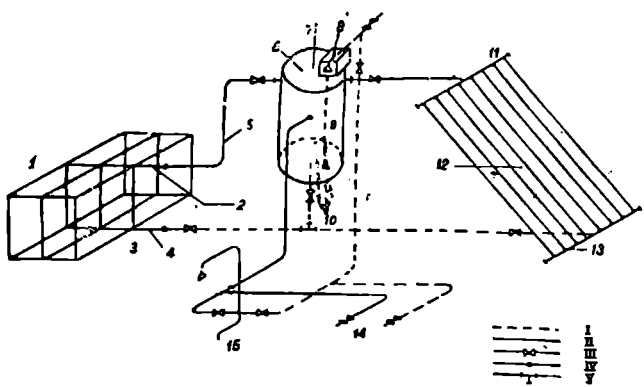
ბ) ჰელიო-ბიოთერმული წყალსათბობი დანადგარის მოქმედების სქემა. სოფლის მეურნეობის წარმოების საჭიროებისათვის ცხელი წყლის მისაღებად ზოგიერთ შემთხვევაში წყლის გათბობას თერმოსიფონის გამოყენების პრინციპი ბიოთერმულ დანადგარში, საშუალებას გვაძლევს თავისუფლად შევეთავსოთ მას შხის დანადგარის მილოვანი წყალსათბობი. ასეთ დანადგარს ეწოდება „ჰელიო-ბიოთერმული წყალსათბობი დანადგარი“; მისი მუშაობის სქემა ნაჩვენებია ნაკ. 8—8-ზე.

როგორც ნაკ. 8—8-ზე ნაჩვენებია სქემიდან ჩანს, წყალსათბობი დანადგარის ავზი—აქუმულატორი (6) პარალელურად უერთდება ბიოთერმულ თბოგადამცემს (1) და მზის მილოვან წყალსათ-



ნაკ. 8—7. ბიოთერმული წყალსათბობი დანადგარის მოქმედების სქემა.

1-ბიოთერმული კამერა, 2-თბოგადამცემი, 3-წყლის ონკანი, 4-ავზი-აქუმულატორი, 5-ფლოატორი, 6-ცხელი წყლის მილოვანობა, 7-ცხელი წყლის ონკანი, 8-ცივი წყლის ონკანი.



ნაკ. 8—8. ჰელიო-ბიოთერმული წყალსათბობი დანადგარის მოქმედების სქემა.

1-თბოგადამცემი, 2-ხედა შემართებული მილი, 3-წყლის ჩამოსაშვები საცობი, 4-ქვედა შემართებული მილი, 5-ხედა საციკლოპაიო მილი, 6-ავზი-აქუმულატორი, 7-დონის მათანაბრებელი მილაკი, 8-ფლოატორი, 9-ცივი წყლით მკვებავი მილი, 10-ქვედა საციკლოპაიო მილი, 11-ცხელი წყლის შემკრები კოლექტორი, 12-მზის მილოვანი წყალსათბობი, 13-ცივი წყლის კოლექტორი, 14-ცხელი და ცივი წყლის სახარჯი ონკანები, 15-შუდი.

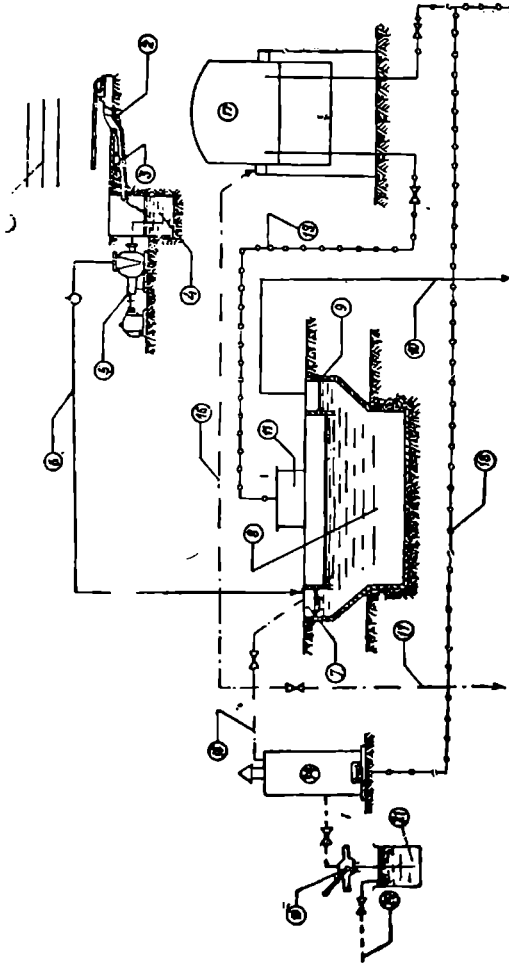
I-ცივი წყლის მილოვანობა, II-ცხელი წყლის მილოვანობა, III-წყალსადენის ონკანი, IV-შემართებული ქურთი, V-სამაბაი.

ლურად უერთდება ბიოთერმულ თბოგადამცემს (1) და მზის მილოვან წყალსათ-

ბობს (12). აღწერილი დანადგარი საშუალებას იძლევა საქონლის ნაკელი და მზის ენერგია კონბინირებულად გამოყენებულ იქნეს სითბური ენერჯით მომარაგებისათვის ცხელი წყლის სახით.

8-10. ბიონერგეტიკული დანადგარიდან სითბური ენერჯის გამოყენების სხვა

სოფლის მეურნეობის წარმოების სითბური ენერჯით მომარაგებისათვის აგრეთვე შესაძლოა გამოყენებულ იქნეს ბიონერგეტიკული დანადგარი,* რომლის მოქმედების



სქემა ნაჩვენებია ნაკ. 8-9-ზე.

ბიონერგეტიკული დანადგარი მუშაობს ნაკელის, წუნწუნისა და სოფლის მეურნეობის სხვა ორგანული ნარჩენებით, რომელთა მეთანური დუღილის გზით თავიდან აცილებულია ენერჯის დანაკარგები და სასუქების დამზადებასთან ერთად უზრუნველყოფილია მალახარისხოვანი, იაფფასიანი აირადი სათბობის მიღება. ორგანული ნარჩენების გამოყენების ამ ახალი მეთოდით, სოფლის მეურნეობაში იქმნება საუკეთესო პირობები ტექნიკური ენერჯის საკუთარი წყაროს—აირადი სათბობის—მისაღებად, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნეს კოლმეურნეობებსა და საბჭოთა მეურნეობებში სითბური ენერჯით საწარმოო და საყოფაცხოვრებო მოთხოვნათა დასაკმაყოფილე ბლად. დანადგარის დღეღამური აირმწარმოებლობა 1000 ნმ³-მდე აღ-

ნაკ. 8-9. ბიონერგეტიკული დანადგარის მოქმედების სქემა.

1-აირი, 2-ნაკელი მიღება მუშაობა, 3-ჩაქვები, 4-პომები რეზერვუარი, 5-ტუმბო, 6-გაბრუნებელი ნაკლის გადასატანად მილუკავანობა, 7-ჩახატვითი ბენჯერი, 8-ბიონერგეტიკული, 9-აირის მიწოდების დასატანად მილუკავანობა, 10-აირის ნერკები, 11-აირის ნერკები, 12-აირის ნერკები, 13-აირის ნერკები, 14-აირის ნერკები, 15-აირის ნერკები, 16-აირის ნერკები, 17-აირის ნერკები.

წევს. დანადგარის მარჯი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობა აირის მიხედვით 0,6

* უფრო დაწვრილებით ბიონერგეტიკული დანადგარის მუშაობის შესახებ იხ. „ქრწანისის ბიონერგეტიკული დანადგარი,“ გ. დ. ანანიავილი, გამომცემლობა „საბჭოთა საკართველო,“ 1959 წ.

უახლოვდება, ხოლო ბიოენერგეტიკული დანადგარის საერთო მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობა კი, სასუქებში გადასული ენერჯის ჩათვლით, 0,9 აღემატება.

8-11. ზომადი ცნებაანი ხათუარეზინა და კვალსათბურების ტემპერატურის გათავისების შესახებ

ადამიანის კვებით რაციონში ბოსტნეულს თავისი კვებითი, გემოვნებითი და განსაკუთრებით ვიტამინების ხარისხით ერთ-ერთი მთავარი ადგილი უჭირავს. კვების საშუალო-კვლევითი ინსტიტუტის მონაცემებით მოზრდილ ადამიანს ყოველდღიურად სხვა სახის საკვებთან ერთად სჭირდება დაახლოებით 400 გრამი ბოსტნეული, ამიტომ მთელი წლის განმავლობაში მშრომელი მოსახლეობის ბოსტნეულით მომარაგებას დიდი მნიშვნელობა აქვს. მთელი წლის განმავლობაში მოსახლეობის ბოსტნეულით მომარაგების საკითხში დაცული გარუნტის გამოყენებას სათბურებისა და კვალსათბურების სახით ძირითადი მნიშვნელობა აქვს.

წესიერად მოწყობილი მებოსტნეობის მეურნეობა მოითხოვს დაცული და ღია გარუნტის შეთანაწყობილ გამოყენებას. ასეთ შემთხვევაში ღია გარუნტში მოსაყვანი ბოსტნეულის ნახევარზე მეტი ჩითილის მეთოდით მოჰყავთ, ჩითილს კი ძირითადად დაცულ გარუნტში ზრდიან. ამასთან ერთად დაცული გარუნტის ცალკეულ ნაგებობებში ჩითილის გამოზრდით უზრუნველყოფენ საადრეო მოსავლის მიღებას, ხოლო მოკლე ტემპერატურის პირობებში გრძელი სავეგეტაციო პერიოდის მქონე კულტურების საერთოდ დიდი რაოდენობისა და კარგი ხარისხის მოსავლის მოსავლის მიღებას.*

დაცული გარუნტის, ე. ი. საბურებისა და კვალსათბურების, შემთბარი გარუნტის და სხვადასხვა სახის დასაცავი მოწყობილობის ამოყენება:

- ა) ბოსტნეულის მოყვანა წლის იმ პერიოდებში, როდესაც პაერის ტემპერატურული ფაქტორი ღია გარუნტში მათი მოყვანის საშუალებას არ იძლევა;
- ბ) ბოსტნეულის ჩითილის ნაადრევად გამოზრდა-მოზრდება ღია გარუნტისათვის და სხვ.

საერთოდ დაცული გარუნტი წარმოადგენს საკულტივაციო შენობებს, რომლებსაც ზოგიერთ შემთხვევაში სრულად დაცულ გარუნტს უწოდებენ; ამასთან ერთად იხილავენ შემთბარ გარუნტს და მას მარტივად დაცულ გარუნტს უწოდებენ.

როგორც აღნიშნული იყო, დაცული გარუნტი წარმოადგენილია სათბურებისა და კვალსათბურების სახით.

კონსტრუქციისა და ტიპის მიხედვით სათბურები არსებობს ზამთრის, გაზაფხულის, მუდმივი, ე. ი. სტაციონარული და დინამური, ე. ი. გადასატანი. სათბურების საკულტივაციო ნაგებობანი შეიძლება იყოს ცალფერა, ერთნახევარფერა, ორფერა და ბლოკური. სათბურებში უმთავრესად გამოიყენება ტექნიკური გათბობა.

კონსტრუქციისა და ტიპის მიხედვით კვალსათბურები არსებობს მიწაში ჩალმავებული, მიწის ზედაპირზე გადადილებული, ცალფერა და ორფერა და სხვ. კვალსათბურების გათბობისათვის იყენებენ როგორც ბიოლოგიურს, ისე ტექნიკურ გათბობას.

სათბურებისა და კვალსათბურების საკულტივაციო ნაგებობათა გათბობის სახის საკითხის გადაწყვეტა უნდა მოხდეს ადგილობრივი პირობების მხედველობაში მიღებით. ტექნიკური გათბობის გამოყენების შემთხვევაში მხედველობაში მიღებული უნდა იქნეს ბიოლოგიური ნაგებობისა და საბურების მეურნეობების სათბოთეკაციო თბოელექტროსადგურებიდან, ახლო მდებარე სახელმწიფო რაიონული თბოელექტროცენტრალებიდან და სამრეწველო თბოელექტროსადგურებიდან სითბური ენერჯის მიღების შესაძლებლობა. ამა-

* მებოსტნეობის წარმოებაში დაცული გარუნტის როლის შესახებ უფრო დამყარებით იხ. „მებოსტნეობა“, გვ. 110, გ. კვებაზე, შრომის წითელი დროშის ორდენის საკართველოს სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტის გამოცემლობა, 1959 წელი.

სთან ერთად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება შესაძლებლობის შემთხვევაში ამ მიზნით საწარმოთა ნარჩენი სითბოს და ბუნებრივი ცხელი წყლების გამოყენებას.

სათბურებისა და კვალსათბურების ტექნიკური გათბობისათვის გამოიყენება სათბობის წყის შედეგად მიღებული წარმავალი აირები, ცხელი წყალი, წყლის ორთქლი, ელექტრული ენერჯია, თბილი ჰაერი და სხვ.

დაცული გრუნტის შემთხვევაში გათბობის მიზანია სათბურებისა და კვალსათბურების საკულტივაციო ნაგებობებში შეინარჩუნონ ბოსტნეულის სხვადასხვა სახის ზრდა-განვითარებისათვის დადგენილი ტემპერატურული რეჟიმი, მიუხედავად გარემოს ტემპერატურის ცვალებადობისა.

სათბურებისა და კვალსათბურების ტექნიკური გათბობის ორი ხერხი არსებობს:

ა. საკულტივაციო ნაგებობის ჰაერის გათბობა,

ბ. კულტურების ქვემოთ ნიადაგის გათბობა.

სათბურების საკულტივაციო ნაგებობათა გათბობისათვის შეტწილად იყენებენ ტექნიკური გათბობის პირველ ვარიანტს, ე. ი. ნაგებობის ჰაერის გათბობას, ხოლო კვალსათბურების ნაგებობათა გათბობისათვის მეორე ვარიანტს, ე. ი. კულტურების ქვემოთ ნიადაგის გათბობას. ზოგიერთი კულტურისათვის გამოიყენება ტექნიკური გათბობის როგორც პირველი, ისე მეორე ვარიანტი ერთად.

დაცული გრუნტის ნაგებობათა გათბობისათვის გამოიყენება: კონვექცია, ვენტილაცია, რადიაცია და სითბოს შემცველების მიღგაყვანილობა.

კონვექცია—როდესაც საკულტივაციო ნაგებობის ჰაერს სითბო გადაეცემა უშუალოდ შეხებით ნაგებობაში გაადგილებული გამთბობი ხელსაწყობით (გლუკედლიანი მილები, რადიატორები და სხვ.).

ვენტილაცია—როდესაც გამთბობი ხელსაწყობიდან გამოსული გამთბარი ჰაერი ვენტილატორების საშუალებით საკულტივაციო ნაგებობის ჰაერში შეერევა და ნაგებობაში მიიღება სასურველი ტემპერატურის ჰაერი.

რადიაცია—სითბოს გამოსხივება. სითბოს გადაცემა ხორციელდება ფიზიკურ სხეულთა ტემპერატურების სხვაობის ხარჯზე, ე. ი. ნაგებობის ჰაერის გათბობა ხდება სითბური გამოსხივების ხარჯზე.

სითბოს შემცველის მიღგაყვანილობა—სითბოს შემცველის მიღგაყვანილობა პირდაპირ თავსდება ნიადაგში განსაზღვრულ სიღრმეზე; ნიადაგი უშუალო შეხებაშია მიღგაყვანილობის ზედაპირთან.

სათბურებისა და კვალსათბურების საკულტივაციო ნაგებობების სითბური დანაკარგების გაანგარიშება

როგორც აღნიშნულა იყო, საკულტივაციო ნაგებობებში კულტურების სახეების მიხედვით, მიუხედავად გარემოს ჰაერის დაბალი ტემპერატურისა, დაცული უნდა იქნეს გარკვეული ტემპერატურული რეჟიმი. ამისათვის ტექნიკური გათბობის სისტემის გაანგარიშებისათვის განსაზღვრული უნდა იქნეს საკულტივაციო ნაგებობის მიერ ერთი საათის განმავლობაში გარემომცველ ატმოსფერულ ჰაერზე გადაცემული სითბოს რაოდენობა (ე. ი. ნაგებობის გარე ზედაპირების მიერ სითბოს დანაკარგი ერთი საათის განმავლობაში). აღნიშნულის გარდა, განსაზღვრული უნდა იქნეს სითბოს დანაკარგი საათის განმავლობაში ნაგებობის ვენტილაციის ხარჯზე.

საკულტივაციო ნაგებობის გათბობისათვის საჭირო სითბოს რაოდენობა დამოკიდებულია ნაგებობის გაბარიტულ ზომებზე, ნაგებობის კედლებისა და სახურავის მასალაზე, ნაგებობისა და გარემოს ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურებზე, ნაგებობის გადგილებაზე (მხედველობაშია დამატებითი სითბოს დანაკარგები ქარის მოქმედების გამო) და ნაგებობის ვენტილაციის ინტენსივობაზე.

სათბურის საკულტივაციო ნაგებობის მიერ ერთი საათის განმავლობაში სითბოს დანაკარგი მისი გარე ზედაპირისა და ჰაერის ვენტრალაციით შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$Q_{\text{ს.გ.}} = Q_1 + Q_2 \text{ კკალ/სთ,} \quad (8-1)$$

სადაც $Q_{\text{ს.გ.}}$ კკალ/სთ არის სითბოს საერთო დანაკარგი საათის განმავლობაში;

$Q_1 = k (t_1 - t_{\text{გ. ა. ა.}}) \cdot F$ კკალ/სთ—სითბოს საათური დანაკარგი ნაგებობის გარე ზედაპირებით;

$Q_2 = 0,3 \cdot V_{\text{გ.გ.}} (t_1 - t_{\text{გ. ა. ა.}}) \cdot n$ —სითბოს საათური დანაკარგი ნაგებობის ჰაერის ვენტრალაციით.

თუ შევიტანთ Q_1 -სა და Q_2 -ს მნიშვნელობებს, (8-1) განტოლება მიიღებს სახეს

$$Q_{\text{ს.გ.}} = k (t_1 - t_{\text{გ. ა. ა.}}) \cdot F + 0,3 \cdot V_{\text{გ.გ.}} (t_1 - t_{\text{გ. ა. ა.}}) \cdot n \text{ კკალ/სთ,} \quad (8-2)$$

სადაც k კკალ/მ² სთ °C არის თბოგადაცემის კოეფიციენტი;

F მ²—საკულტივაციო ნაგებობის გარე ზედაპირების ფართობი;

t_1 °C—საკულტივაციო ნაგებობაში ჰაერის ტემპერატურა კულტურის სახის მიხედვით;

$t_{\text{გ. ა. ა.}}$ °C—გარემოს ჰაერის საანგარიშო მინიმალური ტემპერატურა;

$V_{\text{გ.გ.}}$ მ³—საკულტივაციო ნაგებობის მოცულობა;

n —სათბობის განმავლობაში საკულტივაციო ნაგებობაში ჰაერის ციკლის რიცხვი, რომლის მნიშვნელობა იღება 1-დან 3-მდე კულტურის სახის მიხედვით.

სათბურებისა და კვლასათბურების საკულტივაციო ნაგებობათა ტექნიკური გათბობის (8-2) ფორმულაში შემავალი სიდიდეებისა და კოეფიციენტების განსაზღვრა და გაანგარიშება უნდა მოხდეს საპროექტო მონაცემებისა და სათანადო ცნობარების მიხედვით.

როდესაც ვაწარმოებთ სათბურებისა და კვლასათბურების ტექნიკურ გათბობას პირველი ხერხით, ე. ო. როდესაც საკულტივაციო ნაგებობის ჰაერის გათბობა ხდება ნაგებობაში გადაღობული გამთბობი მილებისა და ხელსაწყოების საშუალებით და ამ უკანასკნელებში გათვალისწინებულია სითბოს შემსველის, მავალითად, ცხელი წყლის ცირკულაცია, მაშინ ცენტრალური გათბობის სისტემის გაანგარიშებას აწარმოებენ გათბობისა და ვენტრალაციის კურხიდან ცნობილი მეთოდით, საკულტივაციო ნაგებობათა პროექტირების თავისებურებათა მხედველობაში მივლებთ.

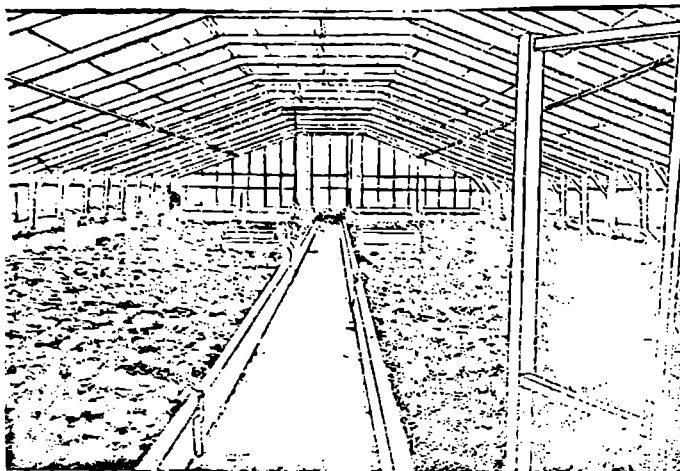
ნაკ. 8—10-ზე ნაჩვენებია ორფერდა ანგარიის ტიპის გრუნტის სათბური; სათბურის გათბობისათვის გამოყენებულია წყლით ცენტრალური გათბობა.

როგორც ნაკვიდან ჩანს, სათბურის შიგნით ცხელი წყლის საცირკულაციოდ გამთბობი ხელსაწყოები (რადიატორები) გამოყენებული არ არის. ამ შემთხვევაში თვით სათბურის კონსტრუქციის მზიდი კარკასი შედგება დიდი დიამეტრის ლითონის მილებისაგან, რომლებშიაც მოძრაობს ცხელი წყალი; აღნიშნული მილები ასრულებენ გამთბობი ხელსაწყოების, ე. ო. რადიატორების როლს. სათბურის სასტრუქტურული ვენტრალაცია უზრუნველყოფილია სახურავებში არსებული სპეციალური ჩარჩინებულ ექვანიზებულ გალენით. წყლით ცენტრალური გათბობის შემთხვევაში საკულტივაციო ნაგებობაში სათბოფიკაციო ორთქლძალური დანადგარიდან ან ამ დანიშნულებისათვის მოწყობილი საქვაბე დანადგარებიდან მიეწოდება ცხელი წყალი. წყლით ცენტრალური გათბობის სისტემაში ცხელი წყლის ცირკულაცია შეიძლება იყოს როგორც ბუნებრივი, ისე ხელოვნური, რაც ტუმბოების საშუალებით ხორციელდება.

სათბურში მიწოდებული ცხელი წყალი გაივლის რა გლუკზედაპირიან მილებს ან გამთბობ ხელსაწყოებს (რადიატორებს), გადასცემს სითბოს საკულტივაციო ნაგებობის

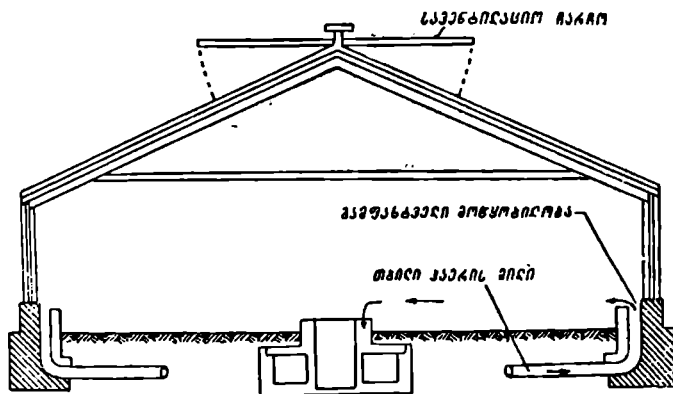
ჰაერს. ვაცივებული წყალი სათბურიდან ისევ უბრუნდება სათბოფიკაციო ორთქლძალურ დანადგარს ან ქვაბს.

ამეამდ ფართო გამოყენებას პოულობს სათბურების საკულტივაციო ნაგებობათა წყლით ცენტრალური გათბობა. წყლით ცენტრალური გათბობის დადებით მხარეთა



ნაქ. 8-10. ანგარის ტიპის გრუნტის სათბური წყლის ცენტრალური გათბობით.

შორის აღსანიშნავია მართვის სიმარტივე და ნაგებობაში ტემპერატურული რეჟიმის რეგულირების შესაძლებლობა.



ნაქ. 8-11. სათბურის განივი კრილი, რომლის ჩასათბობად გამოყენებულია თბილი ჰაერი.

სათბურების საკულტივაციო ნაგებობათა გათბობისათვის სითბოს შემცველად აგრეთვე შეიძლება გამოყენებულ იქნეს წყლის ორთქლი. წყლის ორთქლით გათბობისას,

სათბოფიკაციო დანადგარებიდან ნამუშევარი ორთქლი ან ორთქლის ქვაბებიდან (უშთაერესად დაბალი წნევის) უხბარი ორთქლი მიეწოდება სათბურებში დაყენებულ გამთბობ ხელსაწყოებში. უკანასკნელებში ორთქლის კონდენსაციის შედეგად გამოთავისუფლებული ფარული სითბო გადაეცემა ნაგებობაში მოთავსებულ ჰაერს, ხოლო მიღებული კონდენსატი უბრუნდება სითბოს შემცველის გამცემ დანადგარს.

სათბურების საკულტივაციო ნაგებობათა ვასათობად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს თბილი ჰაერი, რომელიც თბება სპეციალურ კალორიფერებში და ვენტრილატორებისა და ჰაერსადენების საშუალებით მიეწოდება სათბურებში.

ნაკ. 8—11-ზე ნაჩვენებია სათბურის საკულტივაციო ნაგებობის განივი კრილი, რომლის გათბობა განხორციელებულია კალორიფერებში გამთბარი ჰაერით.

როგორც ნაკეთიდან ჩანს, კალორიფერებში გამთბარი ჰაერი სპეციალური მილების საშუალებით მიეწოდება სათბურის ნაგებობაში, სადაც გამოყენებულია მოწყობილობის საშუალებით შეერევა სათბურის ჰაერს. სათბურის ვენტრილაცია ხორციელდება საკულტივაციო ნაგებობის სახურავში გაადვილებული სავენტილაციო ჩარჩოების ვალებით.

სათბურების ვასათობად შესაძლოა გამოყენებულ იქნეს ელექტრული ენერჯია. ელექტრული ენერჯიის გამოყენებას საკულტივაციო ნაგებობათა გათბობისათვის დიდი პერსპექტივა აქვს საერთოდ და განსაკუთრებით ჩვენი რესპუბლიკის პირობებისათვის, რადგან საკულტივაციო ნაგებობათა გათბობის დღეებში მეტად ცვალებადია გარემოს ჰაერის ტემპერატურა, ხოლო ელექტრული ენერჯიის გამოყენება კი გათბობის მიზნით ტემპერატურის სწრაფი რეგულირების საშუალებას იძლევა. ჯერჯერობით ელექტრული ენერჯიის გამოყენება საკულტივაციო ნაგებობათა გათბობისათვის შეზღუდულია მისი დიდი ღირებულებისა და არასაკმარისი რაოდენობით გამომუშავების გამო.

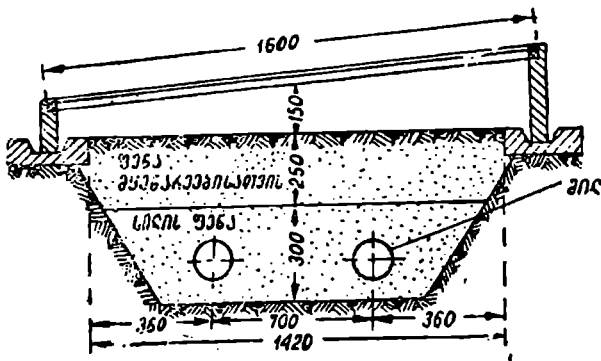
კვლასათბურების ტექნიკური გათბობა

როგორც აღნიშნული იყო კვლასათბურების ტექნიკურა გათბობისას უშთაერესად გამოიყენება გათბობის მეორე ხერხი, ე. ი. როდესაც განხორციელებულია თვით დატული გრუნტის გათბობა. ასეთ შემთხვევაში გრუნტში გარკვეულ სიმაღლეზე ჩაწყობილი მრგვალი კვების შემთბობ მილებში მიეწოდება სითბოს შემცველი ცხელი წყლის ან ორთქლის სახით. შემთბობ მილებად შეიძლება გამოყენებული იქნეს კერამიკის, აზბესტ-ცემენტის, ფოლადის ან სხვ. სახის მილები.

ნაკ. 8—12 ზე ნაჩვენებია კვლასათბურის განივი კრილი, რომლის გრუნტში გარკვეულ სიმაღლეზე ჩაწყობილია შემთბობი მილები.

ასეთ შემთხვევაში გარკვეულ ინტერესს იწვევს თბოგადაცემის პროცესის გაანგარიშება.

გ სითბური ნაკადის სიდიდე, რომელიც გადაეცემა ერთი გრძივი მეტრი შემთბობი მილის მიერ გრუნტს, შეიძლება გაანგარიშებულ იქნეს ფორმულით:



ნაკ. 8—12. კვლასათბურის განივი კრილი.

32. ზოგადი თბოტექნიკა.

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{gr} (t_{\text{სს.}} - t_{gr})}{2 \cdot \pi \frac{h}{b} + \ln \frac{b}{\pi \cdot d_g}} \text{ კკალ/მ სთ } ^\circ\text{C}, \quad (\text{B-3})$$

სადაც λ_{gr} კკალ/მ სთ $^\circ\text{C}$ არის გრუნტის თბოგამტარობის კოეფიციენტი;
 $t_{\text{სს.}}$ $^\circ\text{C}$ —სითბოს შემცველის, ე. ი. ცხელი წყლის ან ორთქლის საშუალო ტემპერატურა;

t_{gr} $^\circ\text{C}$ —გრუნტის ბუნებრივი საშუალო ტემპერატურა შემთბობი მიწების ირგვლივ ზაფხულის პერიოდში;

h მ—გრუნტში მიწების ჩაწყობის სიმაღლე;

d_g მ—შემთბობი მიწების გარე დიამეტრი;

b მ—მანძილი შემთბობი მიწების ღერძებს შორის.

მიწების ღერძებს ზემოთ გრუნტის ზედაპირის მაქსიმალური ტემპერატურა ($t_{\text{ს. ხ. გ. ხეფ.}}$) შეიძლება გაანგარიშებულ იქნეს შემდეგი ფორმულით:

$$t_{\text{ს. ხ. გ. ხეფ.}} = t_g + \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{gr}} \ln \left(1 + \frac{2}{h} \cdot \frac{\lambda_{gr}}{\alpha_3} \right) + \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{gr}} \ln \sqrt{1 + \frac{4}{\alpha_3} \frac{\lambda_{gr}}{h^2 + b^2}} \quad (\text{B-4})$$

სადაც α_3 —კკალ/მ² სთ $^\circ\text{C}$ არის თბოგაცემის კოეფიციენტი გრუნტის ზედაპირიდან გარემომცველ ჰაერზე სითბოს გადაცემის დროს;

t_g $^\circ\text{C}$ —ჰაერის ტემპერატურა კვალსათბურში.

შენიშნავთ, რომ ამ გასაანგარიშებელი ფორმულების შედგენისას გამამარტივებელი დაშვებების შედეგად, მათში არ არის გათვალისწინებული მთელი რიგი ფაქტორებისა, როგორცაა გრუნტის ტენიანობა, მზის გამოსხივება და სხვ., რომლებიც გავლენას ახდენენ თბოგადაცემის პროცესზე. ამიტომ აღნიშნული ფორმულები მიღებული უნდა იქნენ, როგორც საორიენტაციო. ამჟამად მიმდინარეობს სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობა ამ ფორმულების დახუსტებისათვის.

კვალსათბურების გრუნტის გათბობა („მალიხა“) ორთქლის საშუალებით

როგორც აღნიშნული იყო, კვალსათბურების გრუნტის შესათბობად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც დაბალი, ისე მაღალი წნევის წყლის ორთქლი. ორთქლი მიეწოდება გრუნტში ჩაწყობილ მიწებში და კონდენსირების შემდეგ კონდენსატი მიღების საშუალებით უბრუნდება სათბოფიკაციო-დანადგარების ან ორთქლის ქვაბს. უკანასკნელ ხანში რეკომენდებულია კვალსათბურების გრუნტის წყლის ორთქლით შეთბობის სხვა ხერხი. აღნიშნული ხერხით გრუნტის შეთბობისას კვალსათბურის გრუნტში 35—40 სანტიმეტრის სიღრმეზე ჩაწყობილია ორი რიგი საწრეტი ანუ აზბესტ-ცემენტის მრგვალი მიწები, დიამეტრით 10—15 სანტიმეტრი ამ მიწებს ქვედა ნახევარში აქვთ ნახვრეტები ნიადაგში ორთქლის ქაღალის გასაშვებად. გრუნტში ჩასაწყობ შემთბობი მიწებზე შეიძლება გამოყენებულ იქნეს აგრეთვე კერამიკის მიწები დიამეტრით 8—15 სანტიმეტრი.

შემთბობი მიწის ქვედა ნახევარში მოთავსებული ნახვრეტებიდან გამოდინებული ორთქლის ქაღალი განიცდის კონდენსაციას, გამოთავისუფლებული ფარული სითბო ათბობს ნიადაგს, ხოლო კონდენსატი ადიდება ნიადაგის ტენიანობას. ასეთ შემთხვევაში გრუნტში ჩაწყობილი მიწების ერთი ბოლო მიერთებულია 0,1—0,2 ატმოსფერული ორთქლის გამცემ დანადგართან, ხოლო მეორე ბოლო უერთდება ატმოსფერულ ჰაერს. გრუნტის შემთბობი სისტემა ისე უნდა იყოს გაანგარიშებული, რომ ორთქლის

მცირე ნაწილი ვადიოდეს ატმოსფერულ ჰაერში, ე. ი. პირობით შეიძლება ითქვას, რომ გრუნტის შეთბობა უნდა ხდებოდეს „მალისა“ ორთქლით.

ასეთი ხერხით კვალსათბურების გრუნტის გათბობა სსრ კავშირში პირველად გამოყენებული იყო ტიმირიაზევის სახელობის სოფლის მეურნეობის აკადემიის მიერ თავის საცდელ სადგურში. ამჟამად ამ ხერხით კვალსათბურების გრუნტის გათბობამ ფართო გასაქანი ჰპოვა.

კვალსათბურების გრუნტის შეთბობა წყლის ორთქლისა და ჰაერის ნარევით

ორთქლს, როგორც სითბოს შემცველს ცხელ წყალთან შედარებით გააჩნია მნიშვნელოვანი უპირატესობანი, როგორცაა: სისტემის შედარებით სიაფე, ფოკალის მიღების ნაცდელი იაფუფასიანი მასალითაგან დამზადებული მილების გამოყენების საშუალება, საჭირო შემთხვევაში გრუნტის სტერილიზაციის ჩატარება და სხე.

ორთქლის მიღების სისტემაში დაზიანება ადვილად შეიძინევა; ორთქლის მიღთა სისტემაში ტრანსპორტირებისათვის არაა საჭირო დამზადრე მოწყობილობანი (ტუმბო) და სხე.

კვალსათბურების გრუნტის გათბობისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც მალალი, ისე დაბალი წნევის წყლის ორთქლი და, აგრეთვე, დაბალი წნევის ორთქლისა და ჰაერის ნარევი, რომელსაც ზოგჯერ გრუნტის „ორთქლჰაეროვან“ გათბობასაც უწოდებენ.

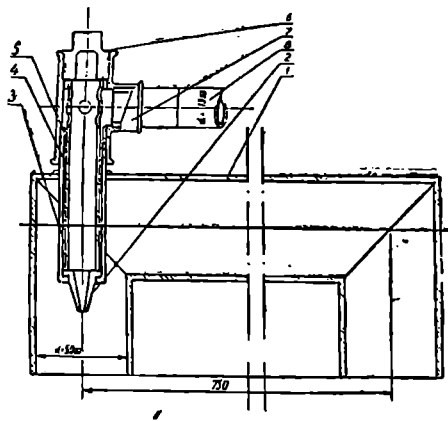
ორთქლისა და ჰაერის ნარევიტ გრუნტის გათბობას მარტო ორთქლიტ გათბობასთან შედარებით ის დადებითი მხარე აქვს, რომ სისტემაში გამოყენებული წნევის დროს ორთქლს აქვს ტემპერატურა დაახლოებით 125—130 °C, ხოლო ორთქლისა და ნარევის ტემპერატურა შეიძლება დაყვანილ იქნეს 70—75 °C-მდე. ორთქლში ჰაერის შერევის გამო მკვეთრად ყოვნდება თბოგულამკემის ინტენსივობა და შედეგად ორთქლის კონდენსაციაც, რასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს ნიადაგის თანაბარზომიერად გათბობისათვის.

კვალსათბურის გრუნტის ორთქლისა და ჰაერის ნარევიტ გათბობა ხორციელდება არა მოკლე ციკლებით—პერიოდულად, როგორც ამას აქვს ადგილი მალალი წნევის ორთქლიტ გათბობისას, არამედ ხანგრძლივი დროის განმავლობაში 6—10 საათი დღე-ღამეში. ორთქლისა და ჰაერის ერთგვაროვანი ნარევის მისაღებად და ნარევისათვის გათბობის მიღთა სისტემაში განსაზღვრული სიჩქარეების უზრუნველსაყოფად გამოიყენება ორთქლქაველური ემპტორი, რომლის მთავარ ნაწილს წარმოადგენს საქშენი.

ნაქ. 8—13 ზე ნაჩვენებია ორთქლქაველური ემპტორი.

ორთქლქაველური ემპტორის აწყობა ხდება ჩვენი მრეწველობის მიერ გამოშვებული სტანდარტული ნაწილებისაგან. მხოლოდ საჭიროა საქშენი დამზადდეს ადგილზე თითბერისაგან.

კვალსათბურების გრუნტში ჩაწყობილი მიღთა სისტემის სქემა ორთქლისა და ჰაერის ნარევიტ გათბობისას ნაჩვენებია ნაქ. 8—14-ზე.



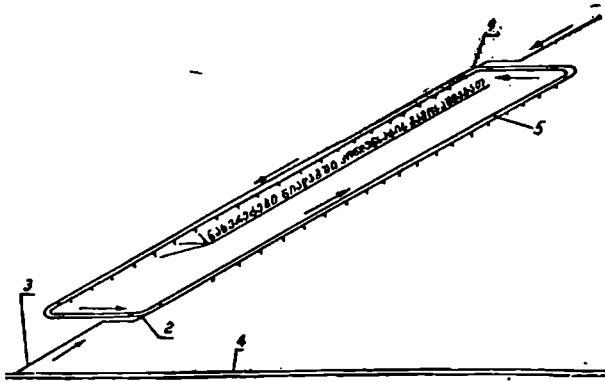
ნაქ. 8—13. ორთქლქაველური ემპტორი.
1-შეპარბედილი მუბლი, 2-საქშენი, 3-საფუძი, 4-საქურელი. ნაკაბრქენი მილისა, მასალობი $d=19$ მმ, 7-გადაყვანილი საკაბი $d=19$ მმ—13 მმ, 8-ორთქლის მიწოდებელი მილი $d=13$ მმ.

0,3- 0,5 ატმოსფერული წნევის ორთქლი მიმწოდებელი მილით ($d=13$ მმ) (3) მიეწოდება საქშენში (2). საიდანაც დიდი სიჩქარით გადინდება გრუნტის შემთბობ მილში (5) და შეერევა ჰაერს. ორთქლისა და ჰაერის ნარევი გრუნტს გადასცემს თავის სითბოს შემთბობი მილების კედლის საშუალებით, რის შედეგად მოხდება ორთქლის კონდენსაცია; მიღებული კონდენსატი შემთბობი მილების ქვედა ნახევარში მოთავსებული ნახერცებიდან

გადინდება ნიადაგში და გაადიდებს მის ტენიანობას.

ნაკ. 8 — 15-ზე ნაჩვენებია კვლასათბურის განივი კრილი, რომლის გრუნტის შეთბობა განხორციელებულია ორთქლისა და ჰაერის ნარევით.

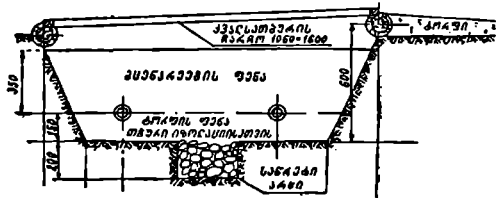
კვლასათბურის გრუნტში, როგორც ნაკვეთიდან ჩანს, მოწყობილია საწრეტი არხი ნიადაგქვეშა წყლების არინებისათვის.



ნაკ. 8—14. კვლასათბურის გრუნტში ორთქლისა და ჰაერის ნარევის საცირ-კულაციაო მილთა სისტემის სქემა.
1-შემაერთებელი ბუხლი, 2-საქშენი, 3-მიმწოდებელი მილი, 4-მაგისტრალური ორთქლ-სადენი, 5-ნახევრს-ცეზენტის მილი.

კვლასათბურების ელექტრული გათბობა დიდი წინაღობის მქონე გამტარების ელექტროდენისგან

ტარებისას, როგორც საერთოდ ყველა გამტარში, ადგილი აქვს გარდაქმნას სითბურ ენერჯიად. სითბურ ენერჯიად ელექტროენერჯის გარდაქმნის მოვლენა გამოიყენება საკულტივაციო ნაგებობათა ელექტრული გათბობისას. კვლასათბურების ელექტრულ გათბობას უპირატესობა აქვს სხვა სახის გათბობასთან. ელექტრული გათბობა კვლასათბურის გრუნტისა და ჰაერის ტემპერატურის მაღალი სიზუსტით რეგულირების საშუალებას იძლევა.



სსრ კავშირის სოფლის მეურნეობის სამინისტროს მიერ რეკომენდებულია კვლასათბურების ელექტრული გათბობის სხვადასხვა ხერხი, მათ შორის:

ნაკ. 8—15. ორთქლისა და ჰაერის ნარევით კვლასათბურის გათბობის სქემა.

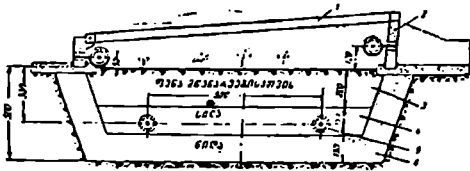
- 1) მილოვანი გამთბობი ელემენტებით და 2) სითბური კაბელით.

ნაკ. 8—16-ზე ნაჩვენებია მილოვანი გამთბობი ელემენტებით კვლასათბურის ელექტრული გათბობის სქემა.

როგორც ნაკვეთიდან ჩანს, კვლასათბურში დაყენებულია ოთხი გამთბობი ელემენტი, ორი გრუნტისა და ორი ჰაერის გათბობისათვის.

გრუნტში გადავიღებული ორი გამბობი ელემენტის ნომინალური სიმაღლეა 4 კვტ. ხოლო ჰაერის გათბობისათვის ორი გამბობი ელემენტის სიმაღლეა 3,4 კვტ.

ნაქ. 8—17-ზე ნაჩვენებია სითბური კაბელის გამოყენებით კვლასათბურის ელექტრული გათბობის სქემა. სპეციალური КСОП-ის ტიპის სითბური კაბელის გარედამეტრია დაახლოებით 4 მმ, ხოლო მისი კონსტრუქციის ძარღვის დიამეტრი — 0,85 მმ.

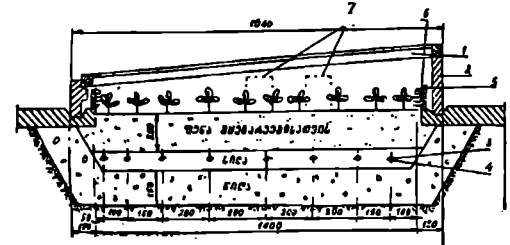


სითბური კაბელი კვლასათბურის სიგრძე იწყობა ორ სექციად 8 პარალელური ხაზის სახით; თითოეულ სექციაშია 4 ხაზი.

ნაქ. 8—16. მილოვანი გამბობი ელემენტებით კვლასათბურის ელექტრული გათბობის სქემა. 1-ჩარბო, 2-ჩაინაბტრონის გვირგვინი, 3-ჰუცარის საკვები ფენა, 4-ხილის აზბესტ-ციმენტის შიფერის ზოლის ფენა, 5-მილოვანი გამბობი ელემენტი, 6-წიფის ფენა (ზომები მოცემულია მმ-ით).

კვლასათბურის ჰაერის გათბობისათვის, გვირგვინის გასწვრივ, 1-ჩარბო, 2-ჩაინაბტრონის გვირგვინი, 3-ჰუცარის საკვები ფენა, 4-ხილის აზბესტ-ციმენტის შიფერის ზოლის ღარში მონტაჟდება 2 სექცია სითბური კაბელის 4 პარალელური ხაზის სახით. ერთი კვლასათბურისათვის დაახლოებით საჭიროა 353 მეტრი სითბური კაბელი.

ერთი კვლასათბურისათვის დაახლოებით საჭიროა 353 მეტრი სითბური კაბელი.



ნაქ. 8—17. სითბური კაბელის გამოყენებით კვლასათბურის ელექტრული გათბობის სქემა. 1-ჩარბო, 2-ჩაინაბტრონის გვირგვინი, 3-გამბობი სითბურ კაბელს ნიადაგში, 4-აზბესტ-შიფერის დამკვეთი ზესაფები, 5-კვლასათბურის ჰაერის შეზღვევის სითბური კაბელი, 6-სითბური კაბელის დამკვეთი აზბესტ-შიფერის ფენი (ან ლითონის ბადე), 7-ჰომოგენური კოლოიდის სითბური კაბელის მეტრებისათვის (ზომები მოცემულია მილიმეტრებით).

კვლასათბურებში ტემპერატურის კონტროლისა და რეგულირებისათვის გამოიყენება კონტაქტური თერმომეტრები (თერმოსიგნალიზატორები KT—100 ან KT—50 ტიპის).

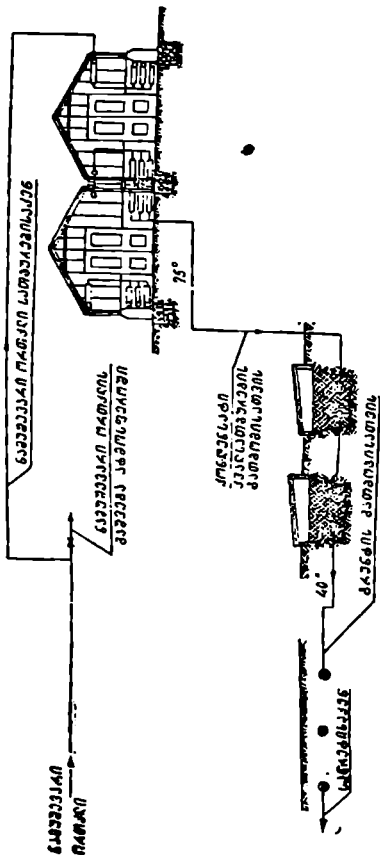
სამრეველო წარმოების ნარჩენი სითბოსა და ბუნებრივი ცხელი წყაროების გამოყენება ხათბურებისა და კვლასათბურების გათბობისათვის

ძირითადად სოფლის მეურნეობის სითბური ენერჯით მომარაგებისათვის გამოიყენება სათბოფიკაციო დანადგარები ან სპეციალური საქვაბე აგრეგატები. ასეთ შემთხვევებში სითბოს შემცველის, ე. ი. ცხელი წყლისა და

ორთქლის ღირებულება შედარებით მაღალია. ზოგიერთ შემთხვევაში, თუ კოლმეურნეობები და საბჭოთა მეურნეობები ახლოს არიან საწარმოებთან გადავიღებული, შესაძლოა გამოყენებულ იქნეს წარმოების ნარჩენი სითბური ენერჯია.

წარმოებისა და თბოელექტროსადგურების ნარჩენი სითბოს გამოყენებას საერთოდ და, კერძოდ, სოფლის მეურნეობისათვის დიდი სასარგებლო-სამეურნეო მნიშვნელობა აქვს. ამჟამად საბჭოთა კავშირში სასათბურო-საკვლასათბურო მეურნეობაში წარმოებისა და თბოელექტროსადგურების ნარჩენი სითბოს გამოყენების დიდი პრაქტიკული გამოცდილება დაგროვილი. წარმოების ნარჩენი სითბოს — ნამუშევარი

ორთქლის სახით გამოყენების სქემა სასათბურო-საკვალსათბურო მეურნეობაში მოცემულია ნაკ. 8—18-ზე.



ნაკ. 8—18. წარმოებულ მიღებული ნაშუგვარი ორთქლის გამოყენების სქემა.

როგორც ნაკეთიდან ჩანს, ნაშუგვარი ორთქლი ორთქლსადენით მიეწოდება სათბურების გათბობის სისტემაში, რომლის გათბობა ხელსაწყოებში ადგილი აქვს ორთქლის კონდენსირებას. სათბურების გათბობა ხელსაწყოებიდან კონდენსატი დაახლოებით 70—75 °C ტემპერატურით მიეწოდება კვალსათბურების გრუნტში ჩაწყობილ გათბობ მილებში. კვალსათბურების გრუნტის გათბობა მილებიდან კონდენსატი შემციურებული ტემპერატურით (დაახლოებით 35—40 °C) მიეწოდება შემთბარ გრუნტში ჩაწყობილ გათბობ მილებს.

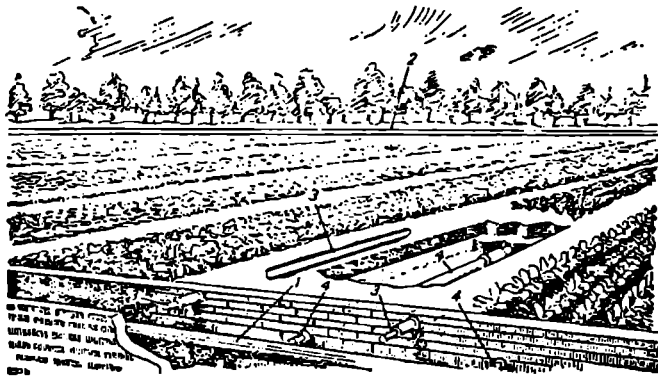
ნაკ. 8—19-ზე ნაჩვენებია შემთბარი გრუნტის ტენიკური გათბობის სქემა. როგორც ნაკეთიდან ჩანს, გრუნტში დაახლოებით 20—25 სანტიმეტრის სიღრმეზე აწყობენ მილებს, რომლებშიც გადის ორთქლი ან ცხელი წყალი (შესაძლოა ორთქლისა და ჰაერის ნარევი) და ათბობს გრუნტს. შემთბარი გრუნტის ზედაპირზე რგავენ ან თესვენ ბოსტნეულის თესლს.

წარმოებიდან მიღებული ნაშუგვარი ორთქლით შემთბარი გრუნტის გამოყენება ნადრეველ ბოსტნეულის მოსავლის მიღების საშუალებას იძლევა. შემთბარ ნიადაგში მცენარის ცხოველმოქმედებისათვის ხელსაყრელი პირობები იქმნება, მაგრამ დიდი ყინვების დროს საჭიროა სპეციალური ღონისძიებების გატარება. ცხა-

და, რომ მრეწველობის ნარჩენი სითბოს გამოყენება სასათბურო-საკვალსათბურო მეურნეობაში, დაბალი თვითღირებულებების მქონე ბოსტნეულის პროდუქციის მიღების საშუალებას იძლევა.

სამრეწველო და რაიონული საკონდენსაციო ორთქლძალური დანადგარების კონდენსატორები მუშაობენ ღრმა ვაკუუმით $p_v = 0,03 \pm 0,04$ ატა, ამის გამო ზედაპირული კონდენსატორებიდან გამოდინებული გამაცივებელი წყლის ტემპერატურა დაბალია 20—27 °C. საერთოდ თბილი წყალი, რომლის ტემპერატურა არის 20—30 °C გათბობის მიზნებისათვის არ გამოიყენება, ვინაიდან გათბობა ხელსაწყოებს ექნებათ დიდი გაბარიტული ზომები და ეკონომიურად არაახელსაყრელი იქნებიან. ამიტომ ასეთი ღრმა ვაკუუმით

მომუშავე საკონდენსაციო ორთქლძალური დანადგარების ზედაპირული კონდენსატორებიდან დიდი რაოდენობით გამოსული გამაცივებელი წყლის სითბური ენერგია ითვლება დანაკარგად. განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს სოფლის მეურნეობის ელექტრიფიკაციისა და მექანიზაციის სრულიად საკავშირო ინსტიტუტის სვერდლოვსკის ფილიალის მეცნიერ მუშაკის აშხ. ნიკიტინის პროექტი სათბურების ტექნიკური გათბობისათვის ასეთი დაბალი ტემპერატურიანი წყლის გამოსაყენებლად. აშხ. ნიკიტინის პროექტით აგებულია სათბური ფარხობით 240 მ², რომელსაც პირობით ჰიდროსათბურს უწოდებენ. ჩვეულებრივი სათბურებისაგან განსხვავებით ჰიდროსათბურების მინებიანი სახურავი თითქმის ჰორიზონტალურია, მათი დახრა ნაპირებისაკენ არ აღემატება 2—3°, ხოლო მინებიანი გვერდითი კედლების დახრა არ აღემატება 60°. დაბალი ტემპერა-

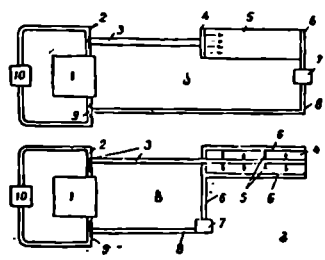
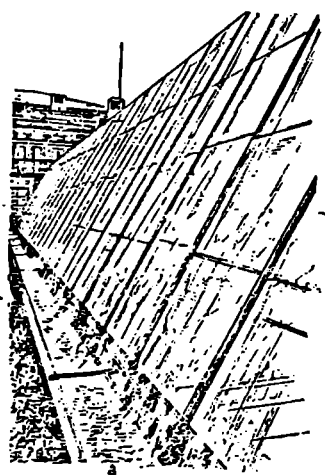
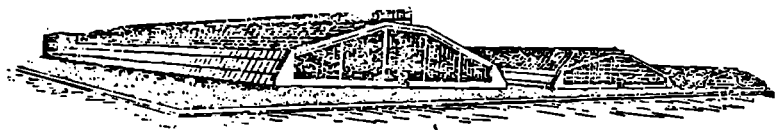


ნაქ 8—19. შემთბარი გრუნტის ტექნიკური გათბობის სქემა.
1—2-მაგისტრალური ორთქლადენები, 3-გვერდითი ბილიკების შემობობი აბუსტ-ცემენტის მილბა,
4-გრუნტის შემობობი აბუსტ-ცემენტის მილბა.

ტურის წყალი მიეწოდება მიღებით სათბურის სახურავზე მოთავსებულ ლარში. ლარის ნაპირებიდან თბილი წყალი იღვრება სახურავის მინებზე და შემდგომ მისი მინებიან კედლებზე თხელი შრის სახით, რომლის სისქე არის 4—6 მმ. ასეთი ჰიდროსათბურის სქემა ნაჩვენებია ნაქ. 8—20-ზე.

სათბურის სახურავისა და კედლების გარე ზედაპირზე თბილი წყლის მოძრაობის დროს მინების საშუალებით სითბო გადაეცემა სათბურში ჰაერს, რის გამო ჰაერი თბება საკირო ტემპერატურამდე. სათბურში ტემპერატურის რეგულირება ხორციელდება მინების ზედაპირზე მიწოდებული თბილი წყლის რაოდენობის ცვლილებით. თუ თბილი წყლის ტემპერატურა იქნება 22—35°C სათბურებში მიიღება ჰაერის საკმარისი ტემპერატურა. წყლის მოძრაობის სიჩქარე იღება 1—1,5 მ/წმ. ჰიდროსათბურების პრაქტიკული გამოყენების საკითხი შესწავლის პროცესშია.

სასათბურო-საკვალსათბურო მეურნეობის საკიროებისათვის სითბოს შემცველად აგრეთვე შესაძლოა გამოყენებულ იქნეს ბუნებრივი ცხელი წყლის წყაროები, რასაც დიდი სახალხო-სამეურნეო მნიშვნელობა ექნება.



ნაგ. 8—20. დაბალტემპერატურიანი წყლით სათბურის გათბობის სქემა.

ა, ბ-საერო ხედი; ბ-დაბალი ტემპერატურიანი წყლის მიწოდების, განაწილებისა და არინების სქემა ცალფერდა (ა) და ორფერდა (ბ) კიდრისათბურების ტექნიკური გათბობის დროს; 1-თბილი წყლის გამცემი და გაცივებული წყლის მიმღები საწარმოო ობიექტი; 2-თბილი წყლის სარინი ხახი; 3-თბილი წყლის გარემკვეთის წერტილი და ხახი; 4-განაწილადეხელი კოლოფი; 5-წყლის ადსის ქვეშ მოთავსებული მინის ზედაპირი; 6-წყალშემკრები ღარი; 7-წყალშეკრები კა; 8-წყალსარინი მიღბაყვანილობა; 9-ცივი ან გაცივებული წყლის მიწოდებული მიღბაყვანილობა; 10-წყალგასაცეხელი დანადგარი.

**კვალსათბურის სითბური გაანგარიშების ზოგიერთი საკითხი
ტიპური პროექტის მიხედვით***

განიხილოთ ნაკ. 8—12-ზე ნაჩვენები კონსტრუქციის კვალსათბური, როდესაც სითბოს შემცველად გამოიყენება ცხელი წყალი. მიღებული კონსტრუქციის კვალსათბურის მიერ სითბოს დანაკარგი საათის განმავლობაში ისაზღვრება განტოლებით

$$Q_{კვალსათ} = Q_1 + Q_{23} + Q_{2, ხ. ტ.} \quad \text{კვალ/სთ.} \quad (8-5)$$

1. Q_1 კვალ/სთ არის ერთ საათში სითბოს დანაკარგი ჩარჩოს მიერ

$$Q_1 = k_1 F_1 (t_1 - t_2, ხ. ტ.) K_{ინფ} \quad \text{კვალ/სთ,}$$

სადაც k_1 კვალ/მ² სთ °C არის ჩარჩოს თბოგადაცემის კოეფიციენტი,

F_1 მ² — ჩარჩოს ფართობი,

t_1 °C — კვალსათბურში ჰაერის ტემპერატურა მოსაყვანი კულტურის მიხედვით,

$t_2, ხ. ტ. °C$ — გარემოს ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურა,

$K_{ინფ}$ — სითბოს დანაკარგი საკულტივაციო ნაგებობის კვრითებიდან (ინფილტრაციის კოეფიციენტი $K_{ინფ} = 1,25$).

2. Q_{23} კვალ/სთ არის ერთ საათში სითბოს დანაკარგი კვალსათბურის გვირგვინის მიერ

$$Q_{23} = k_{23} F_{23} (t_3 - t_2, ხ. ტ.) \quad \text{კვალ/სთ,} \quad (8-6)$$

სადაც k_{23} კვალ/მ² სთ °C არის კვალსათბურის გვირგვინის კედლების თბოგადაცემის კოეფიციენტი,

F_{23} მ² — კვალსათბურის გვირგვინის კედლების ფართობი.

3. $Q_{2, ხ. ტ.}$ კვალ/სთ არის სითბოს დანაკარგი გვერდითი ბილიკების მიერ. აღნიშნული სითბური დანაკარგის გაანგარიშებისას განსაზღვრული უნდა იქნეს სითბოს ნაკადის განაწილება კვალსათბურსა და გვერდით ბილიკებს შორის.

ამ მეთოდით სითბური გაანგარიშებისას გრუნტში ჩაწყობილი შემთბობი მილების მიერ სითბოს გადაცემის დროს სითბური ნაკადი განისაზღვრება ფორმულით

$$q = \frac{2 \pi \cdot (t_{უბ. წყ.} - t_3)}{R_{23} + R_1 + R_2} \quad \text{კვალ/მ სთ } ^\circ C, \quad (8-7)$$

სადაც $t_{უბ. წყ.}$ °C არის ცხელი წყლის (სითბოს შემცველის) ტემპერატურა,

t_3 °C — კვალსათბურის ჰაერის ტემპერატურა, ხოლო გვერდითი ბილიკისათვის

$t_3 = t_2, ხ. ტ.,$

R_{23} — გრუნტის თერმული წინაღობა,

$R_{1იხ.}$ — პირობითი თერმული წინაღობა, შექმნილი გრუნტში მოთავსებული ნეზობელი შემთბობი მილის მიერ,

R_2 — თერმული წინაღობა გრუნტიდან ჰაერზე სითბოს გაცემის დროს.

* წყლით გათბობით კვალსათბურის სითბური გაანგარიშების შესახებ უფრო დეტალური ინფორმაციით იხ. «Парники с водным обогревом,» типовой проект № 1035, издательство МСХ, СССР, 1955 г.

პ	ს	ს'	ს''	ს'''	ი'	ი''	რ	ს'	ს''
0,010	6,698	0,0010001	131,7	0,007595	6,73	600,1	593,4	0,0243	2,1447
0,015	12,737	0,0010007	89,64	0,01116	12,78	602,8	590,0	0,0457	2,1096
0,020	17,204	0,0010013	68,27	0,01465	17,24	604,8	587,6	0,0612	2,0847
0,025	20,776	0,0010020	55,28	0,01809	20,80	606,4	585,6	0,0735	2,0655
0,030	23,772	0,0010027	46,53	0,02149	23,79	607,7	583,9	0,0836	2,0499
0,035	26,359	0,0010034	40,23	0,02486	26,37	608,8	582,4	0,0923	2,0366
0,040	28,641	0,0010041	35,46	0,02820	28,65	609,8	581,1	0,0998	2,0253
0,045	30,69	0,0010047	31,73	0,03152	30,69	610,7	580,0	0,1065	2,0153
0,050	32,55	0,0010053	28,73	0,03481	32,55	611,5	578,9	0,1126	2,0064
0,060	35,82	0,0010064	24,19	0,04134	35,81	612,9	577,1	0,1232	1,9908
0,070	38,66	0,0010074	20,92	0,04780	38,64	614,1	575,5	0,1324	1,9779
0,080	41,16	0,0010084	18,45	0,05421	41,14	615,2	574,1	0,1402	1,9664
0,090	43,41	0,0010093	16,51	0,06056	43,38	616,2	572,8	0,1474	1,9564
0,10	45,45	0,0010101	14,95	0,06688	45,41	617,0	571,6	0,1538	1,9478
0,11	47,33	0,0010108	13,67	0,07315	47,29	617,8	570,5	0,1596	1,9399
0,12	49,06	0,0010116	12,60	0,07938	49,01	618,5	569,5	0,1650	1,9326
0,13	50,67	0,0010123	11,68	0,08559	50,62	619,2	568,6	0,1700	1,9259
0,14	52,18	0,0010130	10,89	0,09177	52,13	619,9	567,8	0,1747	1,9197
0,15	53,60	0,0010137	10,21	0,09791	53,54	620,5	567,0	0,1790	1,9140
0,20	59,67	0,0010170	7,795	0,1283	59,61	623,1	563,5	0,1974	1,8903
0,25	64,56	0,0010196	6,322	0,1582	63,49	625,1	560,6	0,2120	1,8718
0,30	68,68	0,0010221	5,328	0,1877	68,61	626,8	558,2	0,2241	1,8567
0,40	75,42	0,0010261	4,069	0,2458	75,36	629,5	554,1	0,2437	1,8336
0,50	80,86	0,0010296	3,301	0,3029	80,81	631,6	550,8	0,2592	1,8150
0,60	85,45	0,0010326	2,783	0,3594	85,41	633,4	548,0	0,2721	1,8001
0,70	89,45	0,0010355	2,409	0,4152	89,43	634,9	545,5	0,2832	1,7874
0,80	92,99	0,0010381	2,125	0,4705	92,99	636,2	542,2	0,2930	1,7767
0,90	96,18	0,0010405	1,904	0,5253	96,19	637,4	541,2	0,3018	1,7673
1,0	99,09	0,0010428	1,725	0,5797	99,12	638,5	539,4	0,3096	1,7587
1,1	101,76	0,0010449	1,578	0,6337	101,81	639,4	537,6	0,3168	1,7510
1,2	104,25	0,0010468	1,455	0,6875	104,32	640,3	536,0	0,3235	1,7440
1,3	106,56	0,0010487	1,350	0,7410	106,66	641,2	534,5	0,3297	1,7375
1,4	108,74	0,0010504	1,259	0,7942	108,85	642,0	533,1	0,3354	1,7315
1,5	110,79	0,0010521	1,180	0,8472	110,92	642,8	531,9	0,3408	1,7260
1,6	112,73	0,0010537	1,111	0,8999	112,89	643,5	530,6	0,3459	1,7209
1,7	114,57	0,0010553	1,050	0,9524	114,76	644,1	529,3	0,3508	1,7161
1,8	116,33	0,0010569	0,9952	1,005	116,54	644,7	528,2	0,3554	1,7115
1,9	118,01	0,0010584	0,9460	1,057	118,24	645,3	527,1	0,3597	1,7071
2,0	119,62	0,0010599	0,9016	1,109	119,87	645,8	525,9	0,3638	1,7029
2,1	121,16	0,0010614	0,8613	1,161	121,4	646,3	524,9	0,3677	1,6989
2,2	122,65	0,0010628	0,8246	1,213	122,9	646,8	523,9	0,3715	1,6952
2,3	124,08	0,0010641	0,7910	1,264	124,4	647,3	522,9	0,3751	1,6917
2,4	125,46	0,0010654	0,7601	1,316	125,8	647,8	522,0	0,3786	1,6884
2,5	126,79	0,0010666	0,7316	1,367	127,2	648,3	521,1	0,3820	1,6851
2,6	128,08	0,0010678	0,7052	1,418	128,5	648,7	520,2	0,3853	1,6819
2,7	129,34	0,0010690	0,6806	1,469	129,8	649,1	519,3	0,3884	1,6788
2,8	130,55	0,0010701	0,6578	1,520	131,0	649,5	518,5	0,3914	1,6759
2,9	131,73	0,0010713	0,6365	1,571	132,2	649,9	517,7	0,3944	1,6730
3,0	132,88	0,0010725	0,6166	1,622	133,4	650,3	516,9	0,3973	1,6703
3,1	134,00	0,0010736	0,5979	1,673	134,5	650,6	516,1	0,4001	1,6676
3,2	135,08	0,0010747	0,5804	1,723	135,6	650,9	515,3	0,4028	1,6650

პ	ტ	უ'	უ''	უ'''	ი'	ი''	რ	ს'	ს''
3,3	136,14	0,0010759	0,5639	1,773	136,7	651,2	514,5	0,4055	1,6625
3,4	137,18	0,0010769	0,5483	1,824	137,8	651,6	513,8	0,4081	1,6601
3,5	138,19	0,0010780	0,5335	1,874	138,8	651,9	513,1	0,4106	1,6579
3,6	139,18	0,0010790	0,5196	1,925	139,8	652,2	512,4	0,4130	1,6557
3,7	140,15	0,0010799	0,5064	1,975	140,8	652,5	511,7	0,4153	1,6536
3,8	141,09	0,0010809	0,4939	2,025	141,8	652,8	511,0	0,4176	1,6514
3,9	142,02	0,0010818	0,4820	2,075	142,7	653,1	510,4	0,4199	1,6494
4,0	142,92	0,0010823	0,4706	2,125	143,6	653,4	509,8	0,4221	1,6474
4,1	143,81	0,0010837	0,4598	2,175	144,5	653,7	509,2	0,4243	1,6454
4,2	144,68	0,0010846	0,4495	2,225	145,4	653,9	508,5	0,4264	1,6435
4,3	145,54	0,0010856	0,4397	2,274	146,3	654,2	507,9	0,4285	1,6416
4,4	146,38	0,0010865	0,4303	2,324	147,2	654,4	507,2	0,4306	1,6398
4,5	147,20	0,0010875	0,4213	2,374	148,0	654,7	506,7	0,4326	1,6380
5,0	151,11	0,0010918	0,3816	2,621	152,1	655,8	503,7	0,4422	1,6297
6,0	158,08	0,0010999	0,3213	3,112	159,3	657,8	498,5	0,4591	1,6151
7,0	164,17	0,0011072	0,2778	3,600	165,6	659,4	493,8	0,4737	1,6029
8,0	169,61	0,0011140	0,2448	4,085	171,3	660,8	489,5	0,4865	1,5923
9,0	174,53	0,0011203	0,2189	4,568	176,4	662,0	485,6	0,4980	1,5827
10,0	179,04	0,0011262	0,1981	5,049	181,2	663,0	481,8	0,5085	1,5740
11,0	183,20	0,0011318	0,1808	5,530	185,6	663,9	478,3	0,5180	1,5661
12,0	187,08	0,0011373	0,1664	6,010	189,7	664,7	475,0	0,5269	1,5592
13,0	190,71	0,0011425	0,1541	6,488	193,5	665,4	471,9	0,5352	1,5526
14,0	194,13	0,0011476	0,1435	6,967	197,1	666,0	468,9	0,5430	1,5464
15,0	197,36	0,0011524	0,1343	7,446	200,6	666,6	466,0	0,5503	1,5406
16,0	200,43	0,0011571	0,1262	7,925	203,9	667,1	463,2	0,5572	1,5351
17,0	203,35	0,0011619	0,1190	8,405	207,1	667,5	460,4	0,5638	1,5300
18,0	206,14	0,0011663	0,1126	8,886	210,1	667,9	457,8	0,5701	1,5251
19,0	208,81	0,0011707	0,1068	9,366	213,0	668,2	455,2	0,5761	1,5205
20,0	211,38	0,0011751	0,1016	9,846	215,8	668,5	452,7	0,5820	1,5160
21,0	213,85	0,0011794	0,09682	10,33	218,5	668,7	450,2	0,5875	1,5118
22,0	216,23	0,0011834	0,09251	10,81	221,2	668,9	447,7	0,5928	1,5078
23,0	218,53	0,0011874	0,08856	11,29	223,6	669,1	445,5	0,5978	1,5038
24,0	220,75	0,0011914	0,08492	11,78	226,1	669,3	443,2	0,6026	1,5000
25,0	222,90	0,0011952	0,08157	12,26	228,5	669,3	440,9	0,6074	1,4962
26,0	224,99	0,0011991	0,07846	12,75	230,8	669,5	438,7	0,6120	1,4926
27,0	227,01	0,0012029	0,07557	13,23	233,0	669,6	436,6	0,6164	1,4891
28,0	228,98	0,0012068	0,07288	13,72	235,2	669,6	434,4	0,6206	1,4857
29,0	230,89	0,0012106	0,07037	14,21	237,4	669,7	432,3	0,6248	1,4825
30,0	232,76	0,0012142	0,06802	14,70	239,5	669,7	430,2	0,6290	1,4793
32,0	236,35	0,0012214	0,06375	15,69	243,6	669,7	426,1	0,6368	1,4732
34,0	239,77	0,0012285	0,05995	16,68	247,5	669,6	422,1	0,6443	1,4673
36,0	243,04	0,0012355	0,05658	17,68	251,2	669,5	418,3	0,6515	1,4617
38,0	246,17	0,0012424	0,05353	18,68	254,8	669,3	414,5	0,6584	1,4564
40,0	249,18	0,0012493	0,05078	19,69	258,2	669,0	410,8	0,6649	1,4513
42,0	252,07	0,0012561	0,04828	20,71	261,6	668,8	407,2	0,6712	1,4463
44,0	254,87	0,0032627	0,04601	21,73	264,9	668,4	403,5	0,6773	1,4415
46,0	257,56	0,0012695	0,04393	22,76	268,0	668,1	400,0	0,6832	1,4369
48,0	260,17	0,0012762	0,04301	23,80	271,2	667,7	396,5	0,6889	1,4324
50,0	262,70	0,0012828	0,04024	24,85	274,2	667,3	393,1	0,6944	1,4280
55,0	268,69	0,0012989	0,03536	27,50	281,4	666,2	384,8	0,7075	1,4176
60,0	274,29	0,0013150	0,03310	30,21	288,4	665,0	376,6	0,7196	1,4078

ρ	t	v'	v''	γ''		z''	r	s'	s''
65	279,54	0,0013307	0,03033	32,97	294,8	663,6	368,8	0,7311	1,3986
70	284,48	0,0013467	0,02795	35,78	300,9	662,1	361,2	0,7420	1,3897
75	289,17	0,0013625	0,02587	38,66	307,0	660,5	353,5	0,7524	1,3813
80	293,62	0,0013786	0,02404	41,60	312,6	658,9	346,3	0,7623	1,3731
85	297,86	0,0013951	0,02241	44,62	318,2	657,0	338,8	0,7718	1,3654
90	301,92	0,001412	0,02096	47,71	323,6	655,1	331,5	0,7810	1,3576
95	305,80	0,001428	0,01964	50,91	328,8	653,2	324,4	0,7898	1,3500
100	309,53	0,001445	0,01845	54,21	334,0	651,1	317,1	0,7983	1,3424
110	316,58	0,001480	0,01837	61,08	344,0	646,7	302,7	0,8147	1,3279
120	323,15	0,001518	0,01462	68,42	353,9	641,9	288,0	0,8306	1,3138
130	329,30	0,001558	0,01312	76,23	363,0	636,6	273,6	0,8458	1,2998
140	335,09	0,001599	0,01181	84,68	372,4	631,0	258,6	0,8606	1,2858
150	340,56	0,001646	0,010650	93,9	381,7	624,9	243,2	0,8749	1,2713
160	345,74	0,001699	0,009616	104,0	390,8	618,3	227,5	0,8892	1,2564
170	350,66	0,001756	0,008680	115,2	400,3	610,8	210,5	0,9035	1,2411
180	355,35	0,001821	0,007809	128,0	410,2	602,5	192,3	0,9186	1,2251
190	359,82	0,001902	0,006994	143,0	420,4	593,2	172,8	0,9347	1,2081
200	364,08	0,002010	0,006200	161,2	431,5	582,3	150,8	0,9514	1,1883
210	368,16	0,00214	0,00539	185,7	444,7	568,1	123,4	0,9714	1,1636
220	372,1	0,00239	0,00449	223,0	463,4	547,0	84,0	1,0020	1,1310
224	373,6	0,00261	0,00394	254,0	478,0	532,0	54,0	1,0220	1,1000

კრიტიკული წერტილის პარამეტრები:
 ტემპერატურა . . . 374,15 °C
 წნევა . . . 225,65 კგ/სმ²
 მოცულობა . . . 0,00307 მ³/კგ

წყალი და წყლის გადაზიდვები ტერიტორიაში (შემოქმედებული ტერიტორია)

ა) ჰიდროლოგიური მონიტორინგის საფუძველზე (საზღვრის შემოღების შემთხვევაში, წყლის დონის ცვლილება) ლმ/კმ

რ. კმ/მწკ	60°	100°	140°	180°	220°	260°	300°	340°	380°	420°	460°	500°
0,05	31,31	35,08	38,85	42,62	46,39	50,15	53,92	57,69	61,46	65,21	68,98	72,74
0,10	15,64	17,53	19,42	21,30	23,19	25,07	26,96	28,84	30,72	32,61	34,49	36,38
0,20	7,797	8,752	9,699	10,64	11,58	12,53	13,47	14,40	15,34	16,29	17,23	18,17
0,5	1,0171	3,487	3,870	4,250	4,629	5,008	5,387	5,767	6,144	6,521	6,898	7,275
1,0	1,0170	1,730	1,926	2,119	2,310	2,500	2,690	2,880	3,068	3,257	3,446	3,635
2,0	1,0170	1,0435	0,9545	1,052	1,149	1,245	1,341	1,437	1,532	1,626	1,721	1,815
5,0	1,0168	1,0433	1,0797	0,4129	0,4937	0,4935	1,5327	0,5715	0,6101	0,6485	0,6867	0,7248
10,0	1,0166	1,0430	1,0794	0,1987	0,22,4	0,2426	0,2630	0,2829	0,3028	0,3223	0,3417	0,3609
20,0	1,0161	1,0425	1,0788	-	0,1043	0,1168	0,1281	0,1386	0,1491	0,1592	0,1692	0,1790
50	1,0148	1,0409	1,0770	1,1243	1,1878	1,2751	0,4546	0,05186	0,05671	0,06130	0,06571	0,06999
100	1,0126	1,0344	-0,740	1,1203	1,1810	1,2650	1,3979	0,02210	0,02561	0,02850	0,03109	0,03352
200	1,0083	1,0337	1,0682	1,1123	1,1701	1,2472	1,3612	1,573	0,00870	0,01156	0,01352	0,01513

ბ) ხომლომეცემლობა (ტბა-ტბა) | კმ/კმ

რ. კმ/მწკ	60°	100°	140°	180°	220°	260°	300°	340°	380°	420°	460°	500°
0,05	624,5	642,5	660,6	678,9	697,3	715,9	734,6	753,6	773,0	792,6	812,6	832,9
0,10	642,1	642,3	660,4	678,7	697,1	715,7	734,5	753,5	772,8	792,5	812,4	832,8
0,20	623,7	642,1	660,3	678,6	697,0	715,7	734,5	753,5	772,8	792,4	812,4	832,7
0,5	59,9	641,2	659,6	678,0	696,5	715,2	734,1	753,3	772,7	792,3	812,3	832,7
1,0	60,0	639,1	658,6	677,1	695,9	714,9	733,8	753,0	772,4	792,2	812,2	832,7
2,0	60,0	100,1	656,7	675,9	694,8	714,0	733,4	752,8	772,4	792,1	812,1	832,4
5,0	60,0	100,1	140,7	672,0	691,9	711,6	731,4	751,2	771,1	791,1	811,3	831,6
10,0	60,1	100,2	140,7	663,6	686,7	707,7	728,0	748,5	768,9	789,3	809,7	830,3
20,0	60,3	100,4	140,9	182,3	674,6	698,9	721,3	743,2	764,5	785,6	806,6	827,7
50	60,9	100,9	141,4	182,6	225,5	271,0	698,4	725,6	750,6	774,3	797,2	819,8
100	61,9	101,8	142,1	183,2	226,5	270,9	320,7	689,0	724,2	753,5	780,1	805,3
200	63,8	103,6	143,7	184,4	226,5	270,7	318,4	375,0	640,0	701,5	741,3	774,7

ბამოყენებულ ლიტერატურა

1. ანანიაშვილი გ. დ.—კრწანისის ბიოენერგეტიკული დანადგარი, 1958 წ.
2. ანანიაშვილი გ. დ.—ბიოთერმული და ქელო-ბიოთერმული დანადგარები, 1958 წ.
3. Антонюк А. А.—Теплофикация пригородного овощеводства, 1955 г.
4. Брауде Н. Е., Жарнов Н. И., Паршин А. А., Розенгауз М. Н., Сте-
нянз А. И., Уваров В. В.—Современные котельные агрегаты, 1959 г.
5. Брилинг Н. Р.—Двигатели внутреннего сгорания ОНТИ—НКТП СССР—1935 г.
6. Вукалович М. П., Новилов И. И.—Техническая термодинамика, 1955 г.
7. Вукалович М. П.—Термодинамические свойства водяного пара, 1955 г.
8. Гливинский И. А.—Тепловые, гидравлические и ветряные двигатели сельских
электростанций, 1958 г.
9. Грановский Р. Г.—Котельные установки, 1957 г.
10. Гухман А. А.—Физические основы теплопередачи, 1934 г.
11. Дежин А. В. и др.—Паросиловая установка ЛПУ—1, 1955 г.
12. Долговский Н. М.—Теплотехника в тепловое хозяйство электростанций,
1959 г.
13. Жуковский В. С.—Техническая термодинамика, 1952 г.
14. Ицкович А. М.—Техническая термодинамика, 1957 г.
15. Караковский Н. Ф., Глаголев Н. М., Шелудько И. М.—Стационарные
двигатели внутреннего сгорания, 1955 г.
16. Касаткин А. Г.—Основные процессы и аппараты химической технологии,
1950 г.
17. Карпичев М. В., Михеев М. А. и Эйгенсон Л. С.—Теплопередача, 1940 г.
18. Корольков Е. Д.—Парники на паровом обогреве, 1953 г.
19. Корольков Е. Д.—Использование тепловых отходов промышленности для вы-
ращивания овощей, 1957 г.
20. Кузнецов Н. В.—Известия ВТИ, № 5, 1947 г.
21. Кузнецов Н. В., Карасика Э. С.—Формулы для коэффициента теплоотдачи в
гладкотрубных пучках при поперечном обтекании. Теплоэнергетика.
1954 г., № 6.
22. Кутателадзе С. С.—Основы теории теплообмена, 1957 г.
23. Ковалевский Е. С., Моргулис Ю. Б., Эрдеди В. К.—Дизельные установки
малой и средней мощности, 1957 г.
24. Левин Р. Е.—Теплотехника, 1951 г.
25. ლიბოვიჯი ა. ნ. თბოტექნიკა, 1949 წ.
26. Литвин А. М.—Техническая термодинамика, 1956 г.
27. Ломинадзе Ш. П.—К вопросу увеличения паропроизводительности котельных
установок на действующих деревообрабатывающих предприятиях,
Груз. НИТОЛес, 1954 г.
28. Ломинадзе Ш. П.—Расчетная теоретическая формула для вычисления мак-
симально допустимых скоростей газов в котлоагрегатах при сжигании
топлива в пылевидном состоянии, издание Груз. СХИ, 1941 г.
29. Лебедев П. Д. и Шукин А. А.—Фабрично-заводская теплотехника, 1948 г.
30. ლიბოვიჯი ა. ნ.—თბოვადობა, 1958 წ.
31. Мак-Адамс—Теплопередача, ОНТИ, 1936 г.
32. Максимова Г. А. и Орлов А. И.—Отопление и вентиляция (I отопление),
1954 г.

33. მიხევეი მ. ა.—თბოვადობის საფუძვლები, 1953 წ.
34. მახალდიანი ვ. ე.—სატრაქტორო და საავტომობილო ძრავები, 1959 წ.
35. М л о д з а е в с к и й А. Б.—Термодинамика, 1948 г.
36. Морозов А. В., Романенко П. Н.—Теплосиловые установки лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности, 1956 г.
37. მაცაბერიძე ლ. მ.—საკვებ აგეგმვის სანიმუშო სიძველე განვითარება, 1958 წ.
38. Ни ну а Н. Е.—Теоретические и экспериментальные исследования регенеративного воздухоподогревателя с подвижной шариковой насадкой, научное сообщение № 20 ТБИИЖТ-а, 1958 г.
39. Общая теплотехника, под редакцией Корницкого С. Я. и Рубаштейна Я. М., 1952.
40. Парники с водяным обогревом, проект № 1035 (МСХ СССР), 1955 г.
41. Парники на паровоздушном обогреве (РСХВ), 1957 г.
42. Парники на электрическом обогреве (ВСХВ), 1957 г.
43. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых котлов, 1959 г.
44. Применение электрической энергии в сельском хозяйстве, под редакцией Евреинова М. Т., 1958 г.
45. Ра ви ч М. Б.—Упрощенная методика теплотехнических расчетов, 1958 г.
46. Puschmann/Drahtl—Die Grundzüge der technischen Wärmelehre, Leipzig, 1957.
47. Смирнов В. И.—Тепловые установки для животноводческих ферм, 1952 г.
48. Стырикович М. А., Катковская К. Я., Серов Е. П.—Котельные агрегаты, 1959 г.
49. Смирнов В. П.—Котельные установки, 1959 г.
50. სუ შკოვი ვ. ე.—ტექნიკური თერმოდინამიკა, 1957 წ.
51. ტარევევი გ. მ., შატვევევი გ. ა., გრიგორიძე ს. ნ., თბოტექნიკა, 1955 წ.
52. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод), ЦКТИ и ВТИ, 1957 г.
53. ტურაშვილი ი. ა.—ტექნიკური თერმოდინამიკა, 1950 წ.
54. Теплотехнический справочник (том I и II), 1957, 1958 г.г.
55. ხანთაძე გ. ა.—სატრაქტორო და საავტომობილო ძრავების გამოცდა, 1956 წ.
56. Шомье П.—Электрообогрев в парниках и теплицах, 1959 г.
57. Шюлле В.—Техническая термодинамика, 1956 г.
58. Шуров М. В.—Двигатели внутреннего сгорания, 1940 г.
59. Чернядев А. Н.—Теплофикация колхозов, 1954 г.
60. Чернядев А. Н.—Опыт теплофикации сельского хозяйства, 1957 г.
61. Эпштейн П. С.—Курс термодинамики, 1948 г.
62. Ястржембский Н. Н.—Техническая термодинамика, 1953 г.

პირველი ნაწილი 1

თბოთბენიის თეორიული საფუძვლები

განყოფილება პირველი

ტექნიკური თერმოდინამიკა

თ ა ვ ი 1-1. ტექნიკური თერმოდინამიკის საგანი და ძირითადი ცნებანი

1-1. ტექნიკური თერმოდინამიკის საგანი	8
1-2 ცნება სითბოზე	9
1-3. მუშა სხეული. ცნება აირზე	10
1-4. აირებისა და ორთქლის მდგომარეობის განმსაზღვრელი სიდიდეები და ტექნიკაში გამოყენებული მათი განზომილების ერთეულები	11

თ ა ვ ი 1-2. იდეალური აირები და მათი ძირითადი კანონები

1-5. ცნება იდეალურ აირზე	17
1-6. აირების კინეტიკური თეორიის ძირითადი განტოლება	18
1-7. ბოილ-მარიოტის კანონი	19
1-8. გვი-ლესაქის კანონი	21
1-9. ბოილ-მარიოტისა და გვი-ლესაქის გაერთიანებული კანონი	21
1-10 იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლება	22
1-11. ავოგადროს კანონი. კილოგრამმოლეკულა ანუ მოლი	23
1-12. აირის უნივერსალური მუდმივა. მდგომარეობის განტოლება ერთი მოლი იდეალური აირისათვის	25
1-13. რეალური აირების თვისებანი. რეალური აირის მდგომარეობის განტოლება ვან-დერ-ვალსისა	26

თ ა ვ ი 1-3. აირების ნარევიები

1-14. ცნება აირების ნარევიებზე. დალტონის კანონი	29
1-15. აირების ნარევის შედგენილება წონითი და მოცულობითი ნაწილებით	31
1-16. წონით და მოცულობით ნაწილებს შორის თანაფარდობა	33
1-17. ნარევი ხედრითი წონისა და ხედრითი მოცულობის განსაზღვრა	35
1-18. ნარევის საშუალო (ანუ წარმოსახვითი) მოლეკულური წონისა და მუდმივის განსაზღვრა	36
1-19. პარციალური წნეების განსაზღვრა	39

თ ა ვ ი 1-4. სითბოტევადობა

1-20. ენერჯიის განზომილების ერთეულები	40
1-21. იდეალური აირის შიგა ენერჯია	41
1-22. ძირითადი ცნებანი სითბოტევადობაზე. აირის წონითი, მოცულობითი და მოლური სითბოტევადობანი და მათ შორის დამოკიდებულება. სითბოტევადობა მუდმივი მოცულობისა და მუდმივი წნევის დროს	43
1-23. აირთა სითბოტევადობის მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია	44

1—24. მუდმივი და ცვალებადი სითბოტეკადობანი, საშუალო და ნამდვილი სითბოტეკადობანი	49
1—25. აირთა ნარევის თბოტეკადობა	54

თ ა ვ ი 1—5. თერმოდინამიკის პირველი კანონი

1—26. თერმოდინამიკის პირველი კანონი და ენერჯის მუდმივობის კანონი. სითბური და მექანიკური ენერჯიების გვერდშეკრება	55
1—27. აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესების გრაფიკული ზომისაზე pV დიაგრამაზე	57
1—28. თერმოდინამიკის პირველი კანონის მათემატიკური გამოსახულება	59
1—29. აირის მუშაობა, მისი გამსახურება და pV დიაგრამაზე გრაფიკული გამოსახულება	61
1—30. აირის შიგა ენერჯია	64

თ ა ვ ი 1—6. ძირითადი თერმოდინამიკური პროცესების გამოკვლევა

1—31. გამოკვლევის თანამიმდევრობა და მეთოდი	64
1—32. პროცესი მუდმივი მოცულობის დროს (იზოქორული პროცესი)	66
1—33. იდეალური აირის შიგა ენერჯის გამოთვლა. თერმოდინამიკის პირველი კანონის განტოლება იდეალური აირისათვის	67
1—34. პროცესი მუდმივი წნევის დროს (იზობარული პროცესი)	69
1—35. მიჯრის ფორმულა. სითბოტეკადობათა ფარდობა κ	70
1—36. სითბოშემცველობა	72
1—37. პროცესი მუდმივი ტემპერატურის დროს (იზოთერული პროცესი)	73
1—38. ადიამატური პროცესი	76
1—39. პოლიტროპული პროცესები და მათი გამოკვლევა	81
1—40. აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესები ცვალებადი სითბოტეკადობის დროს	85

თ ა ვ ი 1—7. თერმოდინამიკის მეორე კანონი

1—41. შექცევადი და შეუქცევადი პროცესები	86
1—42. წრიული პროცესები ანუ ციკლები	88
1—43. კარნოს ციკლი	92
1—44. კარნოს შექცევადი ციკლი	95
1—45. კარნოს თეორემა	96
1—46. თერმოდინამიკის მეორე კანონის ფორმულირებანი	96
1—47. აირთა ენტროპია	99
1—48. სითბური დიაგრამა	103
1—49. ენტროპიის, როგორც სხვადასხვა პარამეტრის ფუნქციის, გამოსახულება	105
1—50. თერმოდინამიკური პროცესებისა და კარნოს ციკლის გამოსახულება TS დიაგრამაზე	107
1—51. განზოგადებული სისტემის ენტროპია	111
1—52. კლუზიუსის განზოგადებთა უმართებულება. ენტროპიის ზრდის პრინციპის ხე-გითითი განზოგადების ანალიზი	112

თ ა ვ ი 1—8. დგუშიანი შეაწეხის ძრავების ციკლები

1—53. ციკლი მუდმივი მოცულობის დროს სითბოს მიწოდებით	116
1—54. ციკლი მუდმივი წნევის დროს სითბოს მიწოდებით	120
1—55. ციკლი შერეული პროცესის დროს სითბოს მიწოდებით	124
1—56. აირტუბინების ციკლები	128
1—57. კომპრესორის ციკლი	133

თ ა ვ ი 1—9. წყლის ორთქლი

1—58. წყლის ორთქლი და მასი მიღება. დუღილი და ორთქლადქცევა. pV დიაგრამა წყლის ორთქლისათვის	138
1—59. წყლისა და მშრალი ნაყერი ორთქლის პარამეტრები. სითბის სითბო, ორთქლადქცევის ფარული სითბო. მშრალი ნაყერი ორთქლის სრული სითბო და შიგა ენერჯია	144

1—60.	ტენიანი ნაჯერი ორთქლის პარამეტრები, სრული სითბო და შიგა ენერჯია . . .	148
1—61.	გადახურებული ორთქლი. გადახურებული ორთქლის პარამეტრები, სრული სითბო და შიგა ენერჯია	150
1—62.	წყლის ორთქლის ენტროპია. TS და JS დიაგრამები წყლის ორთქლისათვის	152
1—63.	წყლის ორთქლის ცხობილება	158
1—64.	აირებისა და ორთქლების გამოდინება	159
1—65.	აირებისა და ორთქლების დროსელირება	168

თ ა ვ ი 1—10. ორთქლძალურა დანადგარების ციკლები

1—66.	ორთქლძალური დანადგარის პრინციპული სქემა .	171
1—67.	კარნოს ციკლი .	171
1—68.	რენკინის ციკლი .	174
1—69.	მეიერის ციკლი	181
1—70.	ციკლი ორთქლის შუალედური გადახურებით	182
1—71.	თბოფიკაციის თერმოდინამიკური საფუძვლები .	183
1—72.	რეგენერაციული ციკლი .	185
1—73.	ენება ბინარულ ციკლებზე	187

თ ა ვ ი 1—11. ცნება სამაცივრო დანადგარის ციკლებზე

1—74.	ჭერის კომპრესორიანი სამაცივრო დანადგარის ციკლი .	193
1—75.	ორთქლის კომპრესორიანი სამაცივრო დანადგარის ციკლი	196

თ ა ვ ი 1—12. ტენიანი პაერი

1—76.	ძირითადი განსახლურანი	200
1—77.	ახსოვლტური და ფარდობითი ტენიანობა	202
1—78.	ტენშემცველობა	202
1—79.	ტენიანი პაერის ზედერთი წონა და აირის მუდმივა	203
1—80.	ტენიანი პაერის სითბოშემცველობა	205
1—81.	J-d დიაგრამა	205

განყოფილება მეორე

თბოგადაცემა

თბოგადაცემის თეორიის ძირითადი დებულებანი

თ ა ვ ი 1—1. სითბოგამტარობა

2—1.	სითბოგამტარობის ძირითადი ცნებანი	208
2—2.	სითბოგამტარობა ერთშრიან ბრტყელ კედელში .	210
2—3.	სითბოგამტარობა სამშრიან ბრტყელ კედელში .	211
2—4.	სითბოგამტარობა ერთშრიან ცილინდრულ კედელში .	213
2—5.	სითბოგამტარობა სამშრიან ცილინდრულ კედელში .	214

თ ა ვ ი 2—2. კონვექციით სითბოს გავრცელება

2—6.	კონვექციით სითბოს გავრცელების ძირითადი ცნებანი	216
2—7.	კონვექციით სითბოგადაცემა სითხის ან აირის ნაკადიდან ბრტყელი კედლის ზედაპირზე და პირიქით	217
2—8.	კონვექციით სითბოგადაცემა სითხის ან აირის ნაკადიდან ცილინდრული კედლის ზედაპირზე და პირიქით	218
2—9.	მსგავსების თეორიის საფუძვლების ზოგიერთი საკითხი	219
2—10.	კონვექციით სითბოს გავრცელებისას სითბოგადაცემის ემპირიული ფორმულები კრიტერიული სახით	223

თ ა ვ ი 2—3. სითბური გამოსხივება

2—11.	სითბური გამოსხივების ძირითადი ცნებანი .	227
2—12.	სტეფან-ბოლცმანის კანონი	227

2—13. პლანკის კანონი	229
2—14. ნატრისფერი სხეულების გამოსხივება .	230
2—15. კრახზოლის კანონი	231
2—16. სხივადი სითბოს ურთიერთგადაცემა სხეულებს შორის	232
2—17. სამატომიანი აირების გამოსხივება	235
2—18. ცნება საცეცხლში სხივფენით სითბოს გაფრცელების გაანგარიშების შესახებ	235

თ ა ვ ი 2—4. რთულ სითბოგაცემა და თბოგადაცემა

2—19. ძირითადი ცნებანი რთულ სითბოგაცემაზე	237
2—20. თბოგადაცემა ცხელი არედან ცივ არეზე ბრტყელი კედლის საშუალებით .	238
2—21. თბოგადაცემა ცხელი არედან ცივ არეზე ცილინდრული კედლის საშუალებით .	240

თ ა ვ ი 2—5. სითბოს გაფრცელება თბოგადაცემე აპარატებში

2—22. ძირითადი დებულებანი	242
2—23. ტემპერატურული დაწნევა (სხვაობა)	244

ნ ა ო რ ი ნ ა წ ი ლ ი

ო რ თ ღ ლ ის ს ი ძ ლ ი

გ ა ნ ყ ო ფ ი ლ ე ბ ა მ ე ს ა მ ე

ს ა ქ ე ბ ა ბ ე დ ა ნ ა დ გ ა რ ე ბ ი

თ ა ვ ი 3—1. ზოგადი ცნებანი და განსაზღვრანი

3—1. საქებაზე დანადგარი და მისი დანიშნულება .	246
-----------------------------------------------	-----

თ ა ვ ი 3—2. სათბობი

3—2. სათბობის სახეები	248
3—3. სათბობის შედგენილობა და დაწესი სითბო (სითბოს უნარი) .	249
3—4. სსრკ სათბობების მახასიათებლები	253
3—5. სათბობის წყის პროცესის რეაქციები	260

თ ა ვ ი 3—3. ქვაბაგრეცატის საკვები წყლის მომზადება

3—6. ზოგადი ცნებანი და წყლის გამოყენება ორთქლალურ დანადგარებში .	268
3—7. მინადულის წარმოქმნა .	270
3—8. ორთქლის ქვაბის გაჭრევა	270
3—9. საკვები წყლის ბალანსი	270
3—10. კონდენსაციის დანაკარგის შეფების ხერხები .	271
3—11. წყლის მომზადების ზოგიერთი ხერხი	271
3—12. საკვები წყლის დეაერაცია	273
3—13. ორთქლის გაუქვყიანება და მასთან ბრძოლა	273

თ ა ვ ი 3—4. საქებაზე დანადგარის სითბური ბალანსი

3—14. სითბური ბალანსის მდგენელი ნაწილები .	273
--------------------------------------------	-----

თ ა ვ ი 3—5. საცეცხლეს ხივრცის სითბური ბალანსი

3—15. წყის თერორული ტემპერატურა და საცეცხლეს მ. ქ. კ.	279
3—16. აირების ტემპერატურა საცეცხლედან გამოსვლისას და ქვების რადიაციული ხერხების ხედპირი	280

თ ა ვ ი 3—6. საცეცხლეები

3—17. საცეცხლეებში წყის პროცესის ზოგადი დახასიათება .	281
3—18. საცეცხლეები სათბობის შრისებრი ხერხით წყისათვის	284

3—19. კაპერული საცეცხლეები (მტერისებრი სათბობის დაწვისათვის)	290
3—20. ტიკლონური საცეცხლეები	292
3—21. საცეცხლეები თხევადი და აირადი სათბობებისათვის	293
3—22. საცეცხლეების ნორმები და გასაანგარიშებელი პარამეტრები .	297

თ ა ვ ი 3—7. ორთქლს ქვაბების ძირითადი ტიპები

3—23. ძირითადი ცნებანი	298
3—24. ქვაბები წყლის დიდი მოცულობით .	299
3—25. წყალმილა ქვაბები	307
3—26. მეორე ორთქლმწარმოებლობის შეფული წყალმილა ქვაბები	317
3—27. პირდაპირი დინების ქვაბები	318
3—28. სახელმწიფო სტანდარტი ორთქლის ქვაბებზე	321

თ ა ვ ი 3—8. ხაქვაზე აკრეგატის დამატებითი ზურების ზედამირები

3—29. წყლის გკონომიზირების	322
3—30. ორთქლგადამხურებლები	323
3—31. ჰერმეტიზატორები .	324

თ ა ვ ი 3—9. ხაქვაზე დანადგარის დამხმარე მოწყობილობა

3—32. წვეა და ბერეა .	326
3—33. მკეხავი ხელსაწყოები	329
3—34. ორთქლსადენები. კარკასი. შემოკირვა. ქვების არმატურა და გარნიტურა .	332

თ ა ვ ი 3—10. ცნება ქვაბაკრეგატის ხითხური განაგარიშების შეთოდებაზე. 334

3—35. ქვაბაკრეგატის სააროქტო (კონსტრუქციული) სითხური განაგარიშების თანამიმდევრობა .	336
-------------------------------------------------------------------------------------	-----

თ ა ვ ი 3—11. ხაქვაზე დანადგარის ექსპლოატაცია და ხითხური გამოცდა

3—36. ძირითადი ცნობები ქვაბზედამხედველობისა და ხაქვაზე დანადგარების ტექნიკური ექსპლოატაციის წესებიდან	341
3—37. ქვაბაკრეგატის მუშაობის საკონტროლო ხელსაწყოები	344
3—38. ძირითადი ცნებანი ხაქვაზე დანადგარების სითხური გამოცდის შესახებ	345

განყოფილება მეოთხე

დგუშიანი ორთქლის მანქანები და ლოკომობილები

თ ა ვ ი 4—1. ძირითადი ცნებანი

4—1. ორთქლის მანქანის ჩასახვა და განვითარება	346
4—2. ცნება ორთქლის მანქანის მუშაობისა და მოწყობილობაზე	348
4—3. ორთქლის მანქანების კლასიფიკაცია .	350

თ ა ვ ი 4—2. ორთქლის მუშაობა ორთქლის მანქანაში

4—4. ორთქლის მანქანის თეროდული დიაგრამა	351
4—5. ორთქლის მანქანის ნამდვილი ინდიკატორული დიაგრამა, საშუალო ინდიკატორული წნევა და ინდიკატორული სიმძლავრე	352
4—6. ორთქლის მანქანის მარტივი კმედების კოეფიციენტები	354
4—7. ორთქლის ხედვითი და საათური ხარჯი	356

თ ა ვ ი 4—3. ორთქლგანაწილება ორთქლის მანქანებში

4—8. ორთქლგანაწილების მოწყობილობათა ტიპები	358
4—9. მკეთარას ელემენტები და ორთქლგანაწილების დიაგრამა	360

თ ა ვ ი 4—4. ორთქლის ხაწყვის კონდენსაცია და მასთან ზრძოლის ლინსიციბანო

- 4—10. ორთქლის ხაწყვის კონდენსაციის წარმოქმნის მიზეზები 364
- 4—11. ორთქლის პირველადი კონდენსაციის საწინააღმდეგო ღონისძიებანი 365

თ ა ვ ი 4—5. მრავალჯერადი გაფართოების მანქანება

- 4—12. ორთქლის მრავალჯერადი გაფართოების მუშა პროცესი და სიმძლავრის განაწილება ცილინდრებს შორის 367
- 4—13. ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაფართოების ორთქლის მანქანების ცილინდრების ძირითადი ზომების განსახლება 370

თ ა ვ ი 4—6. კონდენსაციური მოწყობილობანი ორთქლის მანქანებში

- 4—14. ზოგადი ცნებანი ნაშუშეგარი ორთქლის კონდენსაციასა და საკონდენსაციო მოწყობილობაზე 372
- 4—15. გაცივების ჯერადობა და მისი განსახლება 373
- 4—16. შერევის კონდენსატორების კონსტრუქციების კლასიფიკაცია 374
- 4—17. საციურული წყლის გაგრილების ხერხები 375

თ ა ვ ი 4—7. ორთქლის მანქანების რეგულირება

- 4—18. ზოგადი ცნებანი ორთქლის მანქანის რეგულირებაზე 376
- 4—19. რეგულატორების უთანაბრობისა და უგრძობლობის ხარისხი 379

თ ა ვ ი 4—8. ორთქლის მანქანების კონსტრუქციული ტიპები

- 4—20. ჰორიზონტალური და ვერტიკალური სტაციონარული მანქანების ზოგიერთი კონსტრუქცია 380
- 4—21. ლოკომობილები და მათი მოწყობილობა 382
- 4—22. ახალი ტიპის ორთქლმალური დანადგარები სოფლის მეურნეობისათვის 388

განყოფილება მეხუთე

ორთქლის ტურბინები

თ ა ვ ი 5—1. ძირითადი ცნებანი

- 5—1. ორთქლის ტურბინების მოქმედების პრინციპი და მათი კლასიფიკაცია 392
- 5—2. თანამედროვე ორთქლის ტურბინის მოწყობილობის სქემა 394
- 5—3. ტურბინების ძირითადი დეტალები 396

თ ა ვ ი 5—2. მუშა პროცესი, ენერჯიის გარდაქმნა საქმენება და მუშა ნიბებზე და ხითბოს გამოყენება ტურბინებში

- 5—4. მუშა პროცესი და ენერჯიის გარდაქმნა საქმენება და მუშა ნიბებზე 398
- 5—5. ხითბოს გამოყენება ტურბინებში 405

თ ა ვ ი 5—3. ორთქლის ტურბინების კონსტრუქციები

- 5—6. ტურბინების კონსტრუქციები 409
- 5—7. ორთქლის ტურბინების კონდენსაციური მოწყობილობანი 411
- 5—8. ზოგადი ცნებანი ორთქლის ტურბინების რეგულირებაზე 412

მისამე ნაწილი

აიკმების ციმკო

განყოფილება მეექვსე

კომპარესორები

თ ა ვ ი 6—1. ზოგადი ცნებანი კომპარესორების მუშაობის შესახებ

- 6—1. კომპარესორის დანიშნულება და მათი კლასიფიკაცია 414
- 6—2. დღეშიანი კომპარესორების მუშაობის პრინციპი და მათი უმთარესი ტიპების სქემები 415

6—3. კომპრესორში შეკუმშული ჰაერის მიღებაზე მუშაობის თეორიული ხარჯი	417
6—4. ერთსაფეხურიანი კომპრესორის ინდიკატორული დიაგრამა .	418
6—4'. კომპრესორის მწარმოებლობა და მიწოდების კოეფიციენტი	419

თ ა ვ ი 6—2. კომპრესორის ხიმქლავრე და მ. ქ. კოეფიციენტები

6—5. კომპრესორის სიმძლავრე	419
6—6. კომპრესორის მ. ქ. კოეფიციენტები	420

თ ა ვ ი 6—3. დღუშაინი კომპრესორების კონსტრუქციები და მათი მწარმოებლობის რეგულირების ხერხები

6—7. დღუშაინი კომპრესორების კონსტრუქციები	421
6—8. დღუშაინი კომპრესორების მწარმოებლობის რეგულირების ხერხები .	422

განყოფილება მეშვიდე.

შიგაწვის ძრავები

თ ა ვ ი 7—1. ძირითადი ცნებანი

7—1. შიგაწვის ძრავების განვითარების მოკლე მიმოხილვა .	424
7—2. შიგაწვის ძრავების კლასიფიკაცია	425

თ ა ვ ი 7—2. შიგაწვის ძრავების მუშა პარაცები

7—3. ოთხტაქტიანი შიგაწვის ძრავის მუშა პარაცები	427
7—4. ორტაქტიანი შიგაწვის ძრავის მუშა პარაცები	428
7—5. საშუალო ინდიკატორული წნევა და ძრავის ინდიკატორული სიმძლავრე	429

თ ა ვ ი 7—3. ხითბოს გამოყენება შიგაწვის ძრავებში

7—6. შიგაწვის ძრავის ეფექტური სიმძლავრე და მექანიკური მ. ქ. კ.	431
7—7. შიგაწვის ძრავის სითბური ბალანსი	432
7—8. შიგაწვის ძრავის მარჯი ქმედების კოეფიციენტები და სათბობის ხარჯი	433

თ ა ვ ი 7—4. შიგაწვის ძრავის ძირითადი ზომების განსაზღვრა

7—9. ძრავის ძირითადი ზომების განსაზღვრა საშუალო ინდიკატორული წნევის მიხედვით	435
7—10. ძრავის ძირითადი ზომების განსაზღვრა სათბობის წვისათვის საჭირო ჰაერის მოცულობის მიხედვით	437
7—11. საშუალო ინდიკატორული წნევის დამოკიდებულება სხვადასხვა ფაქტორზე	439
7—12. ფორმულების ვარაიანტი აირის ძრავებისათვის	443

თ ა ვ ი 7—5. აირგანაწილება და ძრავის უმთავრესი კონსტრუქციული ნაწილები

7—13. ზოგადი ცნებანი აირგანაწილების ფაზების შესახებ	440
7—14. კომპრესორიანი ოთხტაქტიანი ძრავის (დიხელიანი) აირგანაწილების სპირალური დიაგრამა	442
7—15. აირის (.წ კარბურატორიანი) ოთხტაქტიანი შიგაწვის ძრავის აირგანაწილების სპირალური დიაგრამა	443
7—16. ძრავების აირგანაწილების მექანიზმების სქემები	443
7—17. ძრავის კორაქტის უმთავრესი ნაწილები	444

თ ა ვ ი 7—6. თხევადი სათბობის მაღალი კუმშვის ხარისხით მომუშავე ძრავები

7—18. კომპრესორიანი დიხელების მუშაობის ზოგადი სქემა	446
7—19. უკომპრესორო დიხელების მუშაობის პრინციპი	448
7—20. ნარევიარმომქნა უკომპრესორო დიხელები	448
7—21. უკომპრესორო დიხელების ფრქვევანები და სათბობის ტუმბოები .	452
7—22. უკომპრესორო დიხელების კონსტრუქციები	456

თ ა ვ ი 7—7. თხევად სათბობე დახალი კუმშვის ხარისხით მომუშავე ძრავები	
7—23. კალორიზატორიანი ძრავები	459
7—24. ზოგადი ცნებანი კარბურატორიან ძრავებზე, ნარევის წარმოქმნა და ანთების სისტემები	461

თ ა ვ ი 7—8. აირის შიგაწვის ძრავები და აირგენერატორები	
7—25. აირის ძრავები	465
7—26. აირგენერატორები	467

თ ა ვ ი 7—9. ძრავების გაგრილება. შეზღუდვა და რეგულირება	
7—27. ძრავის გაგრილების სისტემა	469
7—28. ძრავის შეზღუდვა	472
7—29. რეგულირების მეთოდები	473

თ ა ვ ი 7—10. შიგაწვის ძრავების ექსპლუატაციისა და გამოცდის წესები	
7—30. ძრავების გაშვების ხერხები და მუშაობის დროს მოვლა	475
7—31. შიგაწვის ძრავების გამოცდა	476

მეოთხე ნაწილი
თბოქალაქრი დანადგარები
განყოფილება მერვე

ხახოფლო თბოქალაქრი დანადგარები და სითბური
ენერჯიის გამოყენება ხოფლის მურნეობაში

თ ა ვ ი 8—1. თბოელექტროსადგურების კლასიფიკაცია	
8—1. ზოგადი ცნებანი თბოელექტროსადგურების კლასიფიკაციის შესახებ	479
8—2. ორთქლისა და შიგაწვის ძრავებიანი თბოელექტროსადგურების შედარებითი შეფასება	481

თ ა ვ ი 8—2. სითბური და ელექტრული ენერჯიის კომბინირებული წარმოება და წოგა დი ცნებანი სხვადასხვა ტიპის თბოელექტროსადგურების მუშაობის შესახებ	
8—3. სითბური ენერჯიის მომხმარებლები სოფლის მურნეობაში	482
8—4. სითბური და ელექტრული ენერჯიის კომბინირებულად გამომშენებელი თბოელექტროსადგურები	483
8—5. ორთქლის ტურბინიანი თბოელექტროსადგურის პრაქტიკული სითბური სქემა	484
8—6. ლოკომობილებიანი (გადასაადგილებელი II ტიპის ლოკომობილებით) თბოელექტროსადგურის პრინციპული სითბური სქემა	485

თ ა ვ ი 8—3. ხოფლის მურნეობის თბოქალაქრის წესები	
8—7. ლოკომობილიანი სათბოქალაქრი თბოელექტროსადგურიდან სითბური ენერჯიის გამოყენების სქემა	487
8—8. ППУ—1 ორთქლიანი დანადგარიანი სათბოქალაქრი თბოელექტროსადგურიდან სითბური ენერჯიის გამოყენების სქემა	488
8—9. ბიოთერმული და ჰელიო-ბიოთერმული წყალსათბობი დანადგარებიდან სითბური ენერჯიის გამოყენების სქემები	490
8—10. ბიოთერმული დანადგარიდან სითბური ენერჯიის გამოყენების სქემა	492
8—11. ზოგადი ცნებანი სათბურებისა და კალსათბურების ტექნიკური გათბობის შესახებ	493
წყლის ნაჯერი ორთქლის ცხრილი (დანართი I)	506
წყალი და წყლის გადახურებული ორთქლი (დანართი II)	509
გამოყენებული ლიტერატურა	510

**შალვა პავლოვჩ ლომინაძე,
Илья Абрамович Турашвили**

ОБЩАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

(на грузинском языке)

**ИЗДАТЕЛЬСТВО ГРУЗИНСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИНСТИТУТА**

19 ТБИЛИСИ 60

№ 00586

შეგ. 28/49

ტირაჟი 3000

გადეცა წარმოებას 5/1-59 წ. ხელმოწერილია დასაბეჭდად
31/III-60 წ. ანაწილების ზომა 8×12. სასტამბო ფურცელთა
რაოდენობა 32,5. სავეტ. ფ. რაოდ. 40,6, საგ.-საღ. ფ. რაოდ. 41,1

ფ ა ს ი 15 მაგ 90

შრომის წითელი დროშის ორდენის საქართველოს სასოფლო-სამეურნეო
ინსტიტუტის გამომცემლობის სტამბა. თბილისი,
ე. ჭავჭავაძის ქროსბ. 33.

Типография Издательства Грузинского ордена Трудового
Красного Знамени Сельскохозяйственного Института
Тбилиси, просп. И. Чавчавадзе 33.