

ავთანდილ კაკაბაძე

ავარიები საქართველოს რკინიგზაზე და მათი
გამომწვევი მიზეზები

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
ივლისი, 2014 წელი

საავტორო უფლება © ავთანდილ კაკაბაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ავთანდილ კაკაბაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ავარიები საქართველოს რკინიგზაზე და მთი გამოძწვევი მზეზები“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი:

ასოცირებული პროფესორი

გ. კვანტალიანი

რეცენზენტები:

1.

2.

ხარისხის უზრუნველყოფის

სამსახურის უფროსი

ასოცირებული პროფესორი

/მ. ჯავახიშვილი/

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2014 წელი

ავტორი	ავთანდილ კაკაბაძე
დასახელება	ავარიები საქართველოს რკინიგზაზე და მთი გამომწვევი მზეზები
ფაკულტეტი	სამშენებლო
ხარისხი	აკადემიური დოქტორი
სხდომა ჩატარდა	

ინდივიდუალური პროგნოზების ან ინსტიტუტების მიერ შემოთმთმთმთმთი დასახელების ნაშრომის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

ნაშრომში განხილულია სამთო რკინიგზებზე მატარებელთა უსაფრთხო მოძრაობის უზრუნველყოფის ღონისძიებანი. სამთო რკინიგზებზე, განსხვავებით იოლი რელიეფის რკინიგზებისაგან მოძრაობის უსაფრთხოება მეტად პრობლემატურია. ეს განპირობებულია მატარებელთა მოძრაობის მთელი რიგი თავისებურებებით, რაც დამახასიათებელია სამთო რკინიგზებისათვის. გარდა ამისა მატარებლის უსაფრთხოების ფაქტორი გაზრდილია აგრეთვე ბუნებრივი პირობებითაც, როგორცაა მკაცრი კლიმატი, რთული გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური მახასიათებლები.

როგორც ცნობილია, სამთო რკინიგზებს გააჩნია რთული გეგმა და პროფილი. პროფილის გრძივი ქანობი ბევრ შემთხვევაში აჭარბებს 30 ‰. წრიული რადიუსის მნიშვნელობა არის 300 მ და ნაკლებიც.

ციცაბო გრძელ დაღმართებზე სატვირთო მატარებლების მოძრაობისას მოსალოდნელია სამუხრუჭო ხუნდების გადახურება. კომპოზიციური მასალისაგან დამზადებული ხუნდები მნიშვნელოვნად ზრდის მატარებლის სამუხრუჭო ძალას, შესაბამისად შესაძლებელია მოძრაობის სიჩქარეების გაზრდა. მაგრამ ამავე დროს მასალის მცირე თბოგამტარობის გამო ხდება თვლის სითბური გადატვირთვა. თუჯის ხუნდების შემთხვევაში მაღალი ტემპერატურის გამო მოსალოდნელია ხუნდის დარბილება და შესაბამისად მცირდება სამუხრუჭო ძალა, რაც საბოლოო ჯამში ზრდის მოძრაობის უსაფრთხოების რისკს.

ხუნდების გახურების ტემპერატურა დამოკიდებულია ხუნდის მასალაზე, დაღმართის ქანობაზე და მოძრაობის სიჩქარეზე. თეორიულად ხუნდის გახურების ტემპერატურის დადგენა მეტად რთულია. ამ საკითხის გადაწყვეტაში დიდი წვლილი მიუძღვის დიდ რუს მეცნიერსა და პრაქტიკოს პროფესორ ვ. ინოხემცევს. მის მიერ შემოთავაზებული ფორმულის ინტერპრეტაციის საფუძველზე დავადგინე დაღმართის მაქსიმალური სიგრძეები დაღმართის ქანობისა და სიჩქარისაგან დამოკიდებულებით.

გრძელ დაღმართებზე მატარებლის უწყვეტი დამუხრუჭებისას მოსალოდნელია სამუხრუჭე მაგისტრალში და სამუხრუჭე რეზერვუარსა და ცილინდრებში ჰაერის წნევის დაცემა ნორმაზე დაბლა, რაც ზრდის ავარიების რისკს. თანამედროვე მოძრავი შემადგენლობა ატყურვილია ისეთი ჰაერგამანაწილებლებით, რომლებიც თეორიულად უშრეტია. მაგრამ სამუხრუჭო სისტემიდან ჰაერის გადინების გამო მოსალოდნელია საჰაერო მაგისტრალში წნევის დაცემა ე.წ. დაშრეტა. ჰაერის წნევის ცვალებადობის დადგენა სამუხრუჭო მაგისტრალში თეორიული გზით შეუძლებელია. ამიტომ უწყვეტი დამუხრუჭების დროის დასადგენად მივმართეთ ექსპერიმენტების და უშუალოდ რეალურ პირობებში ჩატარებული ცდების მონაცემებს. ამ მონაცემების განსჯისა და ანალიზის საფუძველზე დავადგინეთ, რომ უწყვეტი დამუხრუჭების დრო ციცაბო დაღმართებზე როცა $i < 30$ ‰ შეადგენს 35 წთ-ს, ხოლო როცა $i \geq 30$ ‰ – 30 წთ-ს.

გრძელ დაღმართებზე მოსალოდნელია აგრეთვე სამუხრუჭე ხუნდების გაძლიერებული ცვეთა. განსაკუთრებით თუჯის ხუნდების

შემთხვევაში. ნაშრომში დადგენილია ციცაბო დაღმართების მაქსიმალური სიგრძეები ხუნდის სისქისა და ქანობისაგან დამოკიდებულებით.

გრძელ აღმართებზე საანგარიშო წონიანი სატვირთო მატარებლების მოძრაობისას ელმავალი მოიხმარს მაქსიმალურ დენს. ამიტომაც გრძელ აღმართებზე მოსალოდნელია წვევის ძრავების გადახურება. დადგენილია აღმართების მაქსიმალური სიგრძეები ძრავების გადახურების პირობით.

შეუფერხებელი და უსაფრთხო მოძრაობა, როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ, რთულ მთიან პირობებში, დამოკიდებულია აგრეთვე ბუნებრივ პირობებზე. სამთო რკინიგზებზე უმეტეს შემთხვევაში მოსალოდნელია ლიანდაგის თოვლისაგან დანამქრა. მსოფლიო პრაქტიკაში არის შემთხვევები, როცა თოვლის ნამქერს ლიანდაგიდან გადმოუვდია მატარებელი. მარაბდა-ახალქალაქის ხაზზე ცალკეული უბანი ხშირად ინამქრება. არის ისეთი მონაკვეთიც, რომელიც წელიწადში 6 თვის მანძილზე დანამქრილია და მოძრაობა შეწყვეტილია. მაქვს შემუშავებული რეკომენდაციები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ლიანდაგის თოვლისგან დაცვას.

იმისათვის, რომ არ შეფერხდეს მატარებლების მოძრაობა, აუცილებელია სწორედ შერჩეულ იქნას მატარებლის საანგარიშო წონა. განსხვავებით იოლი რელიეფისაგან მთიან პირობებში მატარებლის წონის დადგენაზე გავლენას ახდენს მრავალი ფაქტორი. მათ შორის შეიძლება დავასახელოთ რელსის თავის მდგომარეობა, მცირე რადიუსები, ვაგონებს შორის გადასაბმელ მოწყობილობათა სიმტკიცე და სხვა. როგორც ცნობილია, ლოკომოტივის წვევის ძალა ძირითადად დამოკიდებულია რელსსა და ლოკომოტივის თვალს შორის შეჭიდულობის კოეფიციენტის მნიშვნელობაზე. ჩვეულებრივ პირობებში ამ კოეფიციენტის სიდიდე ელმავლის შემთხვევაში მერყეობს 0.25-ის ფარგლებში.

როგორც გამოკვლევებმა აჩვენეს, როგორც ჩვენთან, ისე საზღვარგარეთ ამ კოეფიციენტის მნიშვნელობა გაცილებით ნაკლებია. გატუჭიანებული ან მოყინული რელსის შემთხვევაში მისი სიდიდე შეიძლება შემცირდეს 0.15–0.2-მდე. შეჭიდულობის კოეფიციენტი მცირდება აგრეთვე მცირერადიუსიანი მრუდების შემთხვევაში ($R \leq 500$ მ).

ჩვენს მიერ დადგენილია საანგარიშო წონის მნიშვნელობები მარაბდა-ახალქალაქის ხაზზე.

შემოთავაზებული მაქვს საანგარიშო წონების ე.წ. „სეზონური“ ნორმები, რომელიც ზაფხულის პერიოდში შეადგენს 1700 ტ, ხოლო ზამთრის პერიოდში – 1300 ტ.

ზემოთდასახელებული მატარებლის მოძრაობის პირობების თავისებურებების გათვალისწინებით დავსახეთ მოძრაობის უსაფრთხოების ღონისძიებანი. როგორც გამოკვლევებმა გვიჩვენეს ციცაბო ქანობიანი გადასარბენების სიგრძის მალიმიტირებელ პირობებს წარმოადგენს სამუხრუჭე ხუნდების გადახურება და საჰაერო მაგისტრალის დაშრეტა. ამ ორი პირობის ერთდროული გათვალისწინებით მიიღება საპროექტო რკინიგზის გადასარბენის ოპტიმალური სიგრძე.

ჩვენს მიერ შემოწმებული იქნა მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის ხაზის ყველაზე დაძაბული და რთული გადასარბენები. ყველა

გადასარბენისათვის დასახულია მოძრაობის უსაფრთხოების ღონისძიებები. კერძოდ, გადასარბენი თეთრიწყარო–ნადარბაზევი (15 კმ) ვერ აკმაყოფილებს ვერც ხუნდების გახურების და ვერც მაგისტრალის დაშრეტის პირობებს. ამ გადასარბენზე ჩვენი რეკომენდაციით გაიხსნა დამატებითი ასაქცევი პუნქტი “ჭივჭავი“, რამაც საგრძნობლად აამაღლა მატარებლების მოძრაობის უსაფრთხოების დონე და გაზარდა ხაზის გამტარუნარიანობა. გადასარბენზე წინწყარო–თეთრიწყარო მოეწყო ე.წ. „დასასვენებელი“ მოედანი, რაც საშუალებას აძლევს მატარებელს შეუმსუბუქოს დამუხრუჭების პირობები. ყველა სადგურებზე, რომლებიც ემიჯნება გრძელ დაღმართებს, უნდა მოეწყოს დამცველი ჩიხები, ხოლო სადგურ „თრიალეთზე“ – დამჭერი ჩიხი.

ჩვენს მიერ ჩამოყალიბებული რეკომენდაციების გათვალისწინება როგორც არსებულ რკინიგზაზე, ასევე ახალი რკინიგზების დაპროექტებისას უზრუნველყოფს მატარებლების უსაფრთხო მოძრაობას.

Abstract

In the work are considered the measures to ensure the safety trains traffic on the mountainous railways. On the mountainous railways, in contrast to the having easy relief railways the traffic safety problem is rather problematic. This is stipulated due the number of trains traffic features that are characteristic for mountainous railways. In addition the train safety factor is increased also by natural conditions such as harsh climate, complex geological and hydrogeological characteristics.

As it is well known, the mountainous railways has a complicated plan and profile. The longitudinal slope of profile in many cases exceeds 30 ‰. The value of the circular radius is less than 300 m and more.

On the long steps at freight trains movement is expected the overheating of brake shoes. The manufactured from composite materials brake shoes greatly increases the brake force of train, accordingly is possible to increase in the speed of train. But at the same time due the small thermal conductivity of the material occurs thermal overload of wheels. In the case of cast-iron brake shoes due to high temperature and is expected softening of shoes and accordingly is decreased the braking force that ultimately increases the safety risk.

The shoes heating temperature depends on the shoe's material, the slope of the descent and the train speed. Theoretically the determination of shoe's heating temperature is rather complex. In solution of this issue great contribution was made by the great Russian scientist and practicing professor V. Inozemtsev. Based on the interpretation of the proposed by him formula are defined maximum lengths depending on on the slope's descent and speed.

On the long slopes at train continuous braking is expected to drop pressure in brake conduit, in brake reservoir and brake cylinders below normal that increases the risk of accidents. The modern rolling stock are equipped by such air distributors that theoretically are inexhaustible. But because of the air outflow from the brake system is expected air pressure fall so-called exhaustion. The theoretical definition of air pressure variation in the brake conduit is impossible. Therefore, for determination of continuous braking time consider the data of carrying out experiments and actual conditions. Grounding on the consideration and analysis of these data we define that at continuous braking on steep when $i < 30 ‰$ the time makes up to 35 minutes - while when $i \geq 30 ‰$ - 30 min.

On the long slopes is expected also the enhanced depreciation of brake shoes. Especially in the case of cast-iron brake shoes. In the work is defined maximum lengths of a steep descents depending on shoes thickness and slope value.

On the long rises at movement of design weight freight trains locomotive consumes the maximum power. Therefore, on the long rises is expected traction motor's overheating. Are defined the maximum lengths of rises in conditions of motor's overheating.

In order to not disturb the trains traffic, it is necessary to make right choice of the train design weight. In contrast to the easy relief in the mountainous conditions on the determination of train's weight are influenced many factors. Among them we can list the state of rail head, a small radiuses, strength of hookup between carriages and others. As it is well known, the locomotive traction force is mainly dependent on the value of traction coefficient between rail and locomotive wheel. Usually value of this coefficient in the case of the locomotive's makes nearabout 0.25.

As it is clear from studies, in our country, as well as in foreign countries the value of this considered is much less. Its value may be reduced in the case of

pollutants or frozen rail up to 0.15-0.2. The traction coefficient is decreased also in the case of curves with small radiuses ($R \leq 500$ m).

By us are determined the values of design weight on Marabda-Akhalkalaki line.

I have proposed a so-called “seasonal” norms of design weights that during the summer makes up to 1700 tons, while in winter up to 1300 tons.

Due consideration of above mentioned train traffic conditions we draw-up the traffic safety measures. As it is clear from investigations on a steep spans the length limiting conditions represents the brake shoes overheating and exhaustion in air brake conduit. Due simultaneously taking into account of these two conditions would be accepted optimal length of the design railway span.

By us was examined the Marabda - Akhalkalaki railway line all most tense and complex spans. For all spans is drawn-up of traffic safety measures. In particular, Tetrtskaro - Nadarbazevi (15 km) span did not meet either shoes heating or brake conduit exhaustion conditions. On this span due our recommendation on this point has opened an additional bypass “Chivchavi” point that have significantly improve train line security levels and increased capacity of line. On the span Tsintskaro- Tetrtskaro is arranged so-called “Resting” field that gives the possibility to train to improve braking conditions. In all stations that are in adjacent to the long slopes, shall be arranged the protective dead-end sidings, while in the station “Thrialeti” - catcher dead-end siding.

The continuous and safe movement, as it is mentioned above, in the complex mountainous conditions, is depending also on the environmental conditions. On the mountainous railways in most cases it is expected to snowdrift of track. In the world practice there are cases when due snowslide was occurred the derailment of trains. The separate sites on Marabda - Akhalkalaki line often is snowdrifted. Is it such a span that is snowdrifted during 6 months perpendicular year and traffic is stopped. I have developed recommendations that provide protection of track from snowdrift.

The consideration of formulated by us recommendations on the existing railway as well as at design of the new railway line will provide safe movement of trains.

შინაარსი

შესავალი	14
1. ლიტერატურის მიმოხილვა	23
2. შედეგები და მათი განსჯა	33
2.1 დაღმართების მაქსიმალური სიგრძეების დადგენა სამუხრუჭე ხუნდების გადახურების პირობით	33
2.2 თეორიული გაანგარიშების შედეგების შედარება ექსპერიმენტების მონაცემებთან	41
2.3 ციცაბო დაღმართებზე უწყვეტი დამუხრუჭების დროის დადგენა	45
2.4 დაღმართის მაქსიმალური სიგრძის დადგენა ხუნდების გაცვეთის პირობით	54
2.5 შემზღუდავ ქანობების ზღვრული სიგრძის განსაზღვრა ელმავლების წვევის ძრავების გადახურების პირობების მიხედვით	57
2.6 დაღმართის ზღვრული სიგრძის დადგენა მოძრაობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფის პირობით	64
2.7 მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის ხაზის გადასარბენების შემოწმება დამუხრუჭების პირობით	66
3. სატვირთო მატარებლის წონის ნორმის დადგენა მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის ხაზზე	73
3.1 მატარებლების წონის ნორმის განსაზღვრის თავისებურებები თბოწვევის გამოყენებისას მთიანი რელიეფის პირობებში	79
4. რკინიგზის ლიანდაგის თოვლისაგან დაცვა	85
4.1 რკინიგზის ტრასისა და პროფილის დაპროექტება თოვლდანამქრის თავიდან აცილების გათვალისწინებით	94
4.2 ლიანდაგის თოვლით დანამქრისაგან დამცავი ღონისძიებები ახალმშენებარე რკინიგზის უბანზე ახალქალაქი-კარწახი- თურქეთის რესპუბლიკის საზღვარი	103
4.3 თოვლდამჭერი ნაგებობის ახალი კონსტრუქციები.....	115
5. დასკვნა	121
6. გამოყენებული ლიტერატურა	123

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. გადასარბენის სიგრძეები ტექნიკური პირობების მიხედვით	26
ცხრილი 2. დაღმართის მაქსიმალური სიგრძეები ხუნდების გადახურების პირობით	38
ცხრილი 3. დაღმართის მაქსიმალური სიგრძეები (კმ) დადგენილი ფორმულა 2.11-ის მიხედვით	41
ცხრილი 4. სამუხრუჭო სისტემაში წნევების ცვალებადობა (ციკლი №1)	49
ცხრილი 5. სამუხრუჭო სისტემაში წნევების ცვალებადობა (ციკლი №2)	50
ცხრილი 6. სამუხრუჭო სისტემაში წნევების ცვალებადობა (სურამის უღელტეხილზე ჩატარებული ცდა)	52
ცხრილი 7. დაღმართის მაქსიმალური სიგრძე ხუნდის სისქესთან დამოკიდებულებით	56
ცხრილი 8. ძრავების გახურების მაქსიმალური დასაშვები ტემპერატურა	59
ცხრილი 9. აღმართის მაქსიმალური სიგრძე წვევის ძრავების გადახურების პირობით	61
ცხრილი 10. დაღმართის ზღვრული სიგრძე (წინწყარო–თეთრიწყაროს გადასარბენი)	68
ცხრილი 11. დაღმართის ზღვრული სიგრძე (თეთრიწყარო–ნადარბაზევის გადასარბენი)	69
ცხრილი 12. დაღმართის ზღვრული სიგრძე (ნადარბაზევი–ბედენის გადასარბენი)	70
ცხრილი 13. დაღმართის ზღვრული სიგრძე (წალკა–თრიალეთის გადასარბენი)	71
ცხრილი 14. დაღმართის ზღვრული სიგრძე (თრიალეთი–თაფარავანის გადასარბენი)	71
ცხრილი 15. დიზელის ძრავის სიმძლავრის დამოკიდებულება სიმაღლესთან	80
ცხრილი 16. დიზელის ძრავის სიმძლავრის დამოკიდებულება ტემპერატურისაგან	80
ცხრილი 17. ვარიანტების მაჩვენებლები	84
ცხრილი 18. დამოკიდებულება მრავალრიგიანი თოვლდამცავი მოწყობილობების გამოყენებისას ქარის სიჩქარის შემცირების სიდიდისა და თოვლით დანამქრას შორის პროცენტებში	101
ცხრილი 19. თოვლით დანამქვრით დაფარვის უბნების კლასიფიკაცია	105
ცხრილი 20. კარწახისა და ახალქალაქის რაიონებში თოვლის გადატანის ვარდულის განსაზღვრის სიდიდეები	110
ცხრილი 21. ძირითად სამუშაოთა მოცულობების უწყისი	114

ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1 დადმართის მაქსიმალური სიგრძეები ხუნდების გადახურების პირობით (თუჯის ხუნდები)	37
ნახ. 2 დადმართის მაქსიმალური სიგრძეები ხუნდების გადახურების პირობით (კომპოზიციური ხუნდები)	37
ნახ. 3 დადმართის მაქსიმალური სიგრძეები ხუნდების გადახურების პირობით (თუჯის ხუნდები) გამოთვლილი ფორმულით 2.11	40
ნახ. 4 დადმართის მაქსიმალური სიგრძეები ხუნდების გადახურების პირობით (კომპოზიციური ხუნდები) გამოთვლილი 2.11 ფორმულით	40
ნახ. 5 თერმოწყვილის ჩამაგრების სქემა	42
ნახ. 6 ხუნდის ტემპერატურის ცვალებადობის გრაფიკი	43
ნახ. 7 ჯგუფური სტენდის სქემა	46
ნახ. 8 დადმართებზე მაქსიმალურ დასაშვებ სიჩქარეთა გრაფიკი	54
ნახ. 9 დადმართის მაქსიმალური სიგრძის დამოკიდებულება ხუნდების სისქისაგან	57
ნახ. 10 აღმართის მაქსიმალური სიგრძე წვევის ძრავების გადახურების პირობით	62
ნახ. 11 აღმართის მაქსიმალური სიგრძე წვევის ძრავების გადახურების პირობით (საათური რეჟიმი)	63
ნახ. 12 დადმართის ოპტიმალური სიგრძის დადგენა ხუნდების გადახურებისა და დაშრეტის პირობით	65
ნახ. 13 დადმართის ზღვრული სიგრძის დადგენა (წინწყარო–თეთრიწყაროს გადასარბენი)	68
ნახ. 14 დადმართის ზღვრული სიგრძის დადგენა (თეთრიწყარო–ნადარბაზევის გადასარბენი)	69
ნახ. 15 დადმართის ზღვრული სიგრძის დადგენა (თრიალეთი–თაფარავანის გადასარბენი)	71
ნახ. 16 K_p კოეფიციენტის დამოკიდებულება სიმაღლესთან	81
ნახ. 17 ყრილის თოვლით დანამქრის სქემა	89
ნახ. 18 ჭრილის თოვლით დანამქრის სქემა	90
ნახ. 19 ღრმა ჭრილებში ტერასების მოწყობის სქემა	92
ნახ. 20 ჭრილების ფერდობების ჩამოჭრის სქემა	92
ნახ. 21 თოვლდამცავი კედლის მოწყობის სქემა	93
ნახ. 22 რკინიგზის მიწის ვაკისის შესაძლო განლაგებები ქარპირა და ქარზურგა ფერდობებზე და შესაძლო დანამქრის გრაფიკები მათი სიმაღლისა და ქარის სიჩქარის სიდიდეთა მიხედვით	95
ნახ. 23 დამოკიდებულება ქარის სიჩქარისა და თოვლის გადატანის ინტენსიურობას შორის	108
ნახ. 24 თოვლის ხარჯის გადანაწილება სიმაღლის მიხედვით ქვემო ქარბუქის შემთხვევაში	108
ნახ. 25 თოვლის ხარჯის გადანაწილება სიმაღლის მიხედვით ზემო ქარბუქის შემთხვევაში	109
ნახ. 26 სადგ. კარწახში და სადგ. ახალქალაქში თოვლის	

გადატანის ვარდულები	109
ნახ. 27 თოვლდამჭერი ნაგებობების გეგმა	115
ნახ. 28 თოვლდამჭერი ნაგებობების ხედები	115
ნახ. 29 რკინაბეტონის დობეების საანგარიშო სქემები (№1, №2, №3)	118

მადლიერება

მინდა მადლობა გადავუხადო ჩემი სადისერტაციო ნაშრომის ხელმძღვანელს, ასოცირებულ პროფესორს გულვერ კვანტალიანს – სისტემატური კონსულტაციებისა და საჭირო ლიტერატურის მომარაგებაში გაწეული დახმარებისათვის.

მინდა აგრეთვე მადლობა მოვახსენო რკინიგზების მშენებლობის მიმართულების ყველა პროფესორ–მასწავლებლებს ჩემს მიმართ გამოჩენილი ყურადღებისა და დახმარებისათვის.

შესავალი

ძირითადი მოთხოვნა, რომელიც სარკინიგზო ტრანსპორტის მიმართ წაყენებულ ძირითად მოთხოვნას წარმოადგენს მატარებელთა უსაფრთხო და შეუფერხებელი მოძრაობის უზრუნველყოფა. რკინიგზებზე სხვა სახის ტრანსპორტთან შედარებით მოძრაობის უსაფრთხოების ხარისხი შედარებით მაღალია, რაც შესაძლებელი გახდა მოძრავი შემადგენლობის ტექნიკური აღჭურვილობის, სიგნალზაციის, ცენტრალიზაციის და ბლოკირების სისტემების გაუმჯობესებით, ლიანდაგის ზედა ნაშენის მდგრადობისა და სიმტკიცის ამაღლებით. ნაკლებად რთულ ტოპოგრაფიულ პირობებში გამავალ რკინიგზებთან შედარებით სამთო რკინიგზებზე მოძრაობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფა მთელ რიგ პრობლემებთან არის დაკავშირებული.

მთიან რეგიონებში სარკინიგზო ხაზები განლაგებულია რთულ, კლიმატურ, სეისმურ, ჰიდროლოგიურ და საინჟინრო-გეოლოგიურ პირობებში. ასეთი ტერიტორიები ხასიათდება ისეთი მოვლენებით, როგორცაა თოვლის ზვავები, თოვლით დანამქრა, კლდოვანი ჩამოქცევები, ღვარცოფები, კურუმები, შვავები და სხვ.

მაღალმთიანი ტერიტორიების საგზაო მეურნეობისათვის სერიოზულ პრობლემას წარმოადგენს თოვლის სქელი საბურველი. ამ პირობებში ტრანსპორტის მუშაობას საკმაოდ აფერხებს თოვლის ზვავებისა და ნამქერების არსებობა.

საქართველო მთაგორიანი ქვეყანაა და რკინიგზის ხაზების გარკვეული ნაწილი გადის საუღელტეხილო ქედებზე და ფერდობებზე. ასეთია მთავარი მაგისტრალის სურამის საუღელტეხილო უბანი, მარაბდა-ახალქალაქის, ქუთაისი-ტყიბულის, ბორჯომ-ვალეს განშტოებები, მშენებარე ახალქალაქი-კარწახის რკინიგზის ხაზი. სურამის უღელტეხილი ითვლებოდა ყველაზე უფრო რთულ უბნად ყოფილ საკავშირო რკინიგზაზე. ამ უბანზე ქანობის მაქსიმალური სიდიდე შეადგენს 29.3 %, ხოლო მინიმალური რადიუსის სიდიდე 175 მ. მარაბდა-ახალქალაქის ხაზზე სახელმძღვანელო ქანობი შეადგენს 35%,

მინიმალური რადიუსი 300 მ. ქუთაისი-ტყიბულის მონაკვეთზე გვხვდება 46 % ქანობიანი მონაკვეთები.

სურამის საუღელტეხილო უბნის ექსპლუატაციაში შესვლისთანავე ავარიების რისკი ამ მონაკვეთზე გაცილებით მეტი იყო, ვიდრე სხვა უბნებზე. რის გამოც მიღებული იქნა რიგი ზომები მოძრაობის უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად. მაგალითად, სადგურებზე წიფა, მოლითი და და მარელისი, შემოდებული იქნა მატარებლის აუცილებელი გაჩერებები 5–10 წთ-ით, მოეწყო დამჭერი ჩიხები სადგურებზე წიფასა და მოლითში; რამაც მკვეთრად შეამცირეს ავარიების რიცხვი სურამის საუღელტეხილო უბანზე.

აქვე უნდა აღვნიშნოთ ის გარემოება, რომ ყოფილ საბჭოთა კავშირში სამთო რკინიგზებზე მოძრაობის უსაფრთხოების საკითხების შესწავლას სათანადო ყურადღება არ ექცეოდა, რისიც ერთ-ერთი მთავარი მიზეზი ის გახლდათ, რომ ასეთი სახის რკინიგზების წილი საერთო რკინიგზაში უმნიშვნელო იყო (დაახლოებით 1 %). სამთო რკინიგზებზე მატარებელთა მოძრაობის უსაფრთხოების საკითხი მწვავედ დადგა გასული საუკუნის 70-იან წლებში, როცა დაიწყო ტრანსკავკასიის რკინიგზის ხაზის პროექტის შედგენა. დამუშავებული იქნა ამ ხაზის სამი ვარიანტი. საბოლოოდ დამტკიცდა ე.წ. არხოტის მიმართულება საერთო სიგრძით 160 კმ.

აღნიშნულ რკინიგზის ხაზზე კავკასიონის ქედის ქვეშ გვირაბის სიგრძე შეადგენდა 23 კმ-ს. თავიდანვე რკინიგზა გათვალისწინებული იყო ორლიანდაგიანი. სახელმძღვანელო ქანობი შეადგენდა 30 %. გადასარბენის მაქსიმალური სიგრძე აღწევდა 22 კმ-ს. სწორედ ამ სიგრძის დაძაბული დაღმართის არსებობამ ეჭვქვეშ დააყენა მატარებელთა მოძრაობის უსაფრთხოების საკითხები.

80-იან წლებში საქართველოში აშენდა და ექსპლუატაციაში შევიდა მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის ხაზი საერთო სიგრძით 160 კმ. სახელმძღვანელო ქანობი ამ ხაზზე შეადგენს 35 %, ხოლო მინიმალური რადიუსი 300 მ. თავიდან რკინიგზის ხაზი გათვალისწინებული იყო როგორც ადგილობრივი დანიშნულების III კატეგორიის რკინიგზა. რკინიგზის ხაზი დაპროექტდა და აშენდა სამშენებლო ნორმებიდან გადახრით. საქმე ის გახლავთ, რომ

მაშინდელი ნორმების თანახმად III კატეგორიის ხაზზე სახელმძღვანელო ქანობი არ უნდა ყოფილიყო 30 %-ზე მეტი სიდიდის.

როგორც ცნობილია, მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის ხაზი ახალქალაქი-კარწახი-თურქეთის რესპუბლიკის საზღვარის რკინიგზის უბნის მშენებლობის დასრულების შემდეგ გახდება საერთაშორისო რკინიგზის ხაზის შემადგენელი ნაწილი. ამიტომაც დღის წესრიგში დადგა რკინიგზის ამ ხაზის რეაბილიტაციისა და მასზე მოძრაობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფის საკითხები.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, მთიან და განსაკუთრებით მაღალმთიან რაიონებში გამავალ რკინიგზებზე მოძრაობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფა მეტად პრობლემურია, ვიდრე ვაკე და მთისწინა იოლი რელიეფის პირობებში. ეს განპირობებულია როგორც ბუნებრივი პირობებით, ასევე მატარებლის მოძრაობის თავისებურებებით ციცაბო ქანობიან მონაკვეთებზე. ასეთ თავისებურებებს მიეკუთვნება: გრძელ ციცაბო დაღმართებზე სამუხრუჭე ხუნდების გადახურება, საჰაერო მაგისტრალის დაშრება, ხუნდების ცვეთა და აღმართის მიმართულებით ელექტრული ძრავების გადახურება.

გრძელ ციცაბო დაღმართებზე უწყვეტი დამუხრუჭებისას მოსალოდნელია სამუხრუჭე ხუნდების გადახურება, რაც საშიშროებას უქმნის მოძრაობის უსაფრთხოებას. კომპოზიციური მასალისაგან დამზადებული ხუნდების დანერგვამ მნიშვნელოვნად გაზარდა სამუხრუჭო ძალა და შესაძლებელი მოძრაობის სიჩქარის გაზრდა. ამავე დროს ეს მასალა ითვლება ცვეთამედგად. ამ დადებით თვისებებთან ერთად კომპოზიციური მასალის უარყოფით მხარეს შეადგენს მისი ნაკლები თბოგამტარობა (თუჯის ხუნდებთან შედარებით), რის შედეგადაც ხდება თვლის თბური გადატვირთვა. ხუნდების გახურების მაქსიმალურ დასაშვებ ტემპერატურად მიღებულია 350°C. ხუნდების გახურების ტემპერატურა დამოკიდებულია ხუნდის მასალაზე, დამუხრუჭების სახეობაზე, მოძრაობის სიჩქარეზე და პროფილის ქანობაზე. საუღელტეხილო რკინიგზის ხაზებზე ხუნდების გახურების ტემპერატურის შესამცირებლად პრაქტიკაში მიღებულია შემდეგი ღონისძიებების გატარება: სატვირთო მატარებელი ჩერდება გამყოფ

პუნქტებზე რამდენიმე წუთით (5–6 წთ) ხუნდის გაცივების მიზნით. ასეა მაგალითად სადგ. წიფასა და სადგ. მოლითზე (სურამის უღელტეხილი). არსებული საუღელტეხილო რკინიგზის ხაზები აშენებულია ძველი ტექნიკური ნორმებით, ამიტომ გადასარბენების სიგრძე არ აღემატება 7–8 კმ-ს. ახალი რკინიგზების დაპროექტებისას მძლავრი ლოკომოტივის შემოტანამ და მოძრაობის სიჩქარის გაზრდამ გამოიწვია გადასარბენის სიგრძეების დაგრძელება 12–15 კმ-მდე (მაგალითად მარაბდა–ახალქალაქის უბანი). ორლიანდაგიანი რკინიგზის შემთხვევაში გადასარბენის მაქსიმალური სიგრძე მოქმედი ნორმების მიხედვით შეადგენს 30 კმ-ს. ყოველივე ამან სამთო რკინიგზებზე დღის წესრიგში დააყენა გრძელი დაღმართების სიგრძეების შემოწმება ხუნდების გადახურების პირობით.

ხუნდის გახურების ტემპერატურა მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული. ამიტომ მისი თეორიული გზით დადგენა ერთობ რთულია. ამ საკითხის შესწავლაში დიდი წვლილი მიუძღვის ცნობილ რუს მეცნიერსა და პრაქტიკოსს ვ. ინოზემცევს. ვ. ინოზემცევს შემოთავაზებული ხუნდების გახურების განმსაზღვრელი ფორმულის დახმარებით ჩვენს მიერ დადგენილი იქნა დაღმართების მაქსიმალური სიგრძეები ხუნდის გახურების ტემპერატურისაგან დამოკიდებულებით.

ჩვენს მიერ მიღებული შედეგების სანდოობაში დარწმუნების მიზნით მისი შედარება მოხდა უშუალოდ საუღელტეხილო გზებზე ჩატარებულ ცდების შედეგებთან. ცდები ჩატარებული იქნა სურამის უღელტეხილზე რკინიგზის დეპარტამენტის და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის თანამშრომლების მიერ. შედარების შედეგად აღმოჩნდა, რომ ცდომილება თეორიულ და პრაქტიკულ შედეგებს შორის არის დასაშვების ფარგლებში.

თანამედროვე სატვირთო ვაგონები აღჭურვილია მექანიკური მუხრუჭებით. გრძელ ციცაბო დაღმართებზე წარმატებით გამოიყენება ლოკომოტივის რეკუპერაციული დამუხრუჭება. რეკუპერაციული დამუხრუჭება შესაძლებლობას იძლევა ელექტროენერჯის მნიშვნელოვანი რაოდენობა უკან დავაბრუნოთ საკონტაქტო ქსელში, რასაც გამოიყენებს სხვა ელექტრომაველები, რომლებიც ამ მომენტში მუშაობენ წვეის რეჟიმში. ამასთან ერთად გრძელ დაღმართებზე

უმჯობესდება მატარებელთა მოძრაობის პირობები და საიმედოობა. რეკუპერაციული დამუხრუჭება ამცირებს მექანიკური დამუხრუჭების წილს და შესაბამისად მცირდება ხუნდების გახურების ტემპერატურა. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ რეკუპერაციული დამუხრუჭებისას სამუხრუჭო ძალა მოდის ლოკომოტივზე, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ლიანდაგის გაძლიერებული მოშლა. ამიტომ ამ შემთხვევაში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება, საერთო სამუხრუჭე ძალის თუ რა ნაწილი მოდის რეკუპერაციაზე.

თანამედროვე მოძრავი შემადგენლობა აღჭურვილია ისეთი ჰაერგამანაწილებლებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ ავტომუხრუჭების უშრეტობას, ანუ სამუხრუჭო მაგისტრალში ჰაერის წნევა ნორმის ფარგლებშია. ციცაბო ქანობებზე ($i \geq 18\%$) ავტომუხრუჭები გადართული უნდა იყოს მუშაობის სამთო რეჟიმზე. ავტომუხრუჭების უშრეტობა განპირობებულია მუშა კამერების საჰაერო მაგისტრალიდან იზოლირებით, ხოლო სამარაგო რეზერვუარები მაგისტრალიდან მუდმივად ივსება შეკუმშული ჰაერით. მიუხედავად ამისა, გრძელ დაღმართებზე უწყვეტი დამუხრუჭებისას წნევები სამუხრუჭო ცილინდრებში (სც), სამარაგო რეზერვუარებში (სრ) და მაგისტრალში (მ) შეკუმშული ჰაერის გადინება მოსალოდნელია საჰაერო მაგისტრალის გადაბმებში გერმეტიულობის დაუცველობით, რის გამოც მაგისტრალის სიმკვრივის ნორმა ექსპლუატაციის პირობებში შესაძლებელია არ იყოს დაცული (ნორმად მიღებულია 1 წუთის მანძილზე წნევის დაცემა 0.2 ატმოსფეროთი). სამუხრუჭო მაგისტრალში წნევის ნორმაზე დაბლა დაწევა ამცირებს მოძრაობის უსაფრთხოების პირობებს. საუღელტეხილო რკინიგზებზე მიღებულია მატარებელთა მოძრაობის შემდეგი რეჟიმი: დაწესებულია გამყოფ პუნქტებზე სატვირთო მატარებლების აუცილებელი გაჩერება 5–6 წუთით. ამ დროის მანძილზე იმუხტება საჰაერო მაგისტრალი და ცივდება სამუხრუჭე ხუნდები.

ჰაერის წნევის ცვალებადობა საჰაერო მაგისტრალში თეორიულ გაანგარიშებას არ ექვემდებარება. უწყვეტი დამუხრუჭების დროის დასადგენად შესრულდა ექსპერიმენტებისა და უშუალო რეალურ პირობებში ჩატარებული ცდების მონაცემების ურთიერთშედარება. ამ

მონაცემების ანალიზისა და შეჯერების საფუძველზე ვასკვნიტ, რომ უწყვეტი დამუხრუჭების დრო, როცა ქანობი $i \geq 30\%$, ტოლია 30 წუთის, ხოლო როცა დაბაბული დაღმართის ქანობი ნაკლებია 30%-ზე, – 35 წუთის.

გრძელ ციცაბო დაღმართებზე ხანგრძლივი დამუხრუჭებისას ხუნდი გახურების გარდა განიცის ცვეთას (განსაკუთრებით თუჯის ხუნდები). კომპოზიციური ხუნდები გაცილებით ცვეთამედევია, ამიტომ ცვეთაზე მოწმდება მხოლოდ თუჯის ხუნდები. ჩვენს მიერ დადგენილია დაღმართის მაქსიმალური სიგრძე თუჯის ხუნდის სისქისა და ქანობისაგან დამოკიდებულებით, ანუ ხუნდის ის მაქსიმალური სისქე, რომლითაც მატარებელს შეუძლია გაიაროს დადგენილ ქანობიანი დაღმართი.

ციცაბო აღმართზე საანგარიშო წონიანი სატვირთო მატარებლის მოძრაობისას ელმავალი მოიხმარს მაქსიმალურ დენს. ხანგრძლივი მოქმედების შედეგად ღუზის გრავნილები, კოლექტორი და საკისრები შეიძლება დაზიანდეს, რაც გამოიწვევს ძრავის სიმძლავრის შეზღუდვას, იზოლაციის დაზიანებას და ძრავის მწყობრიდან გამოსვლას. ძრავის გახურების მაქსიმალური ტემპერატურა დამოკიდებულია იზოლაციის კლასზე და გარემოს ტემპერატურაზე. პრაქტიკაში ძრავის გადახურების თავიდან აცილების მიზნით მიმართავენ ლოკომოტივის მუშაობის რეჟიმის შეცვლას: ელმავალი გადაყავთ მუშაობის საათურ რეჟიმზე, რის შედეგად ერთი საათის განმავლობაში არ არის მოსალოდნელი მისი გადახურება. მაგრამ ამ ღონისძიებას უარყოფითი შედეგი მოსდევს, კერძოდ, უნდა შევამციროთ მატარებლის წონის ნორმა, რომელიც ყოველთვის მიზანშეწონილი არ არის.

ზემოთაღნიშნულიდან გამომდინარე, მთიან პირობებში რკინიგზების დაპროექტებისას აუცილებელია აღმართის სიგრძის შემოწმება ძრავების გადახურების პირობით. ნაშრომში დადგენილია აღმართის მაქსიმალური სიგრძე თანამედროვე ელმავლებისათვის ძრავის საწყისი ტემპერატურისაგან დამოკიდებულებით.

რკინიგზის ტრანსპორტის უსაფრთხოებაზე გარდა მატარებლის მოძრაობის რეჟიმისა, გავლენას ახდენს ბუნებრივი პირობები. განსაკუთრებით ეს საგრძნობია სამთო რკინიგზებისათვის. ვინაიდან

მთიან პირობებში ხშირია თოვლის ზეგებები, ნამქერები, მეწყერები, ქვათაცვენა და სხვა. ადგილი აქვს მკაცრ კლიმატურ, ტოპოგრაფიულ, გეოლოგიურ და ჰიდროლოგიურ პირობებს.

საქართველოს რკინიგზის გარკვეული ნაწილი გადის საუღელტეხილო ქედებზე და ფერდობებზე (მაგალითად, სურამის საუღელტეხილო უბანი, მარაბდა-ახალქალაქის ხაზი). მარაბდა-ახალქალაქის ხაზზე არის მონაკვეთები, რომელიც ინამქრება თოვლით და მთელი 6 თვის მანძილზე მოძრაობა შეწყვეტილია. ახლა როცა ეს ხაზი გახდა საერთაშორისო რკინიგზის შემადგენელი უბანი, უდიდესი ყურადღება ექცევა მასზე შეუფერხებელ და უსაფრთხო მოძრაობის უზრუნველყოფის საკითხებს.

ნაშრომში მოყვანილია მთელი რიგი რეკომენდაციები, რომელთა გატარება თავიდან აგვაცილებს ლიანდაგის თოვლისაგან დანამქრას.

მატარებელთა უსაფრთხო და შეუფერხებელი მოძრაობის უზრუნველსაყოფად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება სატვირთო მატარებლის საანგარიშო წონის დადგენას, ვინაიდან არასწორედ შერჩეული საანგარიშო წონის შემთხვევაში შესაძლებელია მატარებელი შეფერხდეს საანგარიშო ქანობიან აღმართზე. ეს გამოიწვევს მოძრაობის შეფერხებას და გაართულებს მოძრაობის ორგანიზაციას მთელ უბანზე.

საანგარიშო წონის დადგენას სამთო რკინიგზებზე გააჩნია მთელი რიგი თავისებურებანი, ვინაიდან სამთო პირობებში რკინიგზის ლიანდაგი უფრო მეტადაა გაჭუჭყიანებული, სველი და მოყინულია, ვიდრე ჩვეულებრივ პირობებში. ეს გარემოება მკვეთრად ამცირებს ლოკომოტივის წვევის ძალას (მცირდება შეჭიდულობა რელსსა და თვალს შორის). ასეთ უბნებზე გვხვდება მცირერადიუსიანი მრუდები ($R \leq 500$ მ), რაც აგრეთვე ამცირებს წვევის ძალას. გასათვალისწინებელია აგრეთვე წვევის ძრავების გადახურების მომენტი აღმართის მიმართულებით.

ყოველივე ზემოთაღნიშნულის გათვალისწინებით ჩვენს მიერ დადგენილი იქნა მატარებლის საანგარიშო წონა მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის ხაზისათვის.

შემოთავაზებული გვაქვს მატარებლის საანგარიშო წონის ე.წ. სეზონური სიდიდეები, კერძოდ ზაფხულის პერიოდში ეს სიდიდეა 1700 ტ, ხოლო ზამთრის პერიოდში – 1300 ტ.

მთიან პირობებში ელწევის უპირატესობა თბოწევასთან შედარებით აშკარაა, მაგრამ იმ შემთხვევაში, როცა გადაზიდვების ზომები მცირეა, ადვილი შესაძლებელია მიზანშეწონილი აღმოჩნდეს თბოწევის გამოყენება. ასევე ყურადსაღებია ტურისტულ მარშრუტებზე თბოწევის გამოყენების შესაძლებლობა. მთიან პირობებში თბოწევის გამოყენებისას მატარებლის წონის დადგენა დაკავშირებულია მთელ რიგ თავისებურებებთან. ზღვის დონიდან სიმაღლის მატებასთან დაკავშირებით მცირდება დიზელის ძრავის სიმძლავრე. რაც აუცილებლად უნდა იქნეს გათვალისწინებული მატარებლის საანგარიშო წონის დადგენისას.

ციცაბო ქანობებზე მატარებელთა მოძრაობის თავისებურებების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ გრძელი დაღმართების სიგრძეები ძირითადად იზღუდება ორი პირობით: ხუნდების გადახურებით და საჰაერო მაგისტრალის დაშრეკით. ამ პირობების ერთდროული გათვალისწინებით მიიღება დაძაბული გადასარბენის ოპტიმალური სიგრძე. აქვე უნდა აღინიშნოს ის გარემოებაც, რომ ერთლიანდაგიანი რკინიგზის შემთხვევაში გადასარბენის სიგრძის განმსაზღვრელია აგრეთვე ხაზის გამტარუნარიანობა. ორლიანდაგიანი რკინიგზის გადასარბენის სიგრძე კი იზღუდება მოქმედი ნორმებით და იგი შეადგენს 30 კმ-ს.

ჩვენი კვლევის ობიექტს, როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ, წარმოადგენს მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის უბანი. ამ უბანზე მოძრაობის უსაფრთხოების საკითხი ხაზის ექსპლუატაციაში შესვლისთანავე გახდა აქტუალური. რის მიზეზზეც წარმოადგენდა ექსპლუატაციის საწყის წლებში ამ უბანზე მომხდარი რიგი ავარიები, რომლებსაც შეეწირა ადამიანთა სიცოცხლე და ქვეყანამ განიცადა დიდი ეკონომიური და მატერიალური ზარალი. მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის ხაზს თავისი სირთულით ანალოგი არ გააჩნია ყოფილ საბჭოთა კავშირის სივრცეში. ჩვენს მიერ შესწავლილი იქნა ამ მონაკვეთის ყველა რთული გადასარბენები. ასეთი კი არის 5

გადასარბენი. ყველა მათგანის სიგრძე შემოწმებული იქნა დამუხრუჭების პირობით და მოძრაობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მიზნით დაგსახეთ რიგი ღონისძიებანი, როგორებიცაა დამატებითი ასაქცევის გახსნა, ე.წ. „დასასვენებელი“ მოედნების და თოვლდამცავი ნაგებობების მოწყობა.

ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევების შედეგები და დასახული რეკომენდაციების დანერგვა მთიან რეგიონებში გამავალ რკინიგზებზე და მათ შორის მარაბდა-ახალქალაქის ხაზზე შესაძლებლობას მოგვცემს უზრუნველყოთ ან გავაუმჯობესოთ მატარებელთა მოძრაობის უსაფრთხოება.

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

მატარებელთა მოძრაობის უსაფრთხოების საკითხს დიდი ყურადღება ექცეოდა რკინიგზების ჩასახვის დროიდან. რკინიგზის ტრანსპორტზე მოძრაობის უსაფრთხოების ხარისხი სხვა სახის ტრანსპორტთან შედარებით უფრო მაღალია, რაც განაპირობა იმ ნორმებმა და წესებმა, რის საფუძველზეც იგებოდა და ექსპლუატაცია ეწეოდა რკინიგზას.

გამყოფი პუნქტების განლაგების საკითხი ერთ-ერთი საკვანძო საკითხია რკინიგზის დაპროექტებისას. როგორც ცნობილია, გამყოფი პუნქტებს მიეკუთვნება საუბნოს შუალედური სადგურები, ასაქცევები, ორლიანდაგიან ხაზებზე-გადასწრების პუნქტები.

გამყოფი პუნქტების განლაგების საკითხს დიდი ყურადღება ექცეოდა რკინიგზის დაპროექტებისა და მშენებლობის საწყის სტადიიდან. ამ პრობლემისადმი ინტერესი შემთხვევითი არ არის, ვინაიდან დამატებითი გამყოფი პუნქტებისათვის მოედნების მოწყობა ექსპლუატაციის პირობებში გართულებულია, ხოლო დაძაბული სვლის უბნებზე დაკავშირებულია დიდ დანახარჯებთან და რიგ შემთხვევებში შეუძლებელია. ამიტომ საჭიროა წინასწარ იყოს განჭვრეტილი რკინიგზის ხაზის გამტარუნარიანობის ზრდის დინამიკა მეორე ლიანდაგის მოწყობის გათვალისწინებით.

გამყოფი პუნქტების განლაგებაზე ბევრად არის დამოკიდებული რკინიგზის ხაზის სამშენებლო და საექსპლუატაციო ხარჯები. რაც ახლო-ახლო არის განლაგებულია გამყოფი პუნქტები, მით მეტია გამტარუნარიანობის სიდიდე, მაგრამ შესამჩნევად იზრდება კაპიტალდაბანდება. ამავე დროს უარესდება ხაზის საექსპლუატაციო მანვენებლები. იზრდება მატარებლების გაჩერებათა რიცხვი, მეტია მატარებლების გაქანება-შეჩერების რაოდენობა, რაც საბოლოო ჯამში იწვევს საშუალო სიჩქარის შემცირებას, ელექტროენერჯის და დიზელის საწვავის ხარჯების ზრდას, მოძრავი შემადგენლობისა და რელსების ინტენსიურ ცვეთას.

თუ გამყოფი პუნქტებს განვალაგებთ შორი-შორს, მაშინ მცირდება სამშენებლო ღირებულება, მაგრამ ამასთან ერთად მცირდება ხაზის

გამტარუნარიანობის სიდიდე და დღის წესრიგში დგება რკინიგზის ხაზის გაძლიერების საკითხი.

ამრიგად, გამყოფი პუნქტების განლაგების საკითხის გადაწყვეტისას უნდა განვსაზღვროთ გადასარბენის ისეთი ოპტიმალური სიგრძე, რომლის დროსაც ადგილი ექნება ყველაზე ხელსაყრელ თანაფარდობას სამშენებლო და საექსპლუატაციო ხარჯებს შორის.

გამყოფი პუნქტების განლაგების საკითხს არაერთი სამეცნიერო გამოკვლევები მიუძღვნეს უცხოეთის და ჩვენი ქვეყნის მეცნიერებმა. ამ საკითხის გადასაწყვეტად გამოკვლევები აქვს ჩატარებული: ა. კარნალსკის, ს. ორბელიანცს, გ. ჩერნომორდიკს, ა. გიბშმანს, მ. პროტოდიანოკოვს, ა. იონესიანს, ა. გასინოვს, ნ. კარტაშოვას, გ. კვანტალიანს და სხვა [1] [2] [3].

ევროპული ქვეყნებსა და აშშ-ს რკინიგზებზე გამყოფი პუნქტების განლაგების საკითხი თეორიულ დასაბუთებას არ ექვემდებარება და ეს საკითხი წყდება ყველა კონკრეტულ შემთხვევაში რკინიგზის ხაზის დანიშნულების მიხედვით.

ბოლო ხანებში საზღვარგარეთ აშენებული რკინიგზის ხაზები მიეკუთვნება სპეციალიზირებულ ხაზებს, რომლებიც განკუთვნილია: მადნეულის, ნახშირის, ტყის მასალის და სხვა სახის ტვირთების გადაზიდვებისათვის. ამ ხაზებს გააჩნიათ მკვეთრად გამოხატული სატვირთო და არასატვირთო მიმართულებები მცირე სიდიდის სამგზავრო გადაზიდვებით. ამ ხაზებზე სატვირთო გადაზიდვების ათვისება გათვალისწინებულია სატვირთო მატარებლების რიცხვის მკვეთრი შემცირებით, სამაგიეროდ იზრდება მათი წონები, მცირდება გამყოფი პუნქტების რიცხვი.

მაგალითად, ავსტრალიაში რკინიგზის ხაზზე მოუნდ-ტომ პრეის-პოსტ კინძეი სიგრძით 288 კმ არ არის გათვალისწინებული არცერთი გამყოფი პუნქტი. მატარებლების მასა შეადგენს 14400 ტონას.

მავრიტანიაში 650 კმ-იან რკინიგზის ხაზზე გათვალისწინებულია მხოლოდ ერთი გამყოფი პუნქტი. მატარებლების მასა შეადგენს 14000 ტ.

რუსეთში გამყოფი პუნქტების განლაგების საკითხი ჩაისახა ჯერ კიდევ მაშინ, როცა იბადებოდა რკინიგზის დაპროექტების თეორიის

ელემენტები. 1899 წლამდე გამოყოფილი პუნქტებს შორის მანძილი არ უნდა ყოფილიყო 16 ვერსზე მეტი.

1899 წელს მიღებული ტექნიკური პირობების მიხედვით გამოყოფილი პუნქტები ისე უნდა ყოფილიყო განლაგებული, რომ უზრუნველყო 19 წყვილი სამხედრო მატარებლის გატარება. მატარებლის მასა ორთქმავლის წევით ტოლი იყო 575 ტონის.

გადასარბენის სიგრძეები სხვადასხვა ქანობებზე იყო სხვადასხვა. მაგალითად, ნულოვან ქანობზე გადასარბენის სიგრძე ტოლი იყო 15.8 კილომეტრის. 4 % ქანობზე – 12.4 კმ, ხოლო 8 % – 9.1 კმ.

1925 წელს მიღებული ტექნიკური პირობების თანახმად გამოყოფილი პუნქტები უნდა განლაგებულიყო ისეთი პირობით, რათა უზრუნველყო 24 წყვილი პირობითი მატარებლის გატარება. ამ შემთხვევაში სახელმძღვანელო ქანობიან აღმართზე სიჩქარის სიდიდე შეადგენდა 15 კმ/სთ, თარაზულ მოედანზე – 40 კმ/სთ, დაღმართებზე კი 50 კმ/სთ. ამ პირობით ყველა სახელმძღვანელო ქანობზე გადასარბენის სიგრძე შეადგენდა 7 კმ, ხოლო ნულოვან ქანობებზე – 14 კმ.

1931–1934 წლებში გამოცემული ტექნიკური პირობების მიხედვით გამოყოფილი პუნქტების განლაგებას უნდა უზრუნველყო 24 წყვილი მატარებლის გამტარობა. სატვირთო მატარებლის მასა შეადგენდა 1000 ტონას. ასეთი პირობებით გადასარბენი მოედნის სიგრძე თარაზული მოედნის შემთხვევაში შეადგენდა 15 კმ-ს, 4 % ქანობზე – 10.8 კმ, ხოლო 8 % – 7.2 კმ-ს.

1936–41 წლებში გამოყოფილი პუნქტების განლაგება წარმოებდა ეგრეთწოდებული „პირობითი მატარებლის ცხრილების“ მიხედვით. ამ შემთხვევაში საგადასარბენო სვლის დრო მიიღებოდა 36 წთ. ეს პრინციპი შენარჩუნებული იქნა 1946–53 წლებში გამოცემულ ტექნიკურ პირობებში. იცვლებოდა მხოლოდ სვლის დროის ცხრილები.

ზემოთმოყვანილი ტექნიკური პირობების მიხედვით გადასარბენის სიგრძეები წარმოდგენილია ცხრილში 1.

გადასარბენის სიგრძეები ტექნიკური პირობების მიხედვით

ტექნიკური პირობები	გადასარბენის სიგრძე, კმ		
	თარაზულ მოედანზე	სახელმძღვანელო ქანობი	
		4 ‰	8 ‰
1899	15.8	12.6	9.1
1925	14	7.0	7.0
1931-1934	15	10.8	7.2
1936	18	13.6	10.4
1946	16.3	13.3	10.2
1953	17.1	13.6	10.7

შემდგომი პერიოდის გამოკვლევებში მეცნიერების ყურადღება მიექცა ისეთ საკითხებს, როგორცაა გამყოფი პუნქტების განლაგების ნორმირების ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთება.

შეიძლება გამოიყოს გამყოფი პუნქტების განლაგების ნორმირების სამი ეტაპი:

I ეტაპი – 1936-51 წ.წ. ამ ეტაპზე ერთლიანდაგიანი რკინიგზის ხაზის გადასარბენის სიგრძე განისაზღვრა შემდეგი ძირითადი პირობით:

გადაზიდვების მინიმალური თვითღირებულება და ერთლიანდაგიანი რკინიგზის ორლიანდაგიანად გადაკეთება. ამ პირობებიდან გამომდინარე ერთლიანდაგიანი რკინიგზის ხაზის გადასარბენის ხელსაყრელი სიგრძე შეადგენდა 8–12 კმ-ს. სახელმძღვანელო ქანობი მიიღებოდა 4 ‰–12 ‰-ის ფარგლებში.

II ეტაპი – 1953-61 წ.წ. ფართოდ დაინერგა თბომავლები და ელექტრული წვევები, მატარებლების გაუჩერებელი აქცევა, მძიმე წონიანი მატარებლები. ყოველივე ამან განაპირობა ტექნიკური ნორმების გადახედვა. გადასარბენის ხელსაყრელი სიგრძის დადგენა ხდებოდა სამშენებლო და საექსპლუატაციო ხარჯების მინიმალური მნიშვნელობის მიხედვით. ჩატარდა გამოკვლევები აგრეთვე სიჩქარის და წონის ზრდის დამოკიდებულობისა გადასარბენის სიგრძეზე.

სატვირთო გადაზიდვების საანგარიშო ლოკომოტივებად მიღებული იყო БЛ23, БЛ8, ТЭ3, სამგზავრო გადაზიდვებისთვის - ТЭ7. წონის ნორმის დადგენა ხდებოდა სახელმძღვანელო ქანობების შემდეგი მნიშვნელობებისათვის - 7 %, 9 %, 11 %, სამგზავრო მატარებლების წონად მიღებული იყო 1000 ტ.

ამ პირობებიდან გამომდინარე გადასარბენის ოპტიმალური სიგრძე თბოწვევისას მატარებელთა გაუჩერებელი აქცევის პირობებში შეადგენდა - 18-20 კმ, ხოლო ელწვევისას 18-25 კმ. ამასთანავე დადგინდა, რომ მატარებლის მასის 1000 ტონით გაზრდისას გადასარბენის სიგრძე იზრდება დაახლოებით 1-1.5 კმ-ით. ასეთივე სიდიდის ზრდას იწვევს აგრეთვე მატარებლების მოძრაობის სიჩქარის გაზრდა სატვირთო მატარებლების - 10 კმ/სთ, ხოლო სამგზავროების 20 კმ/სთ.

III ეტაპი - 1962-76 წ.წ. არსებული ნორმების თანახმად გამყოფი პუნქტების განლაგება ხდებოდა საანგარიშო ცხრილების მიხედვით. დაისვა საკითხი - როგორ განვალაგოთ გამყოფი პუნქტები, საანგარიშო ცხრილების თუ რეალური მატარებლების მიხედვით? ამ საკითხის დრმა მეცნიერულმა შესწავლამ დაასაბუთა, რომ I და II კატეგორიის რკინიგზებზე გამყოფი პუნქტები უნდა განლაგებულიყო რეალური მატარებლების რაოდენობის მიხედვით.

1962 წელს გამოცემულ ტექნიკურ ნორმებში გამყოფი პუნქტების განლაგების საკითხზე იყო მითითებული შემდეგი რეკომენდაციები:

სატვირთო მატარებლის მასა I კატეგორიის რკინიგზებზე გაიზარდოს 6 ათას ტონამდე, II კატეგორიის რკინიგზებზე - 5 ათას ტონამდე. მატარებელთა გაუჩერებელი აქცევა უნდა მოხდეს გამყოფ პუნქტებზე.

III და IV კატეგორიის რკინიგზებზე გამყოფი პუნქტები უნდა განლაგდეს ექსპლუატაციის მე-10 წლისათვის ტვირთდაძაბულობის მიხედვით. ამ ტექნიკური ნორმების თანახმად გადასარბენის მაქსიმალური სიგრძე არ აღემატებოდა 30 კმ-ს.

ხემოთმოყვანილი ტექნიკური ნორმების მოთხოვნები შენარჩუნებულია თანამედროვე ნორმებში. 1976 წლის ნორმებში უფრო

დეტალურად არის გათვალისწინებული საექსპლუატაციო მუშაობის პირობები და ტექნიკური პარამეტრების კომპლექსური შერჩევა.

როგორც ვნახეთ გადასარბენის სიგრძე სხვადასხვა დროს გამოქვეყნებული ნორმების მიხედვით არ აღემატება 7–10 კმ-ს. ამ ნორმებით იყო აშენებული საქართველოს რკინიგზაც. მაგალითად, სურამის უღელტეხილზე გადასარბენის სიგრძე არ აღემატება 7–9 კმ-ს. ასეთივე პირობებითაა აშენებული „ჯაჯურის“ უღელტეხილის რკინიგზაც (სომხეთის რესპუბლიკა). ამიტომ იყო, რომ სამთო რკინიგზებზე მოძრაობის უსაფრთხოების საკითხის კვლევა არ იდგა წინა პლანზე, ვინაიდან შედარებით მოკლე გადასარბენებზე უზრუნველყოფილი იყო მოძრაობის უსაფრთხოება. ამას ის გარემოებაც განაპირობებდა, რომ არ იდგა დღის წესრიგში სამთო პირობებში რკინიგზის მშენებლობა.

მატარებლის მოძრაობის უსაფრთხოების საკითხი მწვავედ დადგა გასული საუკუნის 70-იან წლებში, როცა დაიწყო ტრანსკავკასიის რკინიგზის ხაზის პროექტის შედგენა (პროექტის ავტორი ნ. სვანიშვილი). შედგენილი იქნა სამი ვარიანტი და საბოლოოდ დამტკიცდა ე.წ. არხოტის მიმართულება, საერთო სიგრძით 160 კმ. აღნიშნულ რკინიგზის ხაზზე კავკასიის ქედის ქვეშ გვირაბის სიგრძე შეადგენდა 23 კმ-ს. რკინიგზა თავიდანვე დაპროექტდა როგორც ორლიანდაგიანი. სახელმძღვანელო ქანობი ტოლი იყო 30 %, გადასარბენის მაქსიმალური სიგრძე დაძაბული სვლით შეადგენდა 22 კმ-ს. სწორედ ამ სიგრძის და ქანობის დაღმარის არსებობამ ეჭვსკვეშ დააყენა ამ მონაკვეთზე მატარებლის მოძრაობის უსაფრთხოება. ამ საკითხით დაინტერესდა ინჟ. გ. კვანტალიანი (ამჟამად რკინიგზების მშენებლობის მიმართულების პროფესორი), რომელმაც 1977 წელს ჟურნალში «Транспортное строительство» გამოაქვეყნა სამეცნიერო სტატია [4].

80-იან წლებში საქართველოში აშენდა მარაბდა–ახალქალაქის რკინიგზის ხაზი, საერთო სიგრძით 160 კმ, სახელმძღვანელო ქანობით 35 %. რკინიგზის ეს მონაკვეთი თავიდან გათვალისწინებული იყო როგორც ადგილობრივი დანიშნულების – III კატეგორიის ხაზი. რკინიგზის ეს ხაზი თავიდანვე დაპროექტდა და აშენდა ნორმებიდან

გადახრით. საქმე ის გახლავთ, რომ III კატეგორიის რკინიგზაზე მაქსიმალური ქანობი არ უნდა ყოფილიყო 30 %-ზე მეტი. ამ მონაკვეთის ექსპლუატაციაში შესვლისთანავე თავი იჩინა როგორც საპროექტო, ისე სამშენებლო ხარვეზებმა. ამ უბანზე ადგილი ჰქონდა ავარიებს, რაც ფატალური შედეგით დამთავრდა: შეიწირა ადამიანების სიცოცხლე და ქვეყანას მიაღება დიდი ეკონომიური და მატერიალური ზარალი.

როგორც ცნობილია, რკინიგზის ეს უბანი მალე გახდება საერთაშორისო რკინიგზის ხაზის ბაქო–თბილისი–ყარსის შემადგენელი ნაწილი. ამიტომ ამ უბანზე განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა მოძრაობის უსაფრთხოების საკითხს. ამ ხაზზე დაძაბული გადასარბენების სიგრძეები აღწევს 12–15 კმ, რაც მოითხოვს მოძრაობის საკითხების უსაფრთხოების გადაწყვეტას. გადასარბენის სიგრძის მთავარი შემზღუდავი პირობებს კი, როგორც უკვე აღვნიშნეთ წარმოადგენს ხუნდების გადახურება და საჰაერო მაგისტრალის დაშრება.

ხუნდების გადახურების ტემპერატურის დადგენა ერთობ რთული საკითხია, რადგან ის დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე. ამ საკითხის გადაწყვეტაზე მუშაობდა და გარკვეულ წილად წარმატებული შედეგი აქვს მიღებული ცნობილ რუს მეცნიერს და პრაქტიკოსს პროფ. ვ. ინოზემცევს. [5] [6] [7] [8]. სწორედ მის მიერ შემოთავაზებული ფორმულის გარდაქმნის საფუძველზე ჩვენს მიერ დადგენილია დაღმართის მაქსიმალური სიგრძეები ხუნდების გადახურების გათვალისწინებით. თეორიული კვლევის შედეგები რომ უფრო დამაჯერებელი ყოფილიყო, მივმართეთ იმ ექსპერიმენტალურ მონაცემებს, რომლებიც მიღებულია რეალურ პირობებში ჩატარებული გამოკვლევებით [9].

რაც შეეხება მაგისტრალში ჰაერის დაშრების საკითხს, ეს საკითხი საერთოდ არ ექვემდებარება თეორიულ გადაწყვეტას. ამ საკითხის დამუშავების დროს ვისარგებლე როგორც ექსპერიმენტალური [10], ისე რეალური ცდების შედეგად მიღებული მონაცემებით.

მატარებელთა უსაფრთხო და შეუფერხებელი მოძრაობა დიდად არის დამოკიდებული იმაზე, თუ რამდენად დაცულია რკინიგზა თოვლისა და ქარბუქით გამოწვეული ლიანდაგის დანამქრახე.

ქარბუქის შესწავლა დაიწყო მე-19 საუკუნის მეორე ნახევარში, რაც გამოწვეული იყო რკინიგზის ქსელის განვითარებითა და მისი დანამქრისაგან დაცვის აუცილებლობით.

პირველი ნაშრომი ამ სფეროში გამოქვეყნდა 1878 წ. ე. ზლოტიცკის მიერ, რომელმაც დაასაბუთა, რომ ქარბუქის მიერ თოვლის უმეტესი ნაწილის გადატანა ხდება თოვლის საფარის ხედაპირზე. ე. ზლოტიცკიმ თოვლგადამჭერი ფარის მუშაობის თავისებურებების თეორიაში შემოიტანა ცნება, რომელიც ახლოსაა ნაკადის ტურბულენტურობის თეორიასთან. მან პრაქტიკაში პირველმა გამოიყენა ორ და მრავალრიგიანი თოვლდამცავი ფარები და ტყის ზოლები შიგა დიდი წყვეტებით.

ე. შუბერტმა გერმანიაში და ა. ჩერნიავსკიმ რუსეთში 1888 და 1894 წლებში პირველად ჩამოაყალიბეს მოსაზრება, რომ ქარის მიერ თოვლნატანის მოცულობა თოვლშემკრებ ზონის ფარგლებში ჩამორჩება ამ ზონის ზომებს.

ე. ჩერნიავსკის მიერ შემოთავაზებული იქნა ქვემოთ წარმოდგენილი ემპირიული დამოკიდებულება თოვლდამჭერი ნაგებობის მიერ გადაჭერილი თოვლის მოცულობასა და თოვლშემკრები აუზის სიგრძეს შორის

$$Q_H = \frac{25}{1 + \frac{1750}{L_H}}$$

წარმოდგენილი ფორმულიდან ჩანს, რომ როდესაც $L_H \rightarrow \infty$, $Q_H \rightarrow const$, რაც სრულად შეესაბამება ქარბუქის ბუნებას და ამავე დროს იძლევა მის ფიზიკურ განმარტებას.

მე-20 საუკუნის დასაწყისში ქარბუქის თეორიის მნიშვნელოვანი კვლევები შეასრულა ე. დოლგოვმა, რომელმაც განაზოგადა ეკატერინოსლავის რკინიგზაზე გამოყენებულ თოვლდამჭერ მოწყობილობათა ექსპლოატაციის შედეგები, აღწერა სპეციალურად შექმნილ ქარბუქზომით ჩატარებული კვლევების შედეგები და ჩამოაყალიბა თოვლის გადატანის შემდეგი კანონები:

1. ქარბუქი იწყება ადგილობრივი პირობებისათვის ქარის განსაზღვრული სიჩქარის მიხედვით;
2. თოვლისა და ნიადაგის ნაწილაკები, რომლებიც მონაწილეობენ თოვლის საფარის რელიეფის ზედაპირის ცვლილებაში, გადაიტანება უშუალოდ მის სიახლოვეს.

ამ სფეროში სერიოზული გამოკვლევები შესრულებულია ნ. შუკოვსკისა და ს. ჩაპლიგინის მიერ, რომლებმაც ჩამოაყალიბეს ნახევარცილინდრის უკან ტურბულენტური ინტერპრეტაციისა და მთლიანი ფირფიტის პოტენციალური აგრიგალების საერთო მეთოდი.

შემდეგი კვლევები შეასრულებულია ა. ხრგინის, ნ. შვეიკოვსკის, ა. სლეხკინისა და ვ. ველცენბახის მიერ.

ა. ხრგინმა პირველად გამოიყენა აეროდინამიკის ზოგიერთი თეორიული დასკვნები თოვლით დანამქრასთან ბრძოლის პრაქტიკული მიზნებისათვის.

ნ. შვეიკოვსკიმ დაამტკიცა, რომ პოტენციალური ნაკადები არ შეიძლება გამოყენებული იყოს წინაღობის უკან ტურბულენტური რკალის აღსაწერად.

ვ. ველცენდბახმა დაადგინა თოვლით დანამქვრის მიმართ იმ ჭრილების განსაკუთრებული დაქვემდებარება, რომელთა ღერძები განლაგებულია ქარბუქის მიმართულების პარალელურად.

ქარბუქის მიმართ ინტერესი განსაკუთრებით გაძლიერდა წინა საუკუნის 50-იანი წლების შემდეგ. ტ. ლილიკოვის, ი. ვიკერსის, ლ. დოლგუმინის, მ. კოტლიაკოვას, ვ. ავერიანოვას, ი. კაპანევას, ნ. რუსინას, რ. გარსიას, ფ. ლოვეს მიერ გამოყენებულია ქარბუქის მიერ თოვლის გადატანის სიდიდის განსაზღვრის სხვადასხვა მეთოდები და წამოყენებულია ამ სიდიდეთა საერთო რიცხობრივი შეფასების სხვადასხვა ჰიპოტეზები.

1952–1954 წლებში ბ. ივანოვის, დ. მელნიკის, ა. დიუნინის, ა. კომაროვის, ვ. აკკურატოვის, მ. ბიალობჟენკის მიერ პრაქტიკული მიზნებისათვის შემოთავაზებული იქნა თოვლით გაჯერებული ქარის მიერ გადატანილი თოვლის მკვრივი ხარჯის საანგარიშო ემპირიული ფორმულები.

ნაირგვაროვანი ემპირიული ფორმულების სიმრავლე წარმოადგენს იმის დასტურს, რომ არ არსებობს თეორია, რომელიც შეძლებდა გაეცა პასუხი თოვლით გაჯერებული ნაკადის მექანიკის მთავარ კითხვაზე – ქარბუქის მიერ თოვლის ტრანსპორტირების უნარის შესაძლებლობის შესახებ.

2. შედეგები და მათი განსჯა

2.1. დაღმართების მაქსიმალური სიგრძეების დადგენა სამუხრუჭე ხუნდების გადახურების პირობით

მექანიკური დამუხრუჭებისას ხახუნის შედეგად ხურდება ხახუნში მონაწილე დეტალები და გამოყოფილი სითბო გამოიფრქვევა გარემოში. სინქარის ზრდასთან ერთად იზრდება მატარებლის კინეტიკური ენერჯია და შესაბამისად იზრდება სამუხრუჭე სისტემის ფრიქციულ მოწყობილობათა ტემპერატურა.

სამუხრუჭო სისტემის საიმედოობა და მოძრაობის უსაფრთხოება ციცაბო დაღმართებზე ბევრად არის დამოკიდებული სამუხრუჭე ხუნდების ტემპერატურულ რეჟიმზე.

გადახურების შედეგად ირღვევა სამუხრუჭე ხუნდების მექანიკური მდგომარეობა და შესაბამისად მცირდება მოძრაობის უსაფრთხოების გარანტია. რკინიგზის მოძრავი შემადგენლობა ძირითადად აღჭურვილია თუჯისა და კომპოზიციური მასალისაგან დამზადებული ხუნდებით. კომპოზიციური მასალისაგან დამზადებული ხუნდები ხასიათდება ხახუნის მაღალი კოეფიციენტით, რაც საშუალებას გვაძლევს ავამაღლოთ დაღმართებზე (და არა მარტო დაღმართებზე) დასაშვები მაქსიმალური სინქარეები. ამასთანავე კომპოზიციური ხუნდები ხასიათდება მაღალი ცვეთამედეგობით, რაც უზრუნველყოფს მათ ნორმალურ მუშაობას შედარებით გრძელ დაღმართებზე.

კომპოზიციური ხუნდების ძირითადი ნაკლია ის, რომ მათ გააჩნიათ დაბალი თბოგამტარობა, რაც მკვეთრად ზრდის თვლის სითბურ გადატვირთვას. კომპოზიციური მასალის უარყოფითი მხარეა აგრეთვე მისი ზედაპირის სიპი ზედაპირი, რაც დამუხრუჭების საწყისს მომენტში ეფექტს არ იძლევა. ამიტომაც გრძელ დაღმართებზე აუცილებელია თუჯისა და კომპოზიციური ხუნდები შემადგენლობაში გამოყენებული იქნეს ერთდროულად თანაბარი რაოდენობით.

ხუნდების გახურების საკითხის შესწავლას ყურადღება მიექცა ბოლო ხანებში. საქმე ის გახლავთ, რომ არსებული რკინიგზის ხაზები მთიან პირობებში აგებული იყო ძველი ტექნიკური ნორმებით. ამ

შემთხვევაში გადასარბენის სიგრძეები და შესაბამისად ციცაბო დაღმართები არ იყო დიდი სიდიდის. მაგალითად სურამის უღელტეხილზე გადასარბენების სიგრძე არ აღემატება 7–9 კმ-ს. ასეთივე მდგომარეობაა ჯაჯურის უღელტეხილზე (სომხეთის რესპუბლიკა).

უკანასკნელ ხანებში ლოკომოტივის სიმძლავრისა და სიჩქარის გაზრდა, მოძრავი შემადგენლობის ტექნიკური აღჭურვილობის გაუმჯობესება საშუალებას იძლევა გავზარდოთ გადასარბენის სიგრძეები, ამასთანავე გამტარუნარიანობაც საგრძნობლად დიდია. მაგალითად, მარაბდა–ახალქალაქის ხაზზე გადასარბენის სიგრძეები აღწევს 10–15 კმ-ს. ორლიანდაგიანი რკინიგზების დაპროექტებისა და მშენებლობის ნორმების თანახმად გამყოფ პუნქტებს შორის მანძილი შეიძლება იყოს არაუმეტეს 30 კმ-ისა. ასეთი გრძელი გადასარბენები და ციცაბო ქანობების (30–35 %) არსებობა აუცილებლად მოითხოვს გრძელი დაღმართების სიგრძეების შემოწმებას ხუნდების გადახურების პირობით.

ხუნდების გახურების ტემპერატურის დადგენა თეორიული გზით მეტად რთულია, ვინაიდან ის დამოკიდებულია მთელ რიგ ფაქტორებზე, როგორცაა: მოძრაობის სიჩქარე, ვაგონის წონა, გრძივი ქანობი, ხუნდის და თვლის მასალა და სხვა.

ყველაზე სანდო და საფუძვლიანი გამოკვლევა ამ საკითხის ეკუთვნის სარკინიგზო ტრანსპორტის დარგში ცნობილ რუს მეცნიერს ვ. ინოხემცევს. მის მიერ გასული საუკუნის 70-იან წლებში შემოთავაზებული იქნა ფორმულა, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე [5].

$$\frac{(1 - \alpha_p)\alpha_R h P \varepsilon S_0}{t S_m d} (1 - e^{-0.03\sqrt{t}}) \leq 2 \quad (2.1)$$

თუ ეს ტოლობა დაცულია, მაშინ ხუნდების გახურების ტემპერატურა ნორმის ფარგლებში იქნება (მაქსიმალური გახურების

ტემპერატურად მიღებულია 350°C).

ზემოთმოყვანილ ფორმულაში შემავალი სიდიდეები შემდეგნაირად განიმარტება:

α_p - რეკუპერაციის კოეფიციენტი და ითვალისწინებს

რეკუპერაციულ დამუხრუჭების წილს;

α_R - თბური ნაკადის გადანაწილების კოეფიციენტი; თუჯის ხუნდებისათვის $\alpha_R=0.7$, კომპოზიციური ხუნდებისათვის – $\alpha_R=0.95$;

h - დაღმართის საწყის და ბოლო წერტილებს შორის სიმაღლეთა სხვაობა, მ;

P - თვალზე მოსული დაწოლა, $P=10.5$ ტ;

ε - თვლის მუშაობის არათანაბრობის კოეფიციენტი, $\varepsilon=1.5$;

S_0 და S_m - სხვადასხვა ტიპის ვაგონების საანგარიშო სამუხრუჭო მანძილებია, ერთგვაროვანი ვაგონებისთვის, $S_0=S_m$;

d - თვლის დიამეტრია, სატვირთო ვაგონებისთვის $d=0.87$ მ;

t - დამუხრუჭების დროა, წმ.

პროფ. კვანტალიანმა ამ ფრომულის გარდაქმნის შედეგად მიიღო გამოსახულება, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელი გახდა დაღმართის მაქსიმალური სიგრძეების დადგენა. სიმაღლეთა სხვაობა h შეცვლილია ნამრავლით li , სადაც i დაღმართის ქანობია, l -კი დაღმართის სიგრძე.

დამუხრუჭების ხანგრძლივობა t შეცვლილია გამოსახულებით $t = \frac{l}{v} 3600$ წმ. თუ ფორმულაში [2.1] ჩავსვათ კოეფიციენტების რიცხვით მნიშვნელობებს, ვღებულობთ თუჯის ხუნდებისათვის

$$\frac{12.7(1 - \alpha_p)li}{t} (1 - e^{-0.03\sqrt{t}}) \leq 2 \quad (2.2)$$

კომპოზიციური ხუნდებისათვის

$$\frac{16.3(1 - \alpha_p)li}{t} (1 - e^{-0.03\sqrt{t}}) \leq 2 \quad (2.3)$$

თუ ზემოთმოყვანილ ფორმულებს ამოვსხნით l -ის მიმართ, მივიღებთ თუჯის ხუნდებისათვის

$$l = \frac{V}{3.24} \ln^2 \left[1 - \frac{567}{(1 - \alpha_p)Vi} \right] \text{ კმ} \quad (2.4)$$

კომპოზიციური ხუნდებისათვის

$$l = \frac{V}{3.24} \ln^2 \left[1 - \frac{419}{(1 - \alpha_p)Vi} \right] \text{ კმ} \quad (2.5)$$

როგორც ავნიშნეთ, ფორმულებში α_p არის რეკუპერაციის კოეფიციენტი. სამთო რკინიგზებზე წარმატებით გამოიყენება

რეკუპერაციული დამუხრუჭება, რომელიც იძლევა დიდ სარგებლიანობას. კერძოდ, მცირდება მექანიკური დამუხრუჭების წილი და ამის გამო იკლებს ხუნდების გახურების ტემპერატურაც. ეს ღონისძიება იძლევა აგრეთვე მდოვრული მოძრაობის შენარჩუნების შესაძლებლობას. ამასთანავე მას გააჩნია უარყოფითი თვისება, რაც იმაში გამოიხატება, რომ რეკუპერაციული დამუხრუჭებისას მთელი სამუხრუჭო ძალა მოდის ლოკომოტივზე, რაც უწყობს ხელს ლიანდაგის ზედანაშენის მოშლას. ამიტომ დიდი მნიშვნელობა აქვს რეკუპერაციის კოეფიციენტის ზომიერების დადგენას. პროფ. კვანტალიანი გვთავაზობს ამ კოეფიციენტის მნიშვნელობად ავიღოთ 0.3. შევამოწმოთ, რამდენად მისაღებია ეს სიდიდე. მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის ამ უბანზე სატვირთო მატარებლის მაქსიმალური საანგარიშო წონა არის 1800 ტ. მაშინ მექანიკური დამუხრუჭებისას სრული სამუხრუჭო ძალა ტოლი იქნება

$$B_m = (2P + Q)(i_{სახ} - \omega_{ox}) \text{ ტ}$$

$i_{სახ}$ - სახელმძღვანელო ქანობია - $i_{სახ} = 35 \%$;

ω_{ox} - უქმი სვლის წინაღობა; ავიღოთ $\omega_{ox} = 2.0$ კგ/ტ;

$Q = 1800$ ტ $2P = 2 \cdot 184 = 368$ ტ - ლოკომოტივის წონა (ორმაგი წევა);

$$\text{ე.ი. } B_m = (368 + 1800) \cdot 33 = 71500 \text{ კგ.}$$

რეკუპერაციული დამუხრუჭებისას სამსრუჭო ძალა ერთი ლოკომოტივისათვის ტოლია 27000 კგ. რეკუპერაციის კოეფიციენტი $\alpha_p = \frac{B_{mp}}{B_m} = \frac{27000}{71500} = 0.33$. ე.ი. რეკუპერაციის კოეფიციენტის 0.3-ის მიღება საგსებით შესაძლებელია (რეკუპერაციისას ვითვალისწინებთ მხოლოდ ერთი ლოკომოტივის სამუხრუჭო ძალას).

აქვე უნდა ავღნიშნოთ, რომ რეკუპერაციული დამუხრუჭება მაქსიმალური დასაშვები სიჩქარის დადგენისას მხედველობაში არ მიიღება. ის ითვლება როგორც დამხმარე საშუალება. ხუნდების გახურების ტემპერატურის გამოთვლისას კი რეკუპერაციის კოეფიციენტის სიდიდეს მხედველობაში ვიღებთ. იმ შემთხვევაში, თუ რეკუპერაცია გამოირთვება, მაშინ საჭირო იქნება მოძრაობის სიჩქარის შემცირება და ამ შემცირებული სიჩქარით მატარებელი შევა უახლოეს

გამყოფ პუნქტზე. თუ ფორმულებში (2.4) და (2.5) შევიტანო α_p მნიშვნელობებს, $\alpha_p = 0$ და $\alpha_p = 0.3$ მივიღებთ თუჯის ხუნდებისათვის.

$$l = \frac{V}{3.24} \ln^2 \left[1 - \frac{767}{Vi} \right] \text{ კმ} \quad (2.6)$$

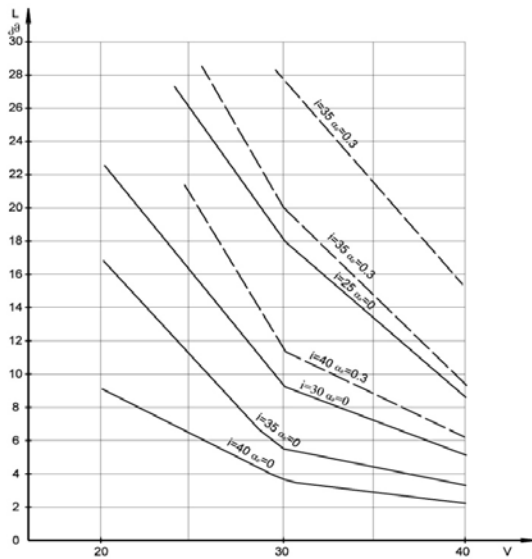
$$l = \frac{l}{3.24} \ln^2 \left[1 - \frac{810}{Vi} \right] \text{ კმ} \quad (2.7)$$

კომპოზიციური ხუნდებისათვის

$$l = \frac{l}{3.24} \ln^2 \left[1 - \frac{419}{Vi} \right] \text{ კმ} \quad (2.8)$$

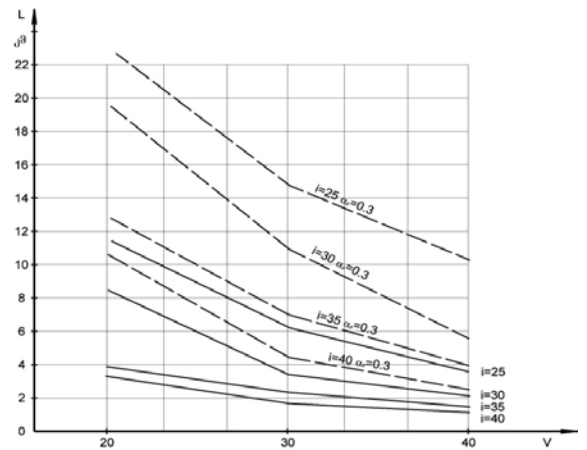
$$l = \frac{V}{3.24} \ln^2 \left[1 - \frac{599}{Vi} \right] \text{ კმ} \quad (2.9)$$

ზემოთმოყვანილი ფორმულების მიხედვით დადგენილი დაღმართის მაქსიმალური სიგრძეები ქანობისა და სიჩქარისაგან დამოკიდებულებით მოყვანილია ცხრილში 2, ხოლო გრაფიკულად წარმოდგენილია ნახ. 1 და ნახ. 2-ზე.



დაღმართის მაქსიმალური სიგრძეები ხუნდების გადახურების პირობით (თუჯის ხუნდები)

ნახ. 1



დაღმართის მაქსიმალური სიგრძეები ხუნდების გადახურების პირობით (კომპოზიციური ხუნდები)

ნახ. 2

დაღმართის მაქსიმალური სიგრძეები (კმ) ხუნდების გადახურების პირობით

რეკუპერაციული კოეფ. a_p	ხუნდის მასალა	$i = 20 \%$			$i = 25 \%$				$i = 30 \%$				$i = 35 \%$			$i = 40 \%$			
		მატარებლის მოძრაობის სიჩქარე, კმ/სთ																	
		V=60	V=50	V=40	60	50	40	30	40	30	20	40	30	25	20	40	30	25	20
დაღმართის სიგრძეები, კმ																			
$\alpha=0$	თუფი	7,6	10,8	18,7	4,2	5,6	8,7	18,4	5,1	9,2	52,5	3,3	5,6	11,5	17	2,4	3,8	6,4	9,4
$\alpha=0,3$	თუფი	23,4	42,5	-	11,2	16,8	34,0	-	15,6	48,9	-	9,2	20	51,8	-	6,2	11,7	21,3	-
$\alpha=0$	კომპოზ.	3,4	4,6	6,8	-	2,6	3,7	6,2	2,3	3,6	8,9	1,6	2,4	3,8	5,2	1,1	1,7	2,5	3,4
$\alpha=0,3$	კომპოზ.	13,0	23,6	-	-	6,6	10,4	14,8	5,9	11,1	19,9	3,7	6,1	9,8	-	2,7	4,5	8,0	11,8

გასული საუკუნის 90-იან წლებში პროფესორმა ვ. ინოზემცევმა გამოაქვეყნა მონოგრაფია [8], სადაც ხუნდების გახურების ტემპერატურა დამყარებული სიჩქარით მოძრაობის დროს გამოითვლება ფორმულით:

$$T = \frac{q}{a} (1 - e^{-z})^{\circ}C \quad (2.10)$$

სადაც:
$$Z = \frac{2a\sqrt{t}}{\sqrt{\pi\lambda\gamma c}}$$

q - თბური ნაკადის სიმკვრივეა;

a - თბოგადაცემის კოეფიციენტია;

λ - თბოგამტარობის კოეფიციენტია, თვლის ლითონისათვის.

$$\lambda = 10,3 \cdot 10^{-3} \text{ კკალ/მ.წმ.}$$

γ - თვლის ლითონის მოცულობითი მასაა, $\gamma = 7850 \text{ კგ/მ}^3$

c - თვლის ლითონის ხვედრითი თბოტევადობაა,

$$c = 0,11 \text{ კკალ/კგ;}$$

t - დამუხრუჭების ხანგრძლივობაა, წმ.

თბური ნაკადის სიმკვრივე q განისაზღვრება მოძრაობის სიჩქარისა და დამუხრუჭების ძალის მიხედვით

$$q = \frac{a_R(1 - a_p)b_m PVA\varepsilon}{3,6F}$$

სადაც: a_R - თბური ნაკადის გაგრძელების კოეფიციენტი, თუჯის ხუნდებისათვის $a_R=0,7$, ხოლო კომპოზიციური ხუნდებისათვის $a_R=0,95$.

b_m - დამუხრუჭების ხვედრითი ძალა კვ/ტ, თანაბარი მოძრაობისას; $b_m = i - w_x$

i - დაღმართის დაყვანილი ქანობია, %;

w_x - მატარებლის მოძრაობის წინაღობა უქმი სველისას;

P - თვალზე მოსული დაწოლაა, $P=11$ ტ;

v - მოძრაობის სიჩქარეა, კმ/სთ;

A - მუშაობის თბური ექვივალენტი.

$$A = \frac{1}{427} = 2,34 \cdot 10^{-3} \text{ კკალ/კგმ}$$

a_p - რეკუპერაციული დამუხრუჭების წილია;

F - თვლის ზედაპირის ფართობია, რომელზედაც გამოიყოფა სითბო, $F=0.257$ მ².

თბოგადაცემის კოეფიციენტი $\alpha = 0.4 \cdot 10^{-2}(1 + 0.7\sqrt{v})$ კკალ/მ²წმ.

$\sqrt{\Pi\lambda\gamma c}$ გამოსახულება ფოლადის თვლისათვის წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს და ტოლია:

$$\sqrt{\Pi\lambda\gamma c} = \sqrt{3.14 \cdot 10.3 \cdot 10^{-3} \cdot 7850 \cdot 0.11} = 5.2846$$

დაღმართებზე დამყარებული სიჩქარეებით მატარებლის t წამის განმავლობაში მოძრაობისას გავლილი გზა ტოლი იქნება:

$$L = \frac{vt}{3600} \text{ კმ}$$

იმისათვის, რომ დავადგინოთ დაღმართის მაქსიმალური სიგრძე ხუნდების გადახურების პირობით, დამუხრუჭების დრო t შევცვალოთ გამოსახულებით $3600 \frac{L}{v}$ და ფორმულა (2.10) ამოვხსნათ L -ის მიმართ, მივიღებთ

$$L = v \left[\frac{1}{K\alpha} \ln \left(1 - \frac{aT}{q} \right) \right]^2 \text{ კმ} \quad (2.11)$$

სადაც: K მუდმივი სიდიდეა და ტოლია:

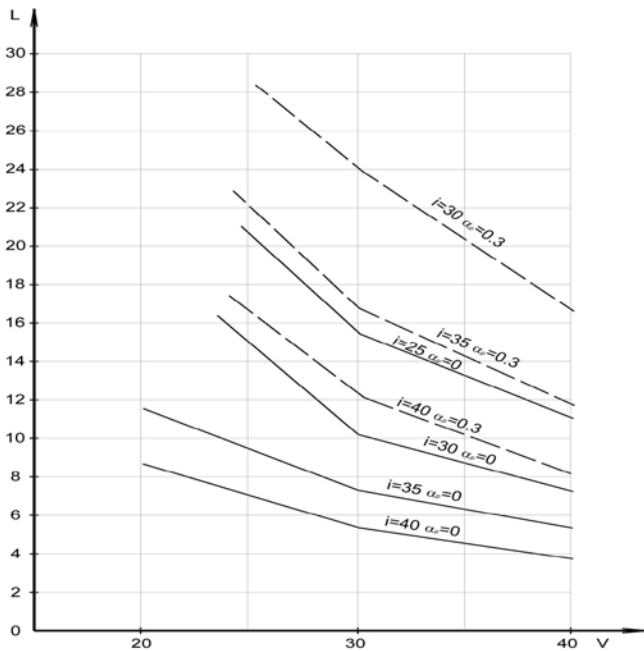
$$K = \frac{2\sqrt{3600}}{\Pi\lambda\gamma c} = 22.707.$$

თუ ფორმულა (2.11)-ში შევიტანოთ T -ს და q -ს მნიშვნელობას (T -ს მაქსიმალური დასაშვები ტემპერატურაა 350°), მივიღებთ

თუჯის ხუნდებისათვის
$$L = v \left[\frac{1}{K\alpha} \ln \left(1 - \frac{11986 \cdot \alpha}{(1-\alpha_p)vi} \right) \right]^2 \quad (2.12)$$

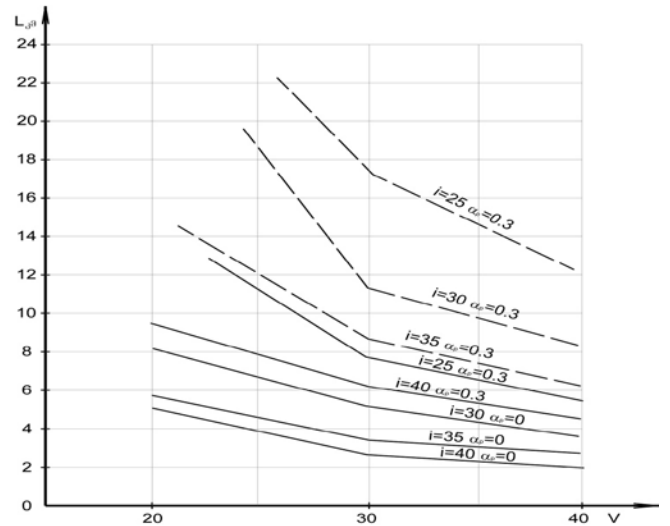
კომპოზიციური ხუნდებისათვის
$$L = v \left[\frac{1}{K\alpha} \ln \left(1 - \frac{9542 \cdot \alpha}{(1-\alpha_p)vi} \right) \right]^2 \quad (2.13)$$

ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში 3 წარმოდგენილია (2.12) და (2.13) ფორმულებით დადგენილი დაღმართის მაქსიმალური სიგრძეები სიჩქარისა და ქანობებისაგან დამოკიდებულებით, ხოლო ამ სიდიდეთა გრაფიკული დამოკიდებულება მოცემულია ნახ. 3 და ნახ. 4-ზე.



დაღმართის მაქსიმალური სიგრძეები ხუნდების გადახურების პირობით (თუჯის ხუნდები)

ნახ. 3



დაღმართის მაქსიმალური სიგრძეები ხუნდების გადახურების პირობით (კომპოზიციური ხუნდები)

ნახ. 4

დაღმართის მაქსიმალური სიგრძეები (კმ) დადგენილი ფორმულა 2.11-ის მიხედვით

რეკუ- პერა- ციული კოეფ- ა _p	ხუნ- დის მასა- ლა	i = 20 ‰			i = 25 ‰			i = 30 ‰			i = 35 ‰			i = 40 ‰						
		მატარებლის მოძრაობის სინქარე, კმ/სთ																		
		V=60	50	40	60	50	40	30	50	40	30	25	40	30	25	20	40	30	25	20
		დაღმართის სიგრძეები, კმ																		
α=0	თუჯი	11,6	14,4	18,8	7,0	8,7	11,2	15,8	5,8	7,4	10,3	15,0	5,3	7,3	9,5	11,8	3,9	5,4	7,2	8,6
α=0,3	თუჯი	26,9	34	45,8	15,8	19,7	26,0	-	-	16,9	24	30	11,7	16,8	20,7	-	8,2	12,1	15,0	-
α=0	კომპოზ.	5,8	7,5	9,3	3,6	4,4	5,7	7,8	3,0	3,9	5,2	8,3	2,9	3,7	4,6	5,9	2,1	2,8	4,1	5,3
α=0,3	კომპოზ.	9,6	16,2	21,3	7,9	9,7	12,1	17,8	6,5	8,3	11,7	19,1	5,9	8,2	10,1	13,2	4,4	6,1	7,8	9,7

როგორც 2 და 3 ცხრილების შედარებიდან ჩანს დაღმართის მაქსიმალური სიგრძეები, რომლებიც დადგენილია (2.1) და (2.11) ფორმულებით, ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან ≈10–15%-ის ფარგლებში (განსაკუთრებით ეს სხვაობა შეიმჩნევა მაღალი სინქარეების დროს).

ჩვენ მიზნად დავისახეთ დაგვედგინა ამ ორი ფორმულიდან რომელი იძლევა დაღმართის მაქსიმალური სიგრძის რეალურ სიდიდეს, რისთვისაც საჭირო იყო თეორიული გაანგარიშების შედეგების შედარება რეალურ-ექსპლუატაციურ პირობებში ჩატარებული ცდების მონაცემებთან.

ექსპერიმენტების დამუშავების და მისი შედეგების შედარება თეორიულ მონაცემებთან წარმოდგენილია 2.2 პუნქტში.

2.2 თეორიული გაანგარიშების შედეგების შედარება ექსპერიმენტების მონაცემებთან

ხუნდების გახურების ტემპერატურის დასადგენად ექსპერიმენტები საექსპლუატაციო პირობებში ჩატარდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის თანამშრომლების მიერ საქართველოს რკინიგზის სავაგონო მეურნეობის სამსახურის თანამშრომლებთან ერთად.

ცდები ტარდებოდა სურამის უღელტეხილის ხაშური-ზესტაფონის

მონაკვეთზე. ექსპერიმენტები ჩატარებული იქნა მუხრუჭების გამოსაცდელ ვაგონ-ლაბორატორიის დახმარებით. ვაგონ-ლაბორატორია ჩაბმული იყო სატვირთო მატარებლის ბოლო ვაგონზე.

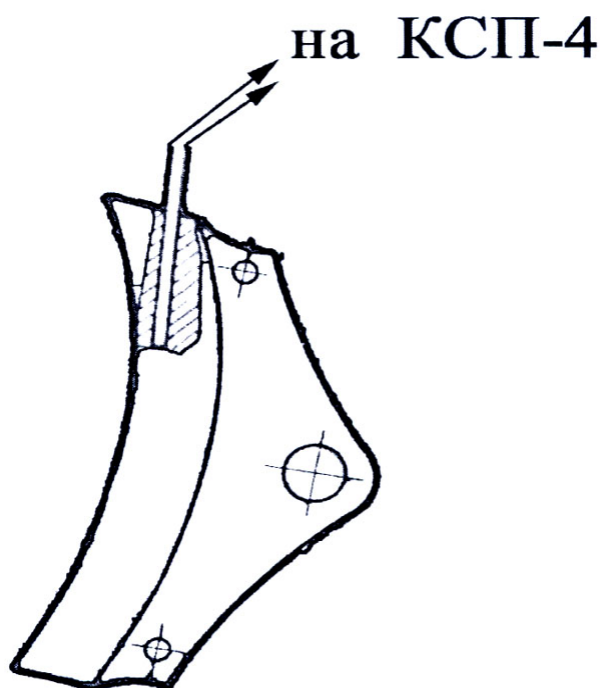
ხუნდების გახურების ტემპერატურის გასაგებად ხუნდში 10 მმ სიღრმეზე მაგრდებოდა თერმოწყვილი (ნახ. 5). გახურების ტემპერატურის ჩაწერა წარმოებდა პოტენციომეტრის დახმარებით [9].

სულ ჩატარებული იქნა 4 ცდა. ცდები ტარდებოდა როგორც მექანიკური, ასევე რეკუპერაციული დამუხრუჭების პირობებში. ქვემოთ წარმოდგენილია 2 ცდის შედეგები.

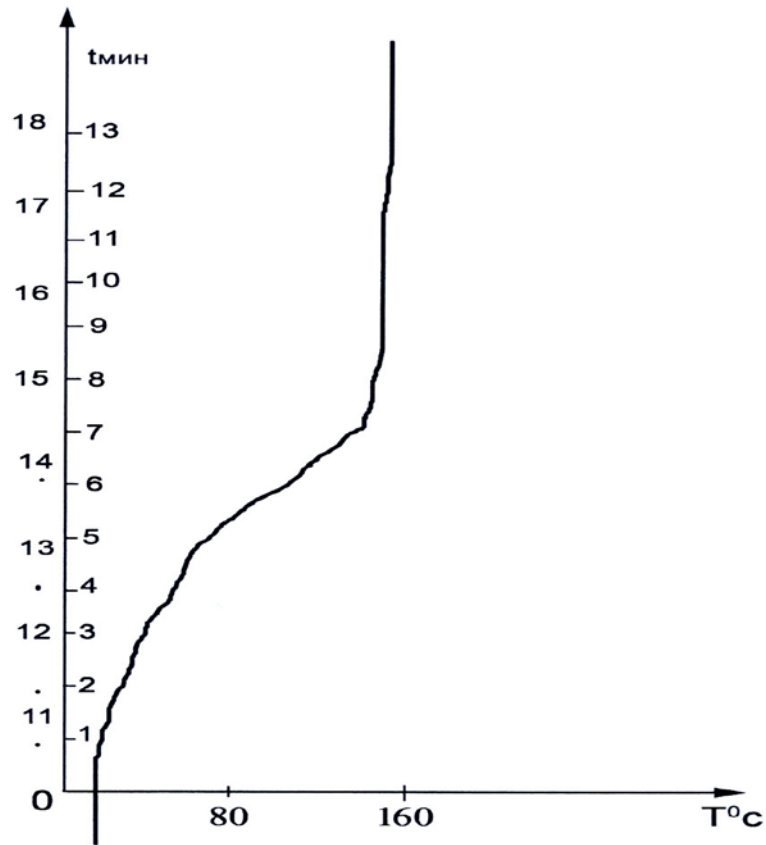
I ცდა: თუჯის ხუნდები, მხოლოდ მექანიკური დამუხრუჭებით, საცდელი მონაკვეთი წიფის გვირაბიდან სადგურ წიფამდე. დაღმართის მანძილი შეადგენს 5.2 კმ-ს. დაყვანილი ქანობი – 20 %. მოძრაობის სიჩქარე 20 კმ/სთ. დამუხრუჭების ხანგრძლივობა $t=15$ წთ. პოტენციომეტრის დახმარებით ხუნდების გახურების ტემპერატურის ჩანაწერი გრაფიკულად წარმოდგენილია ნახ. 6-ზე.

მოცემული გრაფიკის მიხედვით ხუნდების გახურების საწყისი ტემპერატურაა – 16° , ხოლო საბოლოო ტემპერატურა – 152° .

$$\text{ტემპერატურის ნაზრდი შეადგენს } T = T_{\text{საწ}} - T_{\text{საბ}} = 136^{\circ}.$$



ნახ. 5 ხუნდში თერმოწყვილის დამაგრების სქემა



ნახ. 6 ხუნდის ტემპერატურის ცვალებადობის გრაფიკი

ხუნდის გახურების ტემპერატურა გამოვთვალოთ (2.10) ფორმულის დახმარებით

$$T = \frac{q}{\alpha} (1 - e^{-z})^{\circ}C$$

ზემოთმოყვანილი მონაცემების საფუძველზე $\alpha = 0.01654$

$$q = 13.24 \quad t = 900 \text{ წმ}$$

$$\sqrt{\Pi\lambda\gamma c} = 5.28 \quad Z = \frac{2\alpha\sqrt{t}}{\sqrt{\Pi\lambda\gamma c}} = 0.18$$

თუ ჩავსვამთ ამ მონაცემებს ზემოთმოყვანილ (2.10) ფორმულაში, მივიღებთ

$$T = \frac{13.24}{0.01654} (1 - e^{-0.18}) = 135^{\circ}C$$

ე.ი. ექსპერიმენტალური გზით დადგენილი ტემპერატურა არის 136°C , თეორიული ანგარიშით კი მივიღეთ 135°C . ამ შემთხვევაში ჩვენი გაანგარიშების სიზუსტე ეჭვს არ იწვევს.

II ცდა. კომპოზიციური ხუნდები დამუხრუჭება-პნევმატური რეკუპერაციის გამოყენებით.

ექსპერიმენტის უბანი – სადგურ წიფიდან - სადგურ მოლითამდე დაღმართის მთლიანი სიგრძე შეადგენს 12.3 კმ-ს, დაყვანილი ქანობი – 21.4 %. მოძრაობის სიჩქარე – 30 კმ/სთ, მატარებლის წონა $P+Q=2897$, ლოკომოტივის ტიპი – БЛ 11.

რეკუპერაციულ დამუხრუჭებას აწარმოებდა ერთი ლოკომოტივი. ხუნდის გახურების ტემპერატურა გაიზომა სადგურ მოლითში უშუალო კონტაქტით და იგი შეადგენდა 216°C . ხუნდის გახურების საწყისი ტემპერატურა იყო 18°C . ტემპერატურის ნამატი შეადგენს:

$$T = 216^{\circ}\text{C} - 18^{\circ}\text{C} = 198^{\circ}\text{C}.$$

წვეის გაანგარიშების წესების თანახმად ერთი БЛ 11 ელმავლის სამუხრუჭო ძალა რეკუპერაციული დამუხრუჭების შემთხვევაში ტოლია $B_p = 27000$ კგ-ს, ამიტომ რეკუპერაციის კოეფიციენტი ტოლი იქნება

$$\alpha_p = \frac{B_p}{(2P + Q)(i - W_x)} = \frac{27000}{2897 (21.4 - 1.5)} = 0.47$$

ამასთანავე ზემოთმოყვანილი მონაცემებიდან გამომდინარე:

$$\alpha = 0.01936 \quad q = 16.3 \quad t = 1500 \text{ წმ} \quad t = 0.29$$

გახურების ტემპერატურა თეორიული გაანგარიშების გზით ტოლი იქნება:

$$T = \frac{16.3}{0.01936} (1 - e^{-0.29}) = 197^{\circ}\text{C}$$

ე.ი. ამ შემთხვევაშიც თეორიული და ექსპერიმენტალური შედეგები თანხვედრაშია, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ ჩვენს მიერ ჩატარებული თეორიული გაანგარიშებები საიმედოა და ეჭვს არ იწვევს.

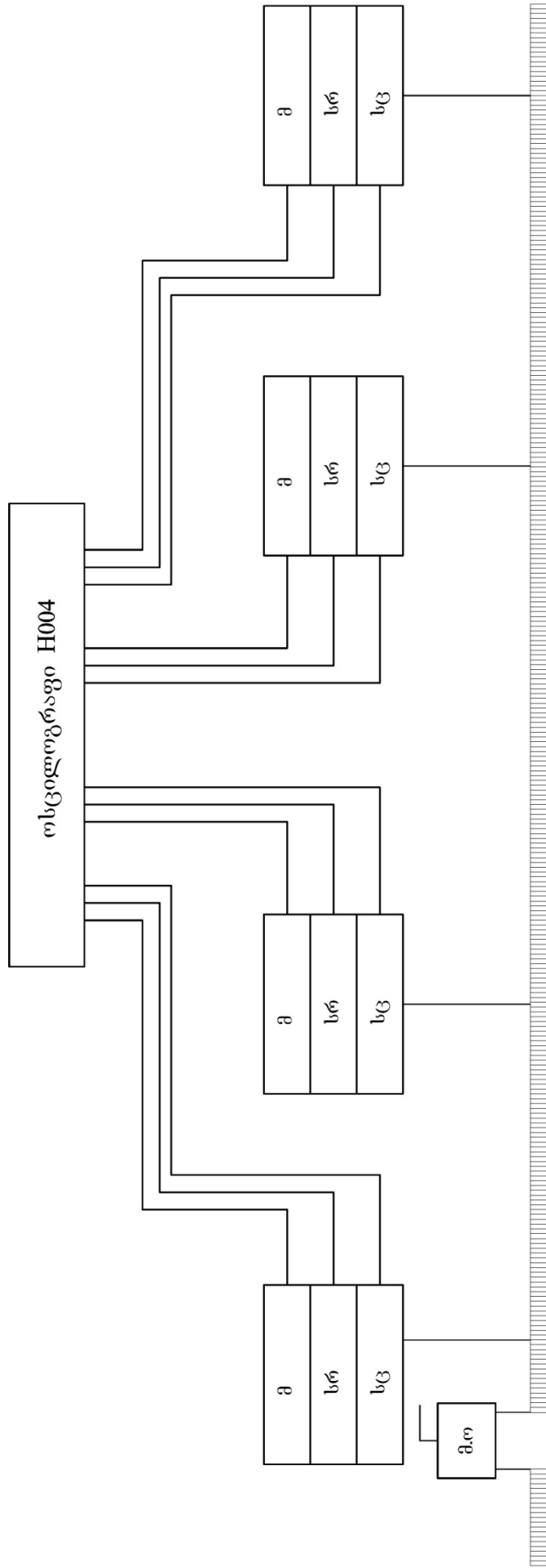
2.3 ციცაბო დაღმართებზე უწყვეტი დამუხრუჭების დროის დადგენა

სატვირთო მოძრაობის შემადგენლობა აღჭურვილია ჰაერგამანაწილებლით №270-005-1, რომელიც უზრუნველყოფს ავტომუხრუჭების უშრეტობას. ციცაბო დაღმართებზე ავტომუხრუჭები გადართული უნდა იქნეს მუშაობის სამთო რეჟიმებზე. ავტომუხრუჭების უშრეტობა განპირობებულია დამუხრუჭებისას სამუშაო კამერების საჰაერო მაგისტრალიდან იზოლირებით, ხოლო სამარაგო რეზერვუარები მუდმივად ივსება შეკუმშული ჰაერით მაგისტრალიდან. მიუხედავად ზემოთ აღნიშნულისა, ციცაბო ქანობებზე ხანგრძლივად დამუხრუჭებისას წნევები სამუხრუჭო ცილინდრებში (სმ), სამარაგო რეზერვუარებში (სრ), მაგისტრალიდან (მ) შეკუმშული ჰაერის მომატებული გადინების გამო შეიძლება აღმოჩნდეს ნორმაზე დაბლა. ამის გამო მაგისტრალის სიმკვრივის ნორმა ექსპლუატაციის პირობებში შესაძლებელია დაცული არ იყოს (ნორმად მიღებულია 1 წუთის მანძილზე წნევის დაცემა 0.2 ატმოსფეროთი) [14].

იმისათვის, რომ უზრუნველყოფილი იქნეს მატარებლების მოძრაობის უსაფრთხოება, საქართველოს საუღელტეხილო და სამთო რკინიგზებზე მიღებულია სატვირთო მატარებლების აუცილებელი გაჩერება გამყოფ პუნქტებზე მაგისტრალის ჰაერით დასამუხრუჭავად (დგომის ხანგრძლივობა შეადგენს 4–6 წუთს) [15].

ჩვენს ამოცანას შეადგენდა დაგვედგინა ციცაბო ქანობიან დაღმართებზე სატვირთო მატარებლების უწყვეტი დამუხრუჭების ხანგრძლივობა.

ეს ამოცანა მრავალი ურთიერთდამოკიდებული ფაქტორების გამო თეორიულ ამოხსნას არ ექვემდებარება. ამიტომ მეცნიერები შეეცადნენ ექსპერიმენტალური გზით გადაეწყვიტათ ეს პრობლემა [10]. ექსპერიმენტი ჩატარებული იქნა ყოფილი საბჭოთა კავშირის რკინიგზის საკავშირო საკვლევი ინტიტუტის ავტოსამუხრუჭო ლაბორატორიაში. ქვემოთ მოყვანილია ექსპერიმენტების ჩატარების მიმდევრობა და აღწერის სქემატური გეგმა (ნახ. 7).



ნახ. 7 ჯგუფური სტენდის სქემა

ჯგუფური სტენდი წარმოადგენდა სატვირთო მატარებლის პნევმატური ავტომუხრუჭების მოწყობილობას (მატარებლის წონა 5000 ტ).

ჯგუფური სტენდის ძირითადი მახასიათებლები:

- ოთხღერძიანი ვაგონების რიცხვი – 60;
- სამუხრუჭე ღერძების რიცხვი – 240;
- სამუხრუჭე მაგისტრალის სიგრძე (ორმაგი წევით) – 840 მ;
- ჰაერის წნევა მთავარ რეზერვუარში 7-8 ატმ.;
- წნევის სიდიდე მაგისტრალში – 6 ატმ.;
- ჭოკის გამოსავლის სიგრძე – 125 მმ;
- სათადარიგო რეზერვუარის მოცულობა – 78 ლ;
- სამსრუჭე ცილინდრის მოცულობა – 14.5 ლ;
- მთავარი რეზერვუარის მოცულობა – 7 მ³;
- ჰაერგამანაწილებლის ტიპი - №270-005 (სამთო რეჟიმზე);
- მემანქანის ონკანი - №394;
- ჰაერის წნევის ცვალებადობა პირველსა და ბოლო ვაგონებს შორის 6/5.7 ატმ;

მაგისტრალის ჰერმეტიულობა იზომებოდა შემდეგნაირად:

წნევა ეცემოდა 5 ატმ-მდე და იზომებოდა დრო, სანამ წნევა არ დაეცემოდა 4 ატმ-მდე. ამ დრომ შეადგინა 55 წამი, რაც ნორმაზე მეტია.

ცდების მიმდინარეობისას წარმოებდა წნევების ჩაწერა მიმდებისა (ЭДД-10) და ოსცილოგრაფის (H-004) საშუალებით. წნევები იზომებოდა სამუხრუჭო ცილინდრებში (სც), მაგისტრალში (მ) და სათადარიგო რეზერვუარში (სრ) მაგისტრალის სიგრძის ოთხ კვეთში: №1, №20, №40 და №60 ვაგონებზე.

პნევმატური ავტომუხრუჭების უშრეტობის ხარისხის დასადგენად მიღებული იქნა დამუხრუჭების შემდეგი ციკლი: წარმოებდა სრული სამსახურეობრივი დამუხრუჭება მაგისტრალში წნევის შემცირებით 4 ატმოსფერომდე და 30 წამის შემდეგ ჰაერის გამოშვებიდან მუხრუჭების აშვება მაგისტრალში ჰაერის წნევის 6 ატმოსფერომდე მომატებით. განსაზღვრული დროის შემდეგ ისევ წარმოებდა სრული სამსახურეობრივი დამუხრუჭება. ციკლები ერთმანეთისაგან

განსხვავდებოდა მუხრუჭების აშეებიდან შემდგომ სრულ დამუხრუჭებამდე დროის ინტერვალით. ე.ი. იმ დროით, რა დროშიც მიმდინარეობდა მუხრუჭების აშეება და დამუხრუჭვა შეკუმშული ჰაერით სათადარიგო რეზერვუარებიდან.

სულ ჩატარებული იქნა 3 ციკლი. I ციკლში მუხრუჭების დამუხრუჭვის პერიოდი შეადგენდა 2.5 წთ, II-ში 2.0, III-ში 1.5–1.0 წთ. ყოველი ციკლის ბოლოს წარმოებდა საექსტერნო დამუხრუჭება და იზომებოდა წნევები მაგისტრალში და სათადარიგო რეზერვუარებში №59 და №60 ვაგონებზე მანომეტრის საშუალებით (იხ. ნახ. 7). ცხრილში 4 წარმოდგენილია ჰაერის წნევების მნიშვნელობები მაგისტრალში, სამუხრუჭო ცილინდრებში და სათადარიგო რეზერვუარებში ბოლო ორი ვაგონისათვის. საექსტერნო დამუხრუჭებამდე ჩატარდა სულ 12 ციკლი (42 წუთის ხანგრძლივობით). დამუხრუჭების შემდეგ წნევამ სამუხრუჭე ცილინდრებში შეადგინა 3.7 და 4.2 ატმ.

ცხრილი 4

სამუხრუჭო სისტემაში წნევების ცვალებადობა
(ციკლი №1)

№№	წნევები დამუხრუჭების წინ კგ/სმ ²					წნევები მუხრუჭების აშეუბამდე კგ/სმ ²				
	მ	სრ		სც		მ	სრ		სც	
	№60	№59	№60	№59	№60	№60	№59	№60	№59	№60
0.	5.7	6.0	5.5	-	-	-	-	-	-	-
1.	5.3	-	4.6	-	1.6	3.7	4.9	4.5	4.1	4.0
2.	5.2	-	4.6	2.0	1.2	3.7	4.7	4.2	4.0	4.0
3.	5.5	5.7	4.8	-	1.5	3.7	4.7	4.1	4.0	4.0
4.	5.5	-	4.8	3.0	2.0	3.75	4.15	4.1	4.1	4.0
5.	5.5	-	4.7	-	1.7	3.75	4.7	4.1	4.1	4.0
6.	5.5	-	4.7	2.2	1.7	3.7	4.7	4.1	4.1	4.0
7.	5.5	-	4.7	-	1.7	3.7	-	4.05	4.1	4.0
8.	5.2	-	4.8	-	1.6	3.7	4.4	4.05	4.1	4.0
9.	5.3	4.7	4.4	2.8	1.6	3.75	-	4.1	4.0	4.0
10.	5.3	-	4.7	-	1.6	3.7	-	4.0	4.0	4.0
11.	5.3	-	4.6	-	1.7	3.75	-	4.0	4.0	4.0
12.	5.2	-	4.5	-	1.7	3.75	4.5	4.0	4.1	3.95
13.	საექსტერნო დამუხრუჭება					0	4.4	4.0	4.1	3.9

II ციკლის დროს ($\tau_{აჟ}=2.0$) სულ ჩატარდა 8 ცდა 24 წუთის განმავლობაში. ამ ციკლის მონაცემები ანალოგიური იყო I ციკლისა. მე-3 ციკლისას პერიოდით ($\tau_{აჟ}=1.5$ წთ) ჩატარდა 5 ცდა, შემდეგ კი შეიცვალა პერიოდის სიდიდე $\tau_{აჟ}=1.0$. ამ მნიშვნელობისათვის მეორე სრული სამსახურეობრივი დამუხრუჭების შემდეგ მივიღეთ „დამყარებული“ რეჟიმი, რომლის დროსაც წნევების სიდიდემ ბოლო ვაგონის სამუხრუჭო ცილინდრებში და სამარაგო რეზერვუარებში შეადგინა შესაბამისად 3.9 და 4.5 ატმოსფერო.

დამუხრუჭების შემდგომმა განმეორებამ გავლენა ვერ მოახდინა წნევების ცვალებადობაზე. ამიტომ 28 წუთის შემდეგ შესრულდა

სრული დამუხრუჭება. საექსტერნო დამუხრუჭების შემდეგ წნევების სიდიდეები შეადგენდა 3.7 და 4.2 ატმოსფეროს. ეორე ციკლის ჩატარების შედეგად წნევების მნიშვნელობები წარმოდგენილია ცხრილში 5.

ცხრილი 5

სამუხრუჭო სისტემაში წნევების ცვალებადობა
(ციკლი №2)

№№	წნევები დამუხრუჭების წინ კგ/სმ ²					წნევები მუხრუჭების აშვებამდე კგ/სმ ²				
	მ	სრ		სც		მ	სრ		სც	
	№60	№59	№60	№59	№60	№60	№59	№60	№59	№60
0.	5.7	6.0	5.5	-	-	-	-	-	-	-
1.	5.15	-	4.75	2.5	2.1	3.8	-	4.45	-	4.1
2.	5.05	-	4.65	3.0	2.4	3.75	-	4.25	-	4.05
3.	5.0	-	4.6	3.0	2.4	3.75	-	4.1	-	4.0
4.	5.0	4.7	4.55	3.1	2.4	3.75	-	4.1	-	4.0
5.	4.85	-	4.35	-	3.1	3.75	-	4.05	-	4.0
6.	4.8	4.45	4.35	3.9	3.1	3.75	4.5	4.0	4.0	4.0
7.	4.8	4.55	4.3	3.9	3.1	3.75	-	4.0	-	3.95
8.	4.8	4.5	4.3	3.86	3.1	3.8	-	4.0	-	3.95
9.	4.8	4.6	4.3	3.75	3.0	3.7	-	4.0	-	3.95
10.	4.75	4.6	4.25	3.9	3.1	3.75	-	4.05	-	3.95
11.	4.8	4.6	4.3	3.8	2.9	3.75	-	3.95	-	3.9
12.	4.75	4.55	4.25	3.8	2.9	3.75	-	3.95	-	3.9
13.	საექსტერნო დამუხრუჭება					0	4.3	3.95	4.0	3.9

როგორც ცდების შედეგებიდან ჩანს პნევმატური ავტომუხრუჭები სამთო რეჟიმზე მუშაობისას ხასიათდება მაღალი ხარისხის უშრეტობით 30 წუთის განუწყვეტელი დამუხრუჭებისას. ვინაიდან ჩატარებული ცდების ყველა ციკლში მიიღწეოდა „დამყარებული“

რეჟიმი, რის დროსაც წნევები სამუხრუჭო ცილინდრებში და სამარაგო რეზერვუარებში არ იცვლებოდა, ეს დრო შეიძლება ჩაითვალოს ზემოთმოყვანილი ცდების მინიმალურ დროდ. უწყვეტი დამუხრუჭების მაქსიმალური დროის დასადგენად აუცილებელია გავითვალისწინოთ რეალურ პირობებში სამთო რკინიგზებზე ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები. ამ მიზნით საქართველოს რკინიგზის სურამის უღელტეხილზე ჩატარებული იქნა რამოდენიმე ექსპერიმენტი რკინიგზის ტრანსპორტის სპეციალისტებისა და მეცნიერების მიერ [9].

ჩვენ გავვცანით პნევმატური ავტომუხრუჭების გამოცდის შედეგებს, რომელიც ჩატარებული იქნა სურამის უღელტეხილზე გასული საუკუნის 70-იან წლებში. ცდები ჩატარებული იქნა ნავთობშიდ სატვირთო მატარებელზე მასით 3340 ტ, სამუხრუჭო ღერძების რიცხვი – 184. მატარებელი ეშვებოდა სურამის უღელტეხილზე 2 ელმავლით რეკუპერაციის გარეშე. წნევები სამარაგო რეზერვუარში და სამუხრუჭო ცილინდრებში იზომებოდა ბოლო ვაგონზე ყოველ ნახევარ წუთში მანომეტრის საშუალებით. გაზომილი წნევების მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილში 6. ამ ცხრილში ნაჩვენებია გამყოფი პუნქტების დასახელებაც, რომელზეც მიმდინარეობდა მაგისტრალის დამუხრუჭვა.

როგორც ცხრილიდან ჩანს, წნევები სამუხრუჭო ცილინდრებში და სამარაგო რეზერვუარებში ექსპლუატაციის პირობებში ნაკლებია, ვიდრე ლაბორატორიულ პირობებში ჩატარებული ცდების დროს. ეს გარემოება აიხსნება იმით, რომ ექსპლუატაციურ პირობებში ჰაერის გადინება სამუხრუჭო სისტემიდან უფრო მეტია.

ცხრილი 6

სამუხრუჭო სისტემაში წნევების ცვალებადობა
(სურამის უღელტეხილზე ჩატარებული ცდა)

სრ	სც	სრ	სც	სრ	სც
საშური		წიფა		მოლითი	
6.0	0	5.9	0	3.4	3.3
ღიხი		6.6	1.4	3.4	3.0
6.2	0	5.4	1.4	5.85	0
5.8	1.5	4.0	2.4	6.0	0
5.7	1.0	4.5	2.6	5.2	1.5
5.7	0.8	4.5	2.0	5.2	1.4
5.2	3.3	5.0	1.4	5.2	1.3
5.0	3.2	5.2	1.0	5.3	1.2
5.0	1.8	4.4	3.5	5.3	1.2
5.2	1.2	4.4	3.0	5.5	1.0
5.8	0.8	4.6	2.5	5.6	0.6
5.9	1.2	4.8	2.2	5.4	0.5
5.4	1.2	4.8	2.0	5.0	1.5
5.2	2.0	4.4	3.4	5.0	1.8
5.0	3.4	4.4	3.0	5.0	1.8
4.9	2.0	4.3	3.3	5.0	1.6
5.6	1.2	4.3	3.3	4.8	1.2
5.7	0.9	4.0	3.4	4.8	2.0
5.4	1.0	3.8	3.4	5.0	2.0
5.6	1.0	3.6	3.3	5.1	1.5
4.8	3.0			5.3	1.1
4.5	3.2			5.3	0.8
4.4	3.2			5.3	1.2
4.3	3.0			5.3	1.0
4.4	2.7			4.6	0.9
4.8	3.0				3.5
4.6	2.7			მარჯლისი	

ცდები ტარდებოდა როგორც რეკუპერაციით, ისე მის გარეშე განუწყვეტელი დამუხრუჭების დრომ შეადგინა 35 წთ. ამ დროის შემდეგ წნევების სიდიდემ სამუხრუჭო ცილინდრებში და სამარაგო რეზერვუარებში შეადგინა მინიმალური დასაშვები ნორმების ფარგლებში. დადმართის ბოლოს შეიმჩნეოდა გადახურებული ხუნდების თვლის ბანდაჟზე მიკვრა.

ჩატარებული ექსპერიმენტებისა და ცდების მონაცემების ანალიზის საფუძველზე პროფ. გ. კვანტალიანმა შემოგეთავაზა უწყვეტი დამუხრუჭების დრო განისაზღვროს 35 წუთით (განურჩევლად ქანობის სიდიდისა).

სურამის უღელტეხილზე გრძივი ქანობის მაქსიმალური მნიშვნელობა შეადგენს 29 %. უფრო რთული მონაკვეთია მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის უბანი, სადაც პროფილის ქანობი ტოლია 35 %. შესაბამისად სატვირთო მატარებლის მოძრაობის პირობები ამ ხაზზე გაცილებით რთული იქნება. ამიტომ ჩვენ ვიძლევიტ რეკომენდაციას:

1. თუ პროფილის ქანობი აღემატება 30 %-ს, მაშინ უწყვეტი დამუხრუჭების მაქსიმალური დრო განისაზღვროს 30 წუთით;
2. თუ პროფილის ქანობი ნაკლებია 30 %-ზე, მაშინ უწყვეტი დამუხრუჭების დრო არ უნდა აღემატებოდეს 35 წუთს.

ვიციტ რა დადმართებზე უწყვეტი დამუხრუჭების ხანგრძლივობა, ძნელი არ არის დადმართის მაქსიმალური სიგრძის დადგენა

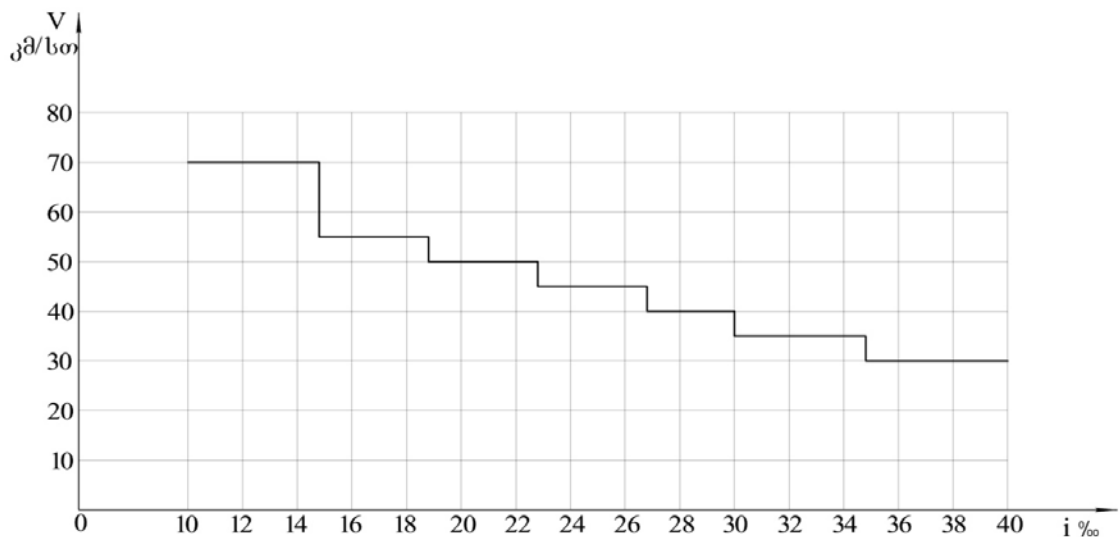
$$l = \frac{V_{საშ} t_{დამ}}{60} \text{ კმ}$$

$V_{საშ}$ დადმართზე მატარებლის მოძრაობის საშუალო სიჩქარეა.

$$V_{საშ} = V_{დას} - \Delta V$$

$V_{დას}$ დადმართებზე მაქსიმალური დასაშვები სიჩქარეა.

დამოკიდებულია დადმართის ქანობზე. დასაშვები მაქსიმალური სიჩქარის მნიშვნელობები წარმოდგენილია ნახ. 8-ზე. [16]



ნახ. 8. დაღმართებზე მაქსიმალური დასაშვები სიჩქარეთა გრაფიკი

ΔV სიდიდე დამოკიდებულია დაღმართის ქანობის სიდიდეზე და მერყეობს 4–7 კმ/სთ-ის ფარგლებში. ჩვენ ავიღოთ $\Delta V=5$ კმ/სთ.

2.4 დაღმართის მაქსიმალური სიგრძის დადგენა ხუნდების ცვეთის პირობით

ექსპლუატაციის პირობებში, განსაკუთრებით დაყოვნებულ დაღმართებზე დიდ მნიშვნელობას ანიჭებენ ხუნდების ცვეთამდეგობას.

სატვირთო მატარებლების ციცაბო დაღმართებზე დამუხრუჭებისას ფრიქციული მასალების გადახურების ტემპერატურის ზრდასთან ერთად იზრდება მათი ცვეთაც.

კომპოზიციური მასალისაგან დამზადებული ხუნდები გამოირჩევა მაღალი ცვეთამდეგობით და ამიტომ ასეთი ხუნდები უზრუნველყოფენ შედარებით გრძელ დაღმართებზე მუხრუჭების ნორმალურ მუშაობას, ხოლო თუჯის ხუნდების შემთხვევაში, რომლებიც არ არიან ცვეთამდეგი, დაღმართის წინ მოწმდება მათი სისქის საკმარისობა. ნორმების თანახმად თუჯის ხუნდების მინიმალური სისქე არ უნდა იყოს ნაკლები 12 მმ-სა.

ცვეთის სიდიდე დაღმართებზე მატარებლის დამყარებული სიჩქარით მოძრაობის შემთხვევაში გამოითვლება პროფ. ინოზემცვევის ფორმულით [8]:

$$\Delta h = \frac{(1 - \alpha_p) V t \sqrt{a A b P}}{F_k (\Delta \tau_{\text{მავ}} - \Delta \tau_{\text{საშ}}) \sqrt{\pi \lambda \gamma c}} - 2 \frac{C_p}{X}$$

- სადაც: V – მოძრაობის საშუალო სიჩქარეა;
 t – დამუხრუჭების ხანგრძლივობა;
 α – ტემპერატურის გამტარუნარიანობის კოეფიციენტი;
 A – მუშაობის სამუხრუჭო ექვივალენტი;
 b – ხვედრითი სამუხრუჭე ძალა;
 P – თვალზე მოსული დაწოლა;
 F – ხუნდის გეოთერმული ფართობი;
 $\Delta \tau_{\text{მავ}}$ – ტემპერატურაა, რომლის დროსაც წარმოებს თბურ საკონტაქტო წერტილებში ცვეთა;
 $\tau_{\text{საშ}}$ – საშუალო ტემპერატურა ხახუნის ზედაპირზე;
 λ – თბოგამტარობის კოეფიციენტი;
 γ – თვლის ლითონის მოცულობითი მასაა;
 C – ხვედრითი თბოტევადობა;
 X – ფაქტიური საკონტაქტო ფართის კოეფიციენტი;
 α_p – რეკუპერაციის კოეფიციენტი.

თუჯის ხუნდების თბოფიზიკური მახასიათებლების გათვალისწინებით ზემოთმოყვანილი ფორმულით შესაძლებელია ხუნდის მინიმალური სისქის დადგენა შემდეგი მარტივი გამოსახულების საშუალებით:

$$\Delta H = 10 + 0.03 \Sigma l i \text{ მმ}$$

- სადაც: l – დაღმართის სიგრძე, მ;
 i – დაღმართის ქანობი.

ამ გამოსახულებიდან შესაძლებელია გამოვითვალოთ დაღმართის მაქსიმალური სიგრძე ხუნდის სისქესთან დამოკიდებულებით:

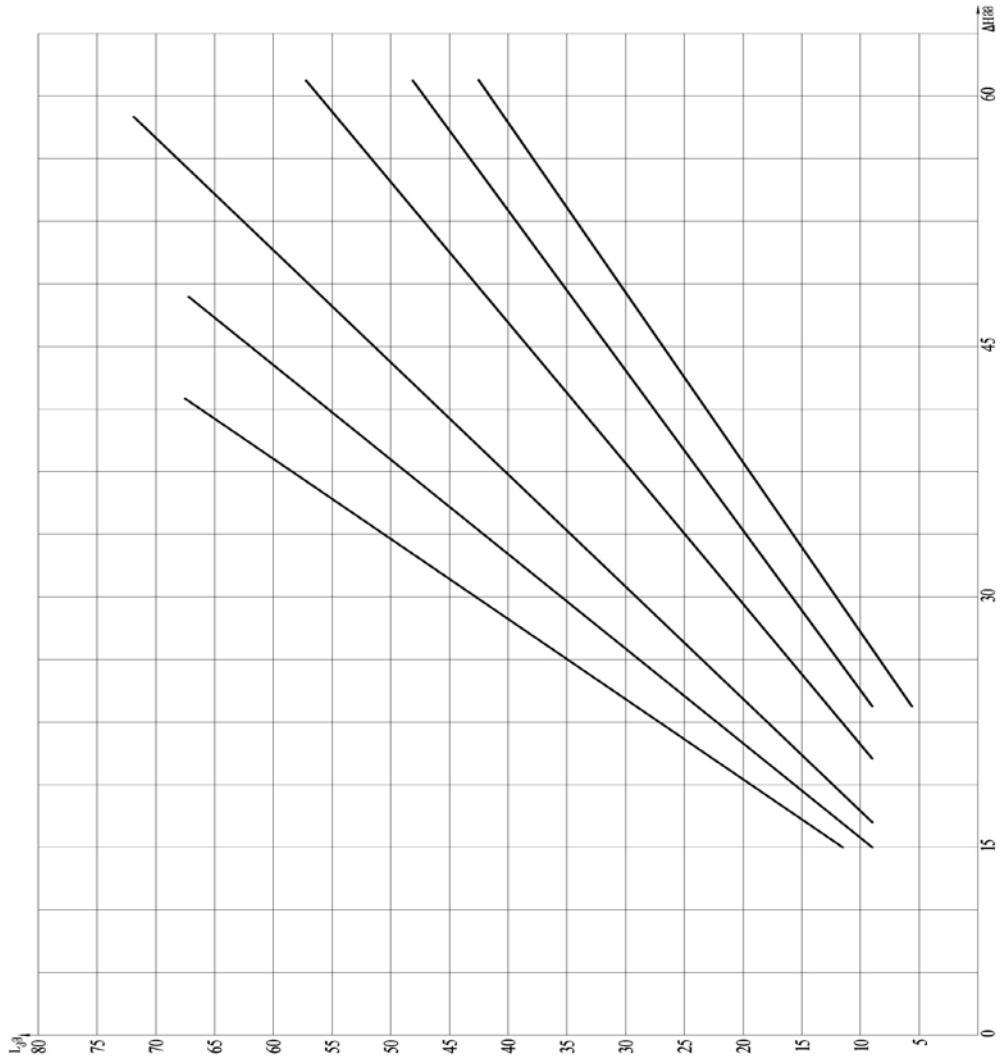
$$l = \frac{33.3 (\Delta H - 10)}{i} \text{ კმ}$$

დაღმართის მაქსიმალური სიდიდის მნიშვნელობა ხუნდის სისქისგან დამოკიდებულებით წარმოდგენილია ცხრილში 7, ხოლო გრაფიკულად ნახ. 9-ზე.

ცხრილი 7

დაღმართის მაქსიმალური სიგრძე ხუნდის სისქესთან დამოკიდებულებით

ხუნდის სისქე, ΔH მმ	დაღმართის კანობი, I %	დაღმართის სიგრძე, L კმ	ხუნდის სისქე, ΔH მმ	დაღმართის კანობი, I %	დაღმართის სიგრძე, L კმ
40	15	66.6	60	30	55.5
30		44.4	40		33.3
20		22.2	30		22.2
15		11.1	20		11.1
40	20	50	60	35	47.6
30		33.3	40		28.7
20		16.3	30		19
15		8.3	20		9.5
60	25	66.6	60	40	41.7
40		40	40		25
30		26.7	30		16.7
20		13.3	20		8.3



ნახაზი 9. დაღმართის მაქსიმალური სიგრძის დამოკიდებულება ხუნდების სისქისაგან

2.5 შემზღუდავი ქანობების ზღვრული სიგრძის განსაზღვრა ელმავლების წვეის ძრავების გადამეტხურების პირობების მიხედვით

ელმავლების წვეის ძრავების გადამეტხურება ჯერ კიდევ ხშირ შემთხვევაში ზღუდავენ ელმავლების წვეის ხარისხს. მოსაზრება იმის შესახებ, რომ წვეის ძრავების სიმძლავრის გაზრდისა და უფრო მედეგი კაუბადორგანული იზოლაციის შემოღების შედეგად წვეის ძრავების გადახურება აღარ მოახდენს არსებით ზეგავლენას ელმავლების წვეის მახასიათებლებზე, პრაქტიკულ მუშაობაში არ დადასტურდა. საქმე

იმაშია, რომ ძრავების სიმძლავრის გაზრდას თან მოსდევს დატვირთვის გადიდება. ე.ი. იზრდება მატარებლის მასა, მოძრაობის საანგარიშო სიჩქარე და დენური დატვირთვა. მართალია, თანამედროვე ელმავლები აღჭურვილია უფრო სრულყოფილი წვეის ძრავებით, რომლებიც გადამეტხურებას უფრო ხანგრძლივად უძლებენ, მაგრამ შეზღუდვა მაინც დგება, რადგან უფრო მეტი სიგრძის აღმართების დაძლევის შემდეგ, გადამეტხურება მაინც აღწევს თავის ზღვარს.

აღნიშნულის თვალსაჩინო მაგალითს წარმოადგენს სურამის უღელტეხილის ექსპლუატაცია. აქ დიდხანს მუშაობდნენ სუსტი სიმძლავრის ელმავლები, რომელთა წვეის ძრავები სწრაფად ხურდებოდნენ ნორმამდე. 1960 წლამდე შემადგენლობაში ერთი ელმავალი მთლიანად მუშაობდა ძრავების გადამეტხურების შესამცირებლად. შემდეგ აქ დანერგილი იქნა უფრო მძლავრი БЛ 8 ტიპის ელმავლები. გაიზარდა შესაბამისად სავაგონო შემადგენლობის მასაც, გაუმჯობესდა წვეის ძრავების გადახურების პირობებიც, მაგრამ მაინც საჭირო შეიქმნა დამატებითი ელმავლის გამოყენება ძრავების გადახურების პირობების გასაუმჯობესებლად. ამჟამად სურამის უღელტეხილზე მუშაობენ БЛ 10 და БЛ 11 ტიპის ელმავლები, რომელთა მედეგობა წვეის ძრავების გადამეტხურების გათვალისწინებით საგრძნობლად აღემატება БЛ 8 ტიპის ელმავლებს.

ელმავლების წვეის ძრავების გადამეტხურება დღესაც აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს და ახალი რკინიგზების დაპროექტების დროს ამ გარემოებას უნდა მიექცეს სათანადო ყურადღება. ამ თვალსაზრისით საყურადღებოა შემზღუდავი აღმართების ისეთი სიგრძის განსაზღვრა, რომელთა დაძლევა მოცემული ტიპის ელმავალს შეუძლია წვეის ძრავების ნორმაზე მეტად გადამეტხურების გარეშე.

როგორც აღნიშნული იყო, მთიან პირობებში რკინიგზებისათვის დამახასიათებელია გრძელი, ციცაბო აღმართები, რომელზედაც ლოკომოტივის უწყვეტმა მუშაობამ დიდი დატვირთვით შესაძლებელია გამოიწვიოს ძრავის გადახურების საშიშროება. ძრავის დასაშვები მაქსიმალური ტემპერატურა დამოკიდებულია იზოლაციის კლასზე, რომელთა სიდიდე წარმოდგენილია ცხრილში 8.[17][18]

ცხრილი 8

ძრავების გახურების მაქსიმალური ტემპერატურა

იზოლაციის კლასი	B	F	H
ღუზის ხვია	145 ⁰	165 ⁰	185 ⁰
პოლუსების ხვია	155 ⁰	180 ⁰	205 ⁰

ელექტრული ძრავის შემოწმებისას გადახურებაზე დგინდება გრანგინლების დასაშვები ტემპერატურის გარემოს ტემპერატურაზე გადაჭარბების სიდიდე

$$\tau_{მაქ} = \theta_{დას} - \theta_{გარ}$$

სადაც: $\theta_{დას}$ – ძრავის გახურების დასაშვები ტემპერატურაა (ცხრ. 8);

$\theta_{გარ}$ – გარემოს ტემპერატურა.

გარემოს საანგარიშო ტემპერატურა განისაზღვრება მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემების საფუძველზე შემდეგი ფორმულით:

$$\theta_{დას} = \frac{t_7 + 2t_{13} + t_{19}}{4} \text{ } ^\circ\text{C}$$

სადაც, t_7 , t_{13} და t_{19} წარმოადგენს დაკვირვებათა წლების (არა ნაკლებ 5 წლისა) ტემპერატურის საშუალო გაზომილს 7, 13 და 19 საათზე ივნისის, ივლისის და აგვისტოს თვეებში. თუ ეს ტემპერატურა აღმოჩნდა 15⁰-ზე დაბალი, მაშინ წვეის გაანგარიშების ნორმების თანახმად აიღებენ 15⁰-ს. ჩვენ გამოკვლევებში გარემოს ტემპერატურას ვიღებთ 25⁰-ის ტოლს.

ძრავის გახურებას ტემპერატურის ანალიზურად ანგარიშობენ შემდეგი ფორმულის დახმარებით

$$\tau = \tau_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T}} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.51)$$

სადაც: τ_{∞} და T ძრავის თბური მახასიათებლებია;

t – ძრავის მუშაობის ხანგრძლივობა, წთ;

τ_0 – ძრავის საწყისი ტემპერატურა.

(2.51) განტოლება შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახით

$$\tau = \tau_\infty + e^{-\frac{t}{T}} (\tau_0 - \tau_\infty)$$

აქედან:

$$e^{-\frac{t}{T}} = \frac{\tau - \tau_\infty}{\tau_0 - \tau_\infty}$$

განვსაზღვროთ ძრავის მუშაობის მაქსიმალური დრო

$$t = -T \ln \frac{\tau - \tau_\infty}{\tau_0 - \tau_\infty} \text{ წთ} \quad (2.52)$$

აღმართის მაქსიმალური სიგრძე საანგარიშო რეჟიმით მუშაობისას ტოლი იქნება

$$l = \frac{V_{\text{საანგ.}}}{60} \text{ კმ}$$

საათობრივი რეჟიმით ძრავის მუშაობისას

$$l = \frac{V_{\text{საათ.}} \cdot t}{60} \text{ კმ}$$

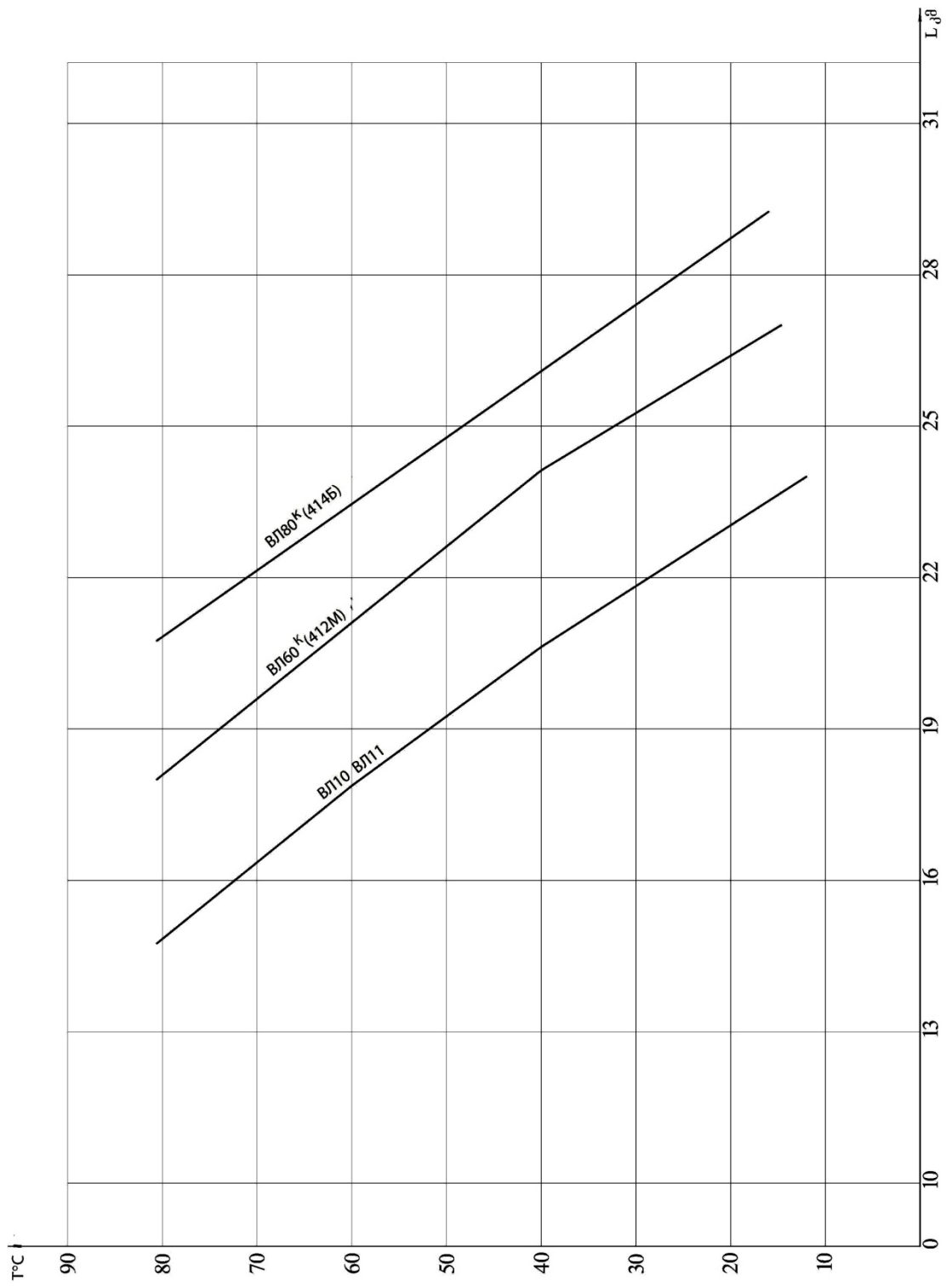
სადაც: $V_{\text{საანგ.}}$ და $V_{\text{საათ.}}$ – შესაბამისად ლოკომოტივის მინიმალური საანგარიშო და საათური რეჟიმით მოძრაობის სიჩქარეებია. t და l სიდიდეები თანამედროვე ლოკომოტივებისათვის საწყისი ტემპერატურისაგან დამოკიდებულებით წარმოდგენილია ცხრილში 9. (მრიცხველში სრული დატვირთვით მუშაობისას, მნიშვნელში საათობრივი რეჟიმით მუშაობისას).

გრაფიკული დამოკიდებულება $l = f(\tau_0)$ სრული დატვირთვის ქვეშ მუშაობისას მოყვანილია ნახ. 10-ზე, ხოლო საათური რეჟიმით მუშაობისას ნახ. 11-ზე.

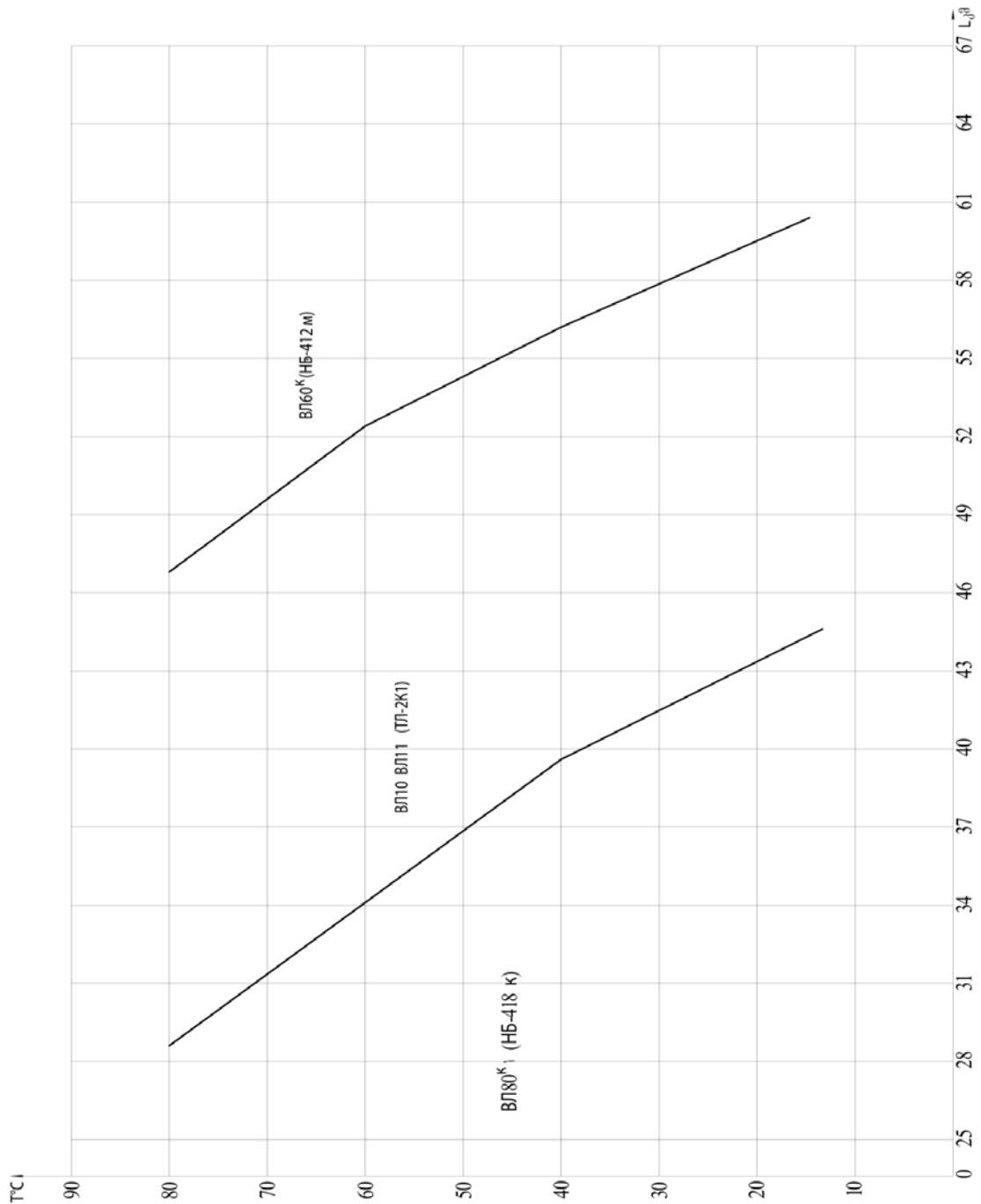
ცხრილი 9

აღმართის მაქსიმალური სიგრძე წვევის ძრავების
გადახურების პირობით

ლოკომოტივის ტიპი	t, წთ				L, კმ			
	τ_0^0 C				τ_0^0 C			
	15	40	60	80	15	40	60	80
ВЛ10 და ВЛ11 (ТЛ-2Л1)	$\frac{37}{59}$	$\frac{32}{52}$	$\frac{26}{45}$	$\frac{19}{35}$	$\frac{28}{47.0}$	$\frac{24.2}{41.6}$	$\frac{19.7}{35.8}$	$\frac{14.5}{27.8}$
ВЛ60К (НБ-412К)	$\frac{33.4}{54}$	$\frac{28.6}{48}$	$\frac{24}{42}$	$\frac{18}{34}$	$\frac{24.4}{47.5}$	$\frac{21}{42}$	$\frac{17.9}{26.7}$	$\frac{13.2}{29.7}$
ВЛ60К (НБ-412М)	$\frac{41.5}{73}$	$\frac{36.8}{67}$	$\frac{33.2}{61.5}$	$\frac{29}{55}$	$\frac{29.6}{64}$	$\frac{26.2}{48.5}$	$\frac{23.6}{54}$	$\frac{20.7}{48}$
ВЛ80К (НБ-418К)	$\frac{33.5}{48}$	$\frac{30}{42.5}$	$\frac{25.5}{37}$	$\frac{19.4}{30}$	$\frac{24.7}{41.5}$	$\frac{22.2}{26.7}$	$\frac{18.7}{32}$	$\frac{14.3}{25.8}$
ВЛ80К (НБ-414Б)	37.5	33	28.2	23	29.2	25.7	22	17.9



ნახ. 10 აღმართის მაქსიმალური სიგრძე წვევის
ძრავების გადახურების პირობით



ნახ. 11 აღმართის მაქსიმალური სიგრძე წვევის ძრავების გადახურების პირობით (საათობრივ რეჟიმში)

როგორც გრაფიკებიდან ჩანს, აღმართის მაქსიმალური სიგრძე ძრავების გადახურების პირობით საათური რეჟიმის დროს გაცილებით მეტია, ვიდრე ძრავის სრული დატვირთვით მუშაობისას.

ექსპლუატაციურ პირობებში ძრავის გადახურების თავიდან აცილების მიზნით ხშირად მიმართავენ ძრავის მუშაობის რეჟიმის

შეცვლას. ლოკომოტივი გადაყვანილია საათობრივ რეჟიმზე. ამ შემთხვევაში აუცილებელია მატარებლის საანგარიშო მასა შევამციროთ $\Theta \frac{F_{საათ.}}{F_{საანგ.}}$ სიდიდემდე. როგორც ცნობილია ციცაბო ქანობებიან დაღმართებზე გამოიყენება რეკუპერაციული დამუხრუჭება. ამ შემთხვევაშიც აუცილებელია შემოწმდეს წვევის ძრავები გადახურებაზე, ვინაიდან რეკუპერაციული დამუხრუჭებისას წვევის ძალა ნაკლებია, ვიდრე წვევის რეჟიმში. ამიტომ დაღმართის სიგრძე გადახურების პირობით არ შეიზღუდება. რეკუპერაციული დამუხრუჭებისას ძრავის გახურების ტემპერატურის შემოწმება განსაკუთრებით საჭიროა იმ შემთხვევაში, როცა გრძელ დაღმართის წინ უძღვის დიდი აღმართი.

2.6 დაღმართის ზღვრული სიგრძის დადგენა მოძრაობის უსაფრთხოების პირობით

ჩვენ განვიხილეთ ყველა ის ფაქტორები, რომლებიც ზეგავლენას ახდენენ სამთო რკინიგზების მატარებლების უსაფრთხო და შეუფერხებელ მოძრაობაზე. ასეთ ფაქტორებს მიეკუთვნება: ხუნდების გადახურება და ცვეთა გაგრძელებულ ციცაბო დაღმართებზე, საჰაერო მაგისტრალის დაშრება და აღმართის მიმართულებით ელმავლის წვევის ძრავების გადახურება. ყველა ზემოთხამოთვლილი ფაქტორების მიხედვით დავადგინეთ ციცაბო ქანობიანი მონაკვეთების ზღვრული სიგრძეები, რომლებზედაც უსაფრთხო იქნება მატარებლების მოძრაობა.

მიღებული შედეგების გაანალიზების საფუძველზე დავადგინეთ, რომ დაღმართის ზღვრული სიგრძე იზღუდება ორი პირობით: სამუხრუჭე ხუნდების გადახურება და საჰაერო მაგისტრალში წნევის ნორმაზე დაბლა დაცემა.

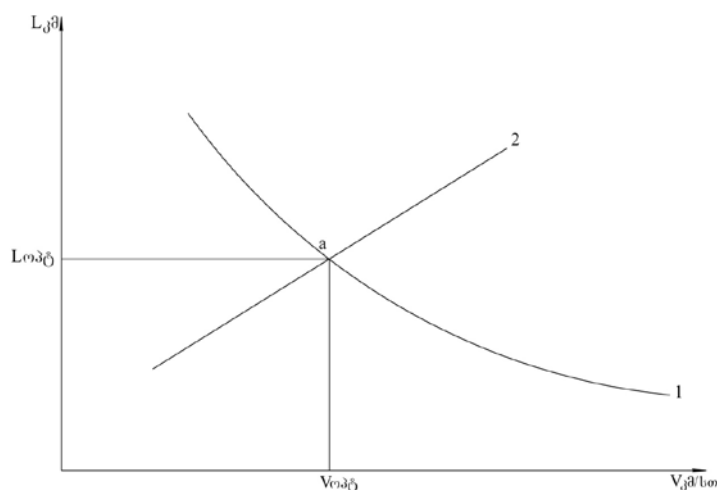
ხუნდების გადახურების ტემპერატურა დამოკიდებულია ვაგონის წონაზე, მოძრაობის სიჩქარეზე, ხუნდის მასალაზე, დაღმართის ქანობაზე.

როგორც იყო აღნიშნული, კომპოზიციური ხუნდები ხასიათდება ნაკლები თბოგამტარობით, ვიდრე თუჯის ხუნდები, ამიტომ დაღმართის

ზღვრული სიგრძე გადახურების პირობით კომპოზიციური ხუნდების შემთხვევაში ნაკლებია. ამიტომაც ჩვენ დადმართის მაქსიმალური სიგრძეების დადგენისას მხედველობაში ვიღებთ მხოლოდ კომპოზიციურ ხუნდებს. ხუნდების გახურების ტემპერატურა პირდაპირპროპორციულია დადმართზე მოძრაობის სიჩქარის. ე.ი. მაღალი სიჩქარისას უფრო მაღე აღწევს ხუნდის ტემპერატურა მაქსიმალურ სიდიდეს. დადმართის ზღვრული სიგრძის გაზრდა გადახურების პირობით შესაძლებელია მოძრაობის სიჩქარის შემცირებით. მაგრამ ამ დროს შეიძლება დადმართის სიგრძე შეიზღუდოს მაგისტრალში ჰაერის წნევის დაცემით.

როგორც ექსპერიმენტალურმა გამოკვლევებმა და უშუალოდ რეალურ პირობებში ჩატარებულმა ცდებმა გვჩვენებს, მაქსიმალური დრო უწყვეტი დამუხრუჭებისას არ უნდა აღემატებოდეს 30-35 წუთს. საჰაერო მაგისტრალის დაშრეტის პირობით დადმართის სიგრძე შესაძლებელია გაეზარდოს მოძრაობის სიჩქარის გაზრდით.

დადმართის ზღვრული სიგრძის დასადგენად ერთდროულად უნდა იყოს გათვალისწინებული როგორც ხუნდების გადახურების, ასევე საჰაერო მაგისტრალის დაშრეტის პირობა. ამ ორი ურთიერთგამომრიცხავი ფაქტორების მხედველობაში მიღება მოგვცემს დადმართის სიგრძის ისეთ სიდიდეს, რომელზედაც უზრუნველყოფილი იქნება მატარებლის უსართხო მოძრაობა. ამისათვის კი საჭიროა ერთიდაიგივე კოორდინატთა სისტემაში ავაგოთ როგორც ხუნდების გადახურების, ასევე მაგისტრალის დაშრეტის მრუდები სიჩქარისა და ქანობისაგან დამოკიდებულებით. ამ ორი მრუდის გადაკვეთის წერტილი მოგვცემს დადმართის ოპტიმალურ სიგრძეს (ნახ. 12).



ნახ. 12 დადმართის ოპტიმალური სიგრძის დადგენა ხუნდების გადახურებისა და დაშრეტის პირობებით

ნახ. 12-ზე წარმოდგენილი მრუდები 1 და 2 წარმოადგენს დაღმართის სიგრძის დამოკიდებულებას მოძრაობის სიჩქარესთან და ქანობთან, შესაბამისად ხუნდების გადახურებისა და მაგისტრალის დაშრეტის პირობებით.

როგორც გრაფიკიდან ჩანს მაღალი სიჩქარეებისას ხუნდების გადახურების პირობით დაღმართის სიგრძეები მოკლეა, ვიდრე დაშრეტის პირობით, ხოლო დაბალი სიჩქარეების დროს კი პირიქით.

იმისათვის, რომ გავზარდოთ დაღმართის ზღვრული სიგრძე ხუნდების გადახურების პირობით, საჭიროა შევამციროთ მოძრაობის სიჩქარე. ამ დროს მცირდება დაღმართის სიგრძე დაშრეტის პირობით. დაღმართის ოპტიმალურ სიგრძეს ორივე პირობის გათვალისწინებით მოგვცემს ამ ორი მრუდის თანკვეთის წერტილი „ა“. თანკვეთის წერტილი გვაძლევს აგრეთვე დაღმართებზე დასაშვებ ოპტიმალურ სიჩქარეს.

2.7 მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის ხაზის გადასარბენების შემოწმება დამუხრუჭების პირობით

მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის ხაზი ერთ-ერთი ურთულესია არა მარტო საქართველოში, არამედ მთელ ყოფილ საბჭოთა კავშირის სივრცეში. იგი ექსპლუატაციაში შევიდა გასული საუკუნის 80-იან წლებში. იგი თავიდან გათვალისწინებული იყო როგორც ადგილობრივი დანიშნულების III კატეგორიის რკინიგზის ხაზი. რკინიგზის ხაზის სიგრძე შეადგენს 165 კმ-ს. სახელმძღვანელო ქანობის სიდიდე 35 %. მინიმალური რადიუსი – 300 მ. ჯერ კიდევ ხაზის დაპროექტებისას დაშვებული იქნა შეცდომა, რაც გამოიხატებოდა იმაში, რომ სახელმძღვანელო ქანობი არ უნდა ყოფილიყო 30 %-ზე მეტი (ამაზე მიუთითებს სამშენებლო ნორმები და წესები). ამ ხაზის ექსპლუატაციაში შესვლისთანავე დღის წესრიგში დადგა მატარებელთა მოძრაობის უსაფრთხოების საკითხი. საქმე ის გახლავთ, რომ გარდა პროფილისა და გეგმის სირთულისა ეს ხაზი გადის რთულ

ტოპოგრაფიულ, გეოლოგიურ და კლიმატურ პირობებში. ზოგიერთი მისი მონაკვეთი ზღვის დონიდან 2000 მეტრს და მეტ ნიშნულზე მდებარეობს. ადგილმდებარეობა გამოირჩევა მკაცრი კლიმატური პირობებით (ზამთარში მინიმალური ტემპერატურა არის -25°). ტრასაზე გვხვდება ღია ღრმა ჭრილები, რომლებიც ზამთრის პერიოდში თოვლით ინამქრება და მოძრაობა იკეტება.

ამ უბანზე გვხვდება ციცაბო ქანობიანი გრძელი დაღმართები ქანობით 35 %, რაც ართულებს მის ექსპლუატაციას და ზრდის ავარიების საშიშროებას. ექსპლუატაციაში შესვლისთანავე ამ ხაზზე ადგილი ჰქონდა მატარებლის გაქცევას, რაც დამთავრდა ფატალური შედეგით (იყო ადამიანთა მსხვერპლი და დიდი მატერიალური ზარალი).

დღეისათვის, როგორც ცნობილია ეს მონაკვეთი წარმოადგენს საერთაშორისო რკინიგზის ხაზის (ბაქო-თბილისი-ყარსი) ერთ-ერთ შემადგენელ უბანს. ამიტომ ამ ხაზზე მატარებელთა მოძრაობის უსაფრთხოებას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება.

ჩვენ მიზნად დავისახეთ ჩაგვეტარებინა არსებული სარკინიგზო გადასარბენის ანალიზი მოძრაობის უსაფრთხოების პირობებით და დაგვესახა საჭირო რეკომენდაციები.

ჩვენი კვლევის ობიექტს შეადგენს განსაკუთრებით რთული გადასარბენები, რომლებსაც გააჩნია გრძელი ციცაბო დაღმართები. ასეთი გადასარბენებია: 1) წინწყარო-თეთრიწყარო 2) თეთრიწყარო-ნადარბაზევი 3) ნადარბაზევი-ბედენი, 4) წალკა-თრიალეთი, 5) თრიალეთი-თაფარავანი.

გადასარბენი წინწყარო-თეთრიწყარო

ამ გადასარბენის სიგრძე შეადგენს 10,87 კმ-ს. დაძაბული დაღმართის სიგრძე შეადგენს 9,3 კმ-ს. საშუალო ქანობის სიდიდე 30,2 %.

შევამოწმეთ გრძელი დაღმართის სიგრძე კომპოზიციური ხუნდების გადახურების პირობით. 0,3 რეკუპერაციის კოეფიციენტისათვის გადახურების ტემპერატურის მიხედვით დაღმართის მაქსიმალურ სიგრძეს ვანგარიშობთ ჩვენს მიერ გამოყვანილი ფორმულის

საშუალებით

$$L = \left[\frac{1}{K\alpha} \ln \left(1 - \frac{\alpha T}{q} \right) \right]^2 \text{ კმ}$$

დაღმართის სიგრძეები ქანობსა და სიჩქარის სიდიდესთან დამოკიდებულებით წარმოდგენილია ცხრილში 10.

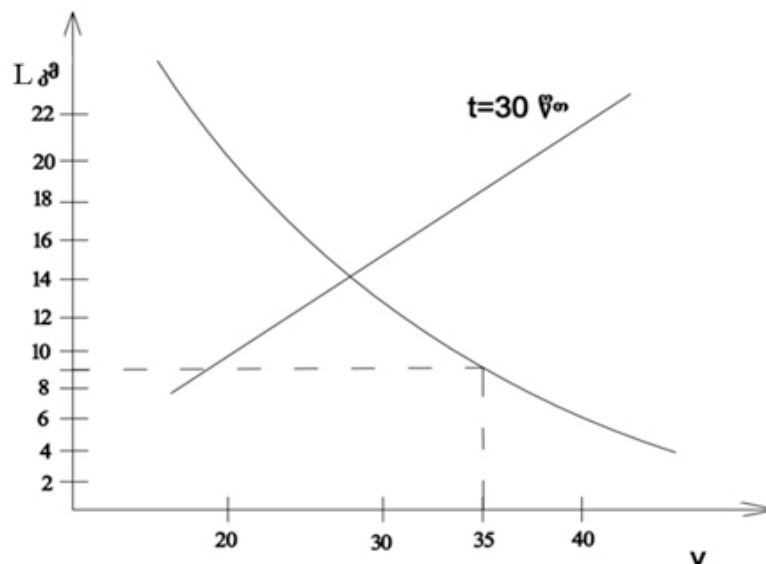
ცხრილი 10

**დაღმართის ზღვრული სიგრძე
(წინწყარო-თეთრიწყაროს გადასარბენი)**

V , კმ/სთ	40	30	25
L , კმ	8,0	11,7	18,8

ავაგოთ გრაფიკი $l = f(v)$ როგორც ხუნდების გადახურვისათვის, ასევე საჰაერო მაგისტრალის დაშრეტის პირობით $t_{დაშრ} = 30$ წთ.

როგორც ნახ. 13-დან ჩანს ამ გადასარბენზე მაქსიმალური დასაშვები სიჩქარით მოძრაობისას დაღმართის მაქსიმალური სიგრძე ხუნდების გადახურების პირობით შეადგენს 9კმ-ს, რეალურად კი დაღმართის სიგრძეა 9,3 კმ.



ნახ.13 დაღმართის ზღვრული სიგრძის დადგენა

ამ გადასარბენზე ხუნდების გახურების ტემპერატურა ზღვრული ნორმების ფარგლებშია. ვინაიდან როცა მაქსიმალური სიჩქარეა 35 კმ/სთ, დაღმართის დასაშვები სიგრძე შეადგენს 9,0 კმ, რეალურად კი დაღმართის სიგრძეა 9,3 კმ. ამ გადასარბენზე საჭიროა მოძრაობის სიჩქარის შემცირება 32 კმ/სთ-მდე ან სხვა რეკონსტრუქციული ღონისძიებების გატარება.

გადასარბენი თეთრიწყარო-ნადარბაზევი

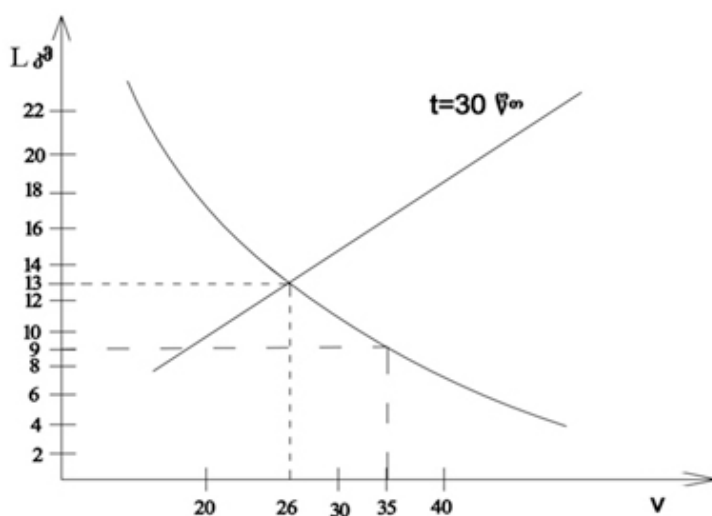
ეს გადასარბენი ითვლება ყველაზე ძნელ მონაკვეთად, რადგან მისი სიგრძე 14,70 კმ-ია, ხოლო დაძაბული დაღმართის სიგრძე შეადგენს 13,5 კმ-ს – საშუალო ქანობის სიდიდე 31,5 %.

ზემოთმოყვანილი ფორმულით ვადგენთ დაღმართის სიგრძეს ქანობისა და სიჩქარისგან დამოკიდებულებით. შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 11 და ნახაზზე 14. რეკუპერაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა შეადგენს 0,3-ს.

ცხრილი 11

დაღმართის ზღვრული სიგრძე
(თეთრიწყარო-ნადარბაზევის გადასარბენი)

$V, \text{კმ/სთ}$	40	30	25
$L, \text{კმ}$	7,8	11,0	18,0



ნახ. 14 დაღმართის ზღვრული სიგრძის დადგენა

ამ გადასარბენზე 35 კმ/სთ მოძრაობისას მოსალოდნელია ხუნდების გადახურება. დაღმართის დასაშვები სიგრძე შეადგენს 9,0 კმ, სინამდვილეში კი დაღმართის სიგრძე შეადგენს 13,5 კმ. გადახურების თავიდან აცილების მიზნით უნდა შემცირდეს მოძრაობის სიჩქარე, მაგრამ ამ დროს დგება დაღმართის სიგრძის შეზღუდვა ჰაერის დაშრეტის პირობით. მაქსიმალური დაღმართის სიგრძე $V = 26$ კმ/სთ სიჩქარისას შეადგენს 13 კმ-ს, რაც არ აკმაყოფილებს პირობას, ვინაიდან გადასარბენზე დაღმართის მაქსიმალური სიგრძეა 13,5 კმ.

გადასარბენ თეთრიწყარო-ნადარბაზევზე მოძრაობის უსაფრთხოების პირობების უზრუნველსაყოფად საჭიროა გადასარბენის შუაში დამატებითი ასაქცევის მოწყობა.

გადასარბენი ნადარბაზევი-ბედენი

ამ გადასარბენის სიგრძეა 14,84 კმ. დაძაბული დაღმართის სიგრძე 8,0 კმ, საშუალო ქანობი 31 %.

დაღმართის მაქსიმალური სიგრძეები სიჩქარისგან დამოკიდებულებით მოცემულია ცხრილში 12

ცხრილი 12

დაღმართის ზღვრული სიგრძე (ნადარბაზევი-ბედენის გადასარბენი)

V	40	30	25
l	8,0	12,0	18,5

როგორც ცხრილიდან ჩანს ამ გადასარბენზე მაქსიმალური სიჩქარით მოძრაობის დროსაც კი (40 კმ/სთ) ხუნდების გადახურება არ იქნება მოსალოდნელი.

გადასარბენი წალკა-თრიალეთი

გადასარბენის სიგრძე 8,835 კმ-ია. დაძაბული დაღმართის სიგრძე 6,6 კმ, საშუალო ქანობი 33,4 %.

დაღმართის მაქსიმალური სიგრძე აღნიშნული ქანობისათვის სხვადასხვა სიჩქარის შემთხვევაში წარმოდგენილია ცხრილში 13

ცხრილი 13

დაღმართის ზღვრული სიგრძე
(წალკაი-თრიალეთის გადასარბენი)

$V, \text{კმ/სთ}$	40	30	25
$L, \text{კმ}$	7,0	9,0	13,0

ამ გადასარბენის ხუნდების გადახურება არ არის მოსალოდნელი, ვინაიდან 40 კმ/სთ მოძრაობის დროსაც კი არ მიიღწევა ხუნდის მაქსიმალური ტემპერატურა.

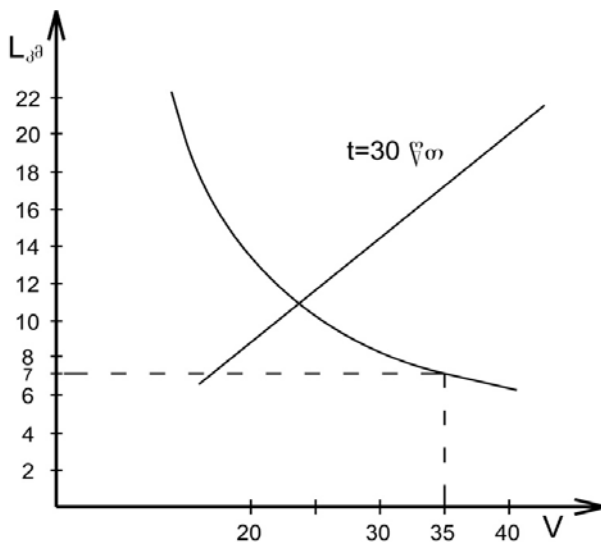
გადასარბენი თრიალეთი-თაფარავანი

ამ გადასარბენის სიგრძეა 10,95 კმ. დაძაბული დაღმართის სიგრძე 9,65 კმ, საშუალო ქანობი $i=33,6 \%$. ამ მონაცემებისათვის დაღმართის მაქსიმალური სიგრძე სიჩქარისგან დამოკიდებულებით მოცემულია ცხრილში

ცხრილი 14

დაღმართის ზღვრული სიგრძე
(თრიალეთი-თაფარავანის გადასარბენი)

$V, \text{კმ/სთ}$	40	30	25	20
$L, \text{კმ}$	6,2	8,5	11,0	14,0



ნახ.15 დაღმართის ზღვრული სიგრძის დადგენა

როგორც 15 ნახაზიდან ჩანს ამ გადასარბენზე მაქსიმალური დასაშვები სიჩქარით მოძრაობისას (35 კმ/სთ) ხუნდების გადახურების პირობით მატარებელი გაივლის მხოლოდ 7 კმ-ს. გადასარბენზე დაღმართის სიგრძე კი 9,65 კმ. ამ სიგრძის დაღმართზე რომ არ მოხდეს ხუნდების გადახურება, საჭიროა მოძრაობის სიჩქარე შემცირდეს 26 კმ/სთ-მდე.

3. სატვირთო მატარებლის წონის ნორმის დადგენა მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის ხაზზე

სატვირთო მატარებლის შემადგენლობის წონის ნორმა ერთ-ერთი მთავარი პარამეტრია როგორც საპროექტო, ასევე არსებული რკინიგზისათვის. მასზე დამოკიდებულია ხაზის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები. თანამედროვე პირობებში საზღვარგარეთის რიგი ქვეყნების რკინიგზის ხაზზე შემადგენლობის წონის ნორმა აღწევს 1000 ტონას და მეტს. სამთო რკინიგზებზე, როგორც მარაბდა-კარწახია მატარებლის წონა გარდა ქანობისა და ლოკომოტივის სიმძლავრისა იზღუდება რიგი სხვა ფაქტორებით, როგორებიცაა მცირერადიუსიან მრუდებში თვალსა და რელსს შორის შეჭიდულობის კოეფიციენტის შემცირება, ციცაბო აღმართებზე ლოკომოტივის წვევის ძრავების გადახურება, დამუხრუჭების პირობა და ა.შ. ლოკომოტივის წვევის ძალის სიდიდე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული თვალსა და რელსს შორის შეჭიდულობის კოეფიციენტის მნიშვნელობაზე. ამ კოეფიციენტის მნიშვნელობას ახასიათებს ცვალებადობის ფართო დიაპაზონი და ძირითადად დამოკიდებულია მოძრაობის სინქარეზე, ბანდაუებისა და რელსების სამუშაო ზედაპირის მასალასა და მდგომარეობაზე, ლოკომოტივის ტიპზე, გზის გეგმასა და პროფილზე, ადგილმდებარეობის კლიმატურ პირობებზე და ა.შ. აქედან ძირითადად წარმოადგენს რელსის თავის მდგომარეობა და კლიმატური პირობები.

საპროექტო რკინიგზისათვის ერთ-ერთ მთავარ პარამეტრს შეადგენს მატარებლის საანგარიშო წონის ნორმა. ვინაიდან მასზეა დამოკიდებული ხაზის სიმძლავრე და დაპროექტების რიგი ტექნიკური ნორმები. საგაგონო შემადგენლობის საანგარიშო (ბრუტო) წონა გამოითვლება ფორმულით [17]

$$Q = \frac{F_k - P(\omega'_0 + i_{სახ})}{\omega''_0 + i_{სახ}} \cdot \dots \quad (3.1)$$

სადაც: F_k – ლოკომოტივის საანგარიშო წვევის ძალაა,

БЛ II ლოკომოტივისთვის $F_k = 46000$ კგ;

P – ლოკომოტივის წონაა, P=184 ტ;

$i_{სახ}$ – სახელმძღვანელო ქანობია, %.

ω' და ω'' - შესაბამისად ლოკომოტივისა და სავაგონო შემადგენლობის ძირითადი ხვედრითი წინაღობებია, კგ/ტ.

გაანგარიშებისათვის შეიძლება მიახლოებით მივიღოთ:

$$\omega'_0 = 3.0 \text{ კგ/ტ}; \omega''_0 = 1.5 \text{ კგ/ტ}.$$

წვეის გაანგარიშების წესების თანახმად [17] საპროექტო რკინიგზებისათვის მატარებლის წონის ნორმის დადგენისას ლოკომოტივის წვეის ძალა მცირდება ელმავლებისათვის 5%-ით, ხოლო თბომავლებისათვის – 7%-ით.

მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის ხაზის სახელმძღვანელო ქანობი შეადგენს 35 %. ამ მონაცემებისათვის სატვირთო მატარებლის წონის ნორმა შეადგენს

$$Q = \frac{46000 \cdot 0.95 - 184 \cdot (35 + 3.0)}{1.5 + 35} = 1000 \text{ ტ}$$

მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის ხაზი გადის რთულ ტოპოგრაფიულ და კლიმატურ პირობებში. მისი ცალკეული უბნები ზღვის დონიდან 2000 მეტრზე მეტ სიმაღლეზე მდებარეობს. კლიმატი მკვეთრი კონტინენტალურია, ზამთარი მკაცრი, რომელიც გრძელდება 6-7 თვე. ატმოსფერული ნალექი 533 მმ, თოვლის საფარველის სისქე 111 სმ. უბანზე გვხვდება მცირერადიუსიანი მრუდები (R=300 მ). ყოველივე ამის გათვალისწინებით მოსალოდნელია რელსის თავსა და წამყვან თვალს შორის შეჭიდულობის (გადაბმის) საანგარიშო კოეფიციენტის შემცირება. ლოკომოტივის წვეის ძალას ძირითადად განსაზღვრავს ზემოთაღნიშნული ψ_k კოეფიციენტის სიდიდე [19] [25].

შემადგენლობის წონის გაანგარიშებისას წვეის ძალის უდიდესი მნიშვნელობა გადაბმის პირობით განისაზღვრება ფორმულით

$$F_k = 10^3 \cdot P \cdot \psi_k \text{ კგ} \quad (3.2)$$

სადაც, $P = \sum P$ და არის ლოკომოტივის გადაბმის წონა წამყვან ღერძზე. რადგან გარკვეული ტიპის ლოკომოტივისათვის გადაბმის წონა

მუდმივია, წვევის ძალის გადაბმით შეზღუდვის ძირითად ფაქტორს წარმოადგენს შეჭიდულობის კოეფიციენტი.

შეჭიდულობის კოეფიციენტი რელსსა და თვალს შორის БЛ11

ელმავლის შემთხვევაში გამოითვლება ემპირიული ფორმულით:

$$\psi_k = 0.28 + \frac{3}{50+20V} - 0.0007V \quad (3.3)$$

БЛ11 ლოკომოტივის საანგარიშო სიჩქარე შეადგენს 46,7კმ/სთ. ამ სიჩქარისათვის შეჭიდულობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა ტოლია 0.25.

როგორც ჩანს, მატარებლის წონის ნორმის დადგენაში არსებითი მნიშვნელობა აქვს ψ_k კოეფიციენტს. ψ_k კოეფიციენტი მეტად რთული ბუნებისაა, ახასიათებს ცვალებადობის საკმაოდ ფართო დიაპაზონი და დამოკიდებულია მეტად მრავალ ფაქტორზე, რომელთა შორის არსებითია რელსის თავის მდგომარეობა, უმთავრესად სისველე და გაჭუჭყიანება. მისი ბუნების დასადგენად მრავალი ცდებია ჩატარებული ევროპისა და ამერიკის ქვეყნებში. ჩატარებული ცდების უმრავლესობა გვიჩვენებს, რომ ψ_k კოეფიციენტის უდიდესი უმრავლესობა (70%) მშრალი რელსებისათვის მერყეობს 0.12–0.2 ინტერვალში, ხოლო ჭუჭყიანი რელსებისათვის 0.05–0.1 ფარგლებში. ე.ი. რელსის თავის დასველებისა და გაჭუჭყიანების შედეგად (ატმოსფერული ნალექები, თოვლით დანამქვრა, თრთვილი, ცვარი, მტვერი, ნავთობპროდუქტებით გაჭუჭყიანება და ა.შ.) ეს კოეფიციენტი მნიშვნელოვნად მცირდება. ადგილობრივი ამოცვეთები რელსებსა და ბანდაჟებზე, აღიძებს რა საგალი ნაწილის რხევას ხელს უწყობს შეჭიდულობის კოეფიციენტის სიდიდის შემცირებას. მატარებლის წონის ნორმის დადგენისას ზემოთმოყვანილი კოეფიციენტის მნიშვნელობებს ჩვენ ვერ დავეყრდნობით. საჭიროა ექსპლუატაციურ პირობებში ცდების ჩატარების საფუძველზე დადგინდეს ამ რეგიონისათვის ψ_k -ს ნორმატიული მნიშვნელობა. შეჭიდულობის კოეფიციენტის მნიშვნელობის ასამაღლებლად მიმართავენ კვარცის სუფთა სილის მოყრას რელსის თავებზე, მაგრამ ეს ღონისძიება აღნიშნულ კოეფიციენტს მშრალი რელსებისთვის ზრდის მხოლოდ 0.2-მდე [21].

წვევის ძალის სიდიდე, როცა $\psi_k = 0,2$, ტოლი იქნება

$$F_k = 10^3 \cdot 184 \cdot 0.2 = 36800 \text{ კგ}$$

შესაბამისად, მატარებლის წონის ნორმა ფორმულა (3.1)-ის თანახმად ტოლია $Q = 820$ ტონის.

შეჭიდულობის კოეფიციენტის სიდიდე მცირდება მრუდებში ($R < 500$ მ) თვლების წაცურების ზრდის გამო. შეჭიდულობის კოეფიციენტის შემცირება მრუდის რადიუსის სიდიდესთან დამოკიდებულებით გაითვალისწინება კოეფიციენტით $\psi_{kp} = K_\psi \cdot \psi_k$, სადაც

$$K_\psi = \frac{250 + 1.55R}{500 + 1.1R} \quad (3.3)$$

ჩვეულებრივად, როცა საანგარიშო წვევის ძალა განსაზღვრულია წამყვანი თვალის რელსთან შეჭიდულობის პირობით, ψ_k კოეფიციენტის შემცირებას აკომპენსირებენ მრუდის ფარგლებში და მის წინ აღმართის მხარის ქანობის შემსუბუქებით. ექვივალენტურ ქანობს ითვლიან შემდეგი ფორმულის დახმარებით:

$$i_\psi = (1 - K_\psi) \cdot i$$

მარაბდა-ახალქალაქის გრძივი პროფილის ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ქანობის ასეთი შერბილება ყველგან არ არის გათვალისწინებული. ამიტომ გრძივი პროფილის გადაკეთება რომ არ დაგეგმირდეს, ეს გარემოება უნდა გავითვალისწინოთ წონის ნორმის დადგენისას. მატარებლის წონის ნორმა უნდა განისაზღვროს არა სახელმძღვანელო ქანობის, არამედ დაყვანილი ქანობის მიხედვით.

$$i_{\text{დაყვ.}} = i_{\text{ნამდ.}} + i_{\text{ეკვ.}} + i_\psi$$

$i_{\text{ნამდ.}}$ – ნამდვილი ქანობია, ‰;

$i_{\text{ეკვ.}}$ – მრუდის წინაღობის ეკვივალენტური ქანობია, ‰;

განვიხილოთ მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის ხაზის უბანი პკ477-დან პკ488-მდე. ამ უბანზე გვაქვს შექცეული მრუდები რადიუსით $R=300$ მ. მრუდის წინაღობა ტოლია $i_{\text{ეკვ.}} = \frac{700}{R} = 2.3$ ‰, ხოლო ფორმულა (3.3)-ის თანახმად

$$K_\psi = \frac{250 + 1.55 \cdot 300}{500 + 1.1 \cdot 300} = 0.86$$

$$\text{ხოლო } i_\psi = (1 - 0.86) \cdot 35 = 4.9 \text{ ‰}$$

პროფილის ნამდვილი ქანობი ამ უბანზე შეადგენს 32.7 %.

ამრიგად, დაყვანილი ქანობის სიდიდე ტოლი იქნება

$$i_{\text{დაყ.}} = 32.7 + 2.3 + 4.9 = 39.9 \%$$

შემადგენლობის წონის ნორმა ფორმულა (3.1)-ის თანახმად ტოლი იქნება

$$Q = \frac{0.95 \cdot 46000 - 184 \cdot (3 + 39.9)}{1.5 + 39.9} = 865 \text{ ტ}$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ იმ გარემოებას, რომ შეჭიდულობის კოეფიციენტი თვალსა და რელსს შორის მცირდება 0.2-მდე, მაშინ წვეის საანგარიშო ძალა ტოლი იქნება 36800 კგ – ამ შემთხვევაში კი წონის ნორმა ტოლია $Q = 650$ ტ.

როგორც ცნობილია, მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის ხაზი ხასიათდება გრძელი ციცაბო აღმართებით, ამიტომ წვეის ძრავებს მუშაობა უხდება მაქსიმალური დატვირთვით, რის შედეგაც მოსალოდნელია ძრავების გადახურება. ამ მოვლენის თავიდან აცილების მიზნით ძრავები გადაყავთ საათობრივ რეჟიმზე, ხოლო თუ მოძრაობის დრო დაძაბულ აღმართზე ერთ საათს აღემატება, მაშინ ხანგრძლივ რეჟიმზე.

БЛ II ლოკომოტივისათვის საათობრივი რეჟიმის შესაბამისი წვეის ძალა შეადგენს $F_{k(s\text{თ})} = 39760$ კგ, მინიმალური საანგარიშო სიჩქარე $V_{(s\text{თ})} = 48.7$ კმ/სთ, ხანგრძლივი მუშაობის რეჟიმისათვის იგივე სიდიდეები შეადგენს $F_{k\infty} = 32480$ კმ და $V_{\infty} = 51.2$ კმ/სთ. მარაბდა-ახალქალაქის მიმართულებით დაძაბული, ციცაბო ქანობიანი აღმართის საერთო სიგრძე შეადგენს დაახლოვებით 46 კმ. ცხადია მასზე წვეის ძრავებმა უნდა იმუშაოს საათობრივი რეჟიმით, ვინაიდან ამ აღმართზე სვლის დრო ტოლია

$$t = \frac{60 \cdot 46}{48.7} = 56.7 \text{ წთ}$$

ამრიგად, სატვირთო მატარებლის წონის ნორმა მარაბდიდან ახალქალაქის მიმართულებით წვეის ძრავების გადახურების პირობით (3.1) ფორმულის თანახმად შეადგენს $Q = 900$ ტ, რაც აღემატება დადგენილი წონის ნორმას დაყვანილი ქანობის გათვალისწინებით. რაც

იმაზე მიუთითებს, რომ ამ უბანზე ელმავლის საათობრივი რეჟიმით მუშაობისას წვეის ძრავების გადახურება მოსალოდნელი არ არის.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, მარაბდა-ახალქალაქის უბანი გამოირჩევა მკაცრი კლიმატური პირობებით და ბუნებრივია შეჭიდულობის კოეფიციენტის მნიშვნელობები ზამთრისა და ზაფხულის პერიოდში განსხვავებული იქნება. შეჭიდულობის კოეფიციენტის ფაქტიური მნიშვნელობის დასადგენად საჭიროა ჩატარდეს ექსპერიმენტალური კვლევა ამ უბანზე და დადგინდეს ψ_k რეალური სიდიდეები. წვეის გაანგარიშების წესების თანახმად [17] ზამთრის პერიოდში უაღრესად არახელსაყრელ პირობებში (რასაც ადგილი აქვს მოცემულ რეგიონში) შესაძლებელია შეჭიდულობის კოეფიციენტი, დადგენილი (3.3) ფორმულის მიხედვით შევამციროთ 15%-ით.

ე.ი. ზაფხულის პერიოდში ვიღებთ ψ_k -ს მნიშვნელობას 0.25, ზამთრის პერიოდში – 0.20. მაშინ „სეზონური“ წონის ნორმები ტოლი იქნება: ზაფხულში – 1700 ტ, ზამთრის პერიოდში – 1300 ტ (ორმაგი წვეის შემთხვევაში).

დასკვნა

1. მატარებლის წონის ნორმის მარაბდა-ახალქალაქის ხაზზე ორმაგი წვეისათვის შეადგენს 1700 ტ (ზაფხული) და 1300 ტ (ზამთარი);
2. ზემოთაღნიშნული ნორმები არ იზღუდება წვეის ძრავების გადახურების პირობით;
3. შეჭიდულობის კოეფიციენტის ფაქტობრივი მნიშვნელობის დასადგენად საჭიროა ექსპერიმენტის ჩატარება უშუალოდ არსებულ ხაზზე;
4. ტვირთბრუნვის ზრდასთან ერთად შეიქმნება სამმაგ წვეის საჭირობა, რისთვისაც წონის ნორმები ტოლი იქნება 2500 ტ (ზაფხული) და 2000 ტ (ზამთარი).

3.1 მატარებლების წონის ნორმის განსაზღვრის თავისებურებები მთიანი რელიეფის პირობებში თბოწვევის გამოყენებისას

ჩვენი ქვეყნის რკინიგზა მთლიანად ელექტროფიცირებულია. ელექტროფიცირებული რკინიგზების გამტარუნარიანობა თბოწვევასთან შედარებით ვაკე და მთისწინა პირობებში 20–25 %-ით მეტია, ხოლო მთიან პირობებში 30–40 %-ით. ელექტროფიკაციის ღირებულების რკინიგზების საერთო ღირებულებაში მნიშვნელოვან ნაწილს შეადგენს (საერთო ღირებულების დაახლოებით 20 %).

იმ შემთხვევაში, როცა გადაზიდვის ზომები მცირეა, ადვილად შესაძლებელია მიზანშეწონილი აღმოჩნდეს თბოწვევის გამოყენება. ჩვენს პირობებში მაგალითად ტურისტული მარშრუტების ათვისება, ან სამრეწველო რეგიონებიდან მადნეულის გამოტანის შემთხვევაში უფრო ხელსაყრელი იქნება რკინიგზების დაპროექტება თბოწვევით.

რკინიგზების დაპროექტებისას მთიან პირობებში თბოწვევის გამოყენების შემთხვევაში აუცილებელია გავითვალისწინოთ ის გარემოება, რომ ზღვის დონიდან სიმაღლის მატებასთან ერთად მცირდება დიზელის ძრავის სიმძლავრე. თბომავლის წვევის ძალა [17] ამ შემთხვევაში გამოითვლება ფორმულით

$$F_k = F \cdot (1 - K_p - K_t) \quad [3.21]$$

სადაც: F - თბომავლის წვევის ძალაა სტანდარტულ ატმოსფერულ პირობებში (760 მმ ვერცხლისწყლის სვეტით, გარემოს ტემპერატურა 20°C.)

K_p - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დიზელის ძრავის სიმძლავრის შემცირებას წნევის დაცემისას;

K_t - იგივე, გარემოს ტემპერატურის მატებასთან დაკავშირებით.

ზოგიერთი თბომავლებისათვის K_p და K_t კოეფიციენტების მნიშვნელობები დადგენილია და მოცემულია წვევის გაანგარიშების წესებში [17].

ცხრილში 15 მოცემულია K_p -ის სიდიდეთა მნიშვნელობები, ხოლო ცხრილში 16 K_t -სიდიდეთა მნიშვნელობები წნევისა და ტემპერატურის ცვალებადობასთან დაკავშირებით.

ცხრილი 15

დიზელის ძრავის სიმძლავრის დამოკიდებულება სიმაღლესთან

K_p - კოეფიციენტის მნიშვნელობები

თბომავლის სერია	ზარ. კპა (მმ ვერცხლისწყლის სვეტი)					
	101 (760)	99 (740)	96 (720)	93 (700)	91 (680)	88 (660)
TЭЗ	0	0.025	0.051	0.078	0.105	0.132
2 TЭ10, 2 TЭ10B,	0	0.028	0.057	0.086	0.115	0.144
2 TЭ10M	0	0.022	0.044	0.066	0.088	0.110
2 TЭ116						

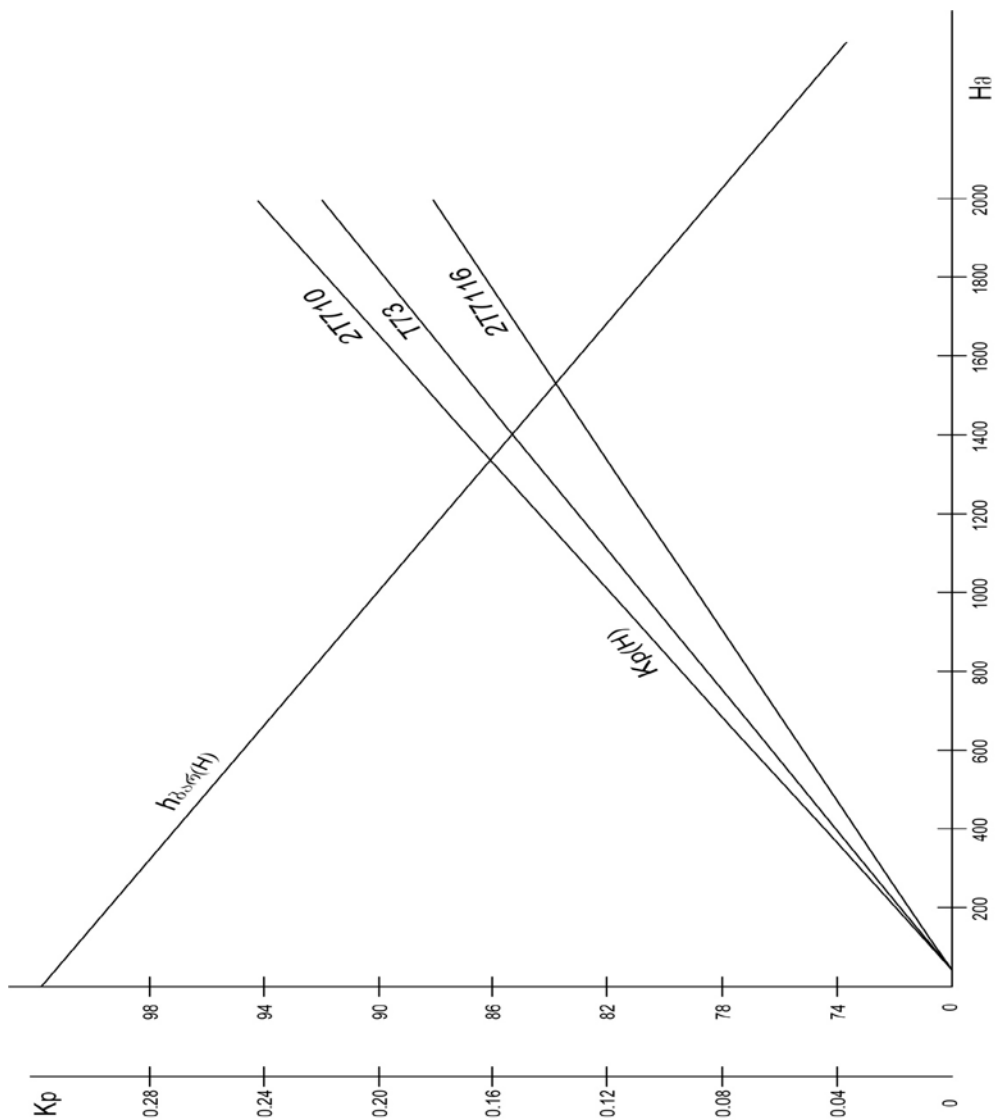
ცხრილი 16

დიზელის ძრავის სიმძლავრის დამოკიდებულება ტემპერატურისაგან

K_t - კოეფიციენტის მნიშვნელობები

თბომავლის სერია	t°C			
	< 20	30	40	50
TЭЗ	0	0.045	0.090	0.135
2 TЭ10Л, 2 TЭ10,	0	0.050	0.100	0.150
2 TЭ10M	0	0.040	0.080	0.120

მთიან პირობებში რკინიგზების დაპროექტებისას ხელსაყრელია ვისარგებლოთ K_p კოეფიციენტის დამოკიდებულებით ზღვის დონიდან სიმაღლის მნიშვნელობასთან დამოკიდებულებით (ნახ. 16).



ნახაზი 16. K_p კოეფიციენტის დამოკიდებულება სიმაღლესთან

K_p (H) დამოკიდებულება აპროქსიმაცია სწორი ხაზით კარგად გამოიხატება განტოლებებით სხვადასხვა თბომავლებისათვის

$$TЭ3 K_p = 1.09 \cdot 10^{-4} H \quad (3.22)$$

$$2 TЭ10A, 2 TЭ10B, 2 TЭ10M - K_p = 1.09 \cdot 10^{-4} H$$

$$2 TЭ116 K_p = 1.09 \cdot 10^{-5} H \quad (3.23)$$

ზემოთ მოყვანილი მონაცემების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ დიზელის ძრავის სიმძლავრე ყოველ 100 მ სიმაღლეზე მცირდება 0.9 ÷ 1.2 %-ით.

ანალოგიური მიდგომა არის ამ საკითხებზე ევროპის ქვეყნებში, კერძოდ გერმანიის ფედერაციულ რესპუბლიკაში. ატმოსფერული წნევის $h_{ბარ.}$ სიმაღლესთან დამოკიდებულებას [22] [23] აქვს შემდეგი სახე:

$$h_{ბარ.} = 101.325[(288 - 0.0065H)/288] \quad (3.24)$$

ამ ფორმულით მიღებული სიდიდეები ახლოსაა ნახ. 16-ზე ნაჩვენებ ფუნქციონალურ დამოკიდებულებასთან.

ტემპერატურის ცვალებადობა სიმაღლესთან დამოკიდებულებით განისაზღვრება ფორმულით

$$\Delta T = 0.0065H$$

ზემოთ მოყვანილი ტემპერატურისა და სიმაღლის დამოკიდებულების გათვალისწინებით გერმანიაში დიზელის სიმძლავრეს გამოითვლიან ფორმულით

$$N = N_0(1 - \alpha H) \quad (3.25)$$

N_0 - დიზელის სიმძლავრე ზღვის დონიდან ($H = 0$)

α - კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა იცვლება $1 \cdot 10^{-4}$ -დან

(გაგრილებს გარეშე), $3.5 \cdot 10^{-5}$ -მდე - გაგრილებით.

სათბობის ხარჯი ტოლი იქნება

$$E = E_0(1 + \beta H) \quad (3.26)$$

E_0 - სათბობის ხარჯია ზღვის დონეზე;

β - კოეფიციენტი, რომელიც იცვლება $1.9 \cdot 10^{-5}$ -დან $4 \cdot 10^{-6}$ (გაგრილების გარეშე და გაგრილებით).

წევის გაანგარიშების წესების თანახმად მატარებლის მასის დადგენისას ატმოსფერული პირობების გათვალისწინებით თბომავლის წევის ძალა მიიღება

$$F = F_k \cdot (1 - K_p - K_t) - \text{ტოლი.}$$

ამ შემთხვევაში საანგარიშო აღმართზე შენარჩუნებული იქნება ლოკომოტივის მინიმალური საანგარიშო სიჩქარე.

იმ შემთხვევაში, თუ გზა გადის 1000 მეტრამდე სიმაღლეზე ზღვის დონიდან, მასა მცირდება 10–12 %-ით (ლოკომოტივის სერიისაგან დამოკიდებულებით) სტანდარტულ ატმოსფერულ პირობებთან შედარებით. თუ ტრასა გადის 1500 მეტრზე ზღვის დონიდან, მაშინ მატარებლის მასა მცირდება 15–18 %-ით, ხოლო თუ ტრასა გადის 2000

მეტრზე ზღვის დონიდან, მაშინ მასა მცირდება 22–25 %-ით. ამიტომ მთიან პირობებში ასეთი მეთოდით მატარებლის მასის განსაზღვრა ყოველთვის არ არის მიზანშეწონილი და ეკონომიურად გამართლებული. პროფესორ ი. კანტორის განსაზღვრის შემდეგი მეთოდი, რომლის არსი მდგომარეობს შემდეგში: მატარებლის მასის განსაზღვრისას ლოკომოტივის საანგარიშო წვევის ძალის მიხედვით, რომელიც მიღებულია წვევის გაანგარიშების წესებში სახელმძღვანელო ქანობზე მოძრაობისას, დაბალი ატმოსფერული წნევისა და მაღალი (20⁰-მდე) ტემპერატურისას მოძრაობის სიჩქარე დაეცემა მინიმალურ საანგარიშო სიჩქარეზე დაბლა.

ჩვენ შევეცადეთ დაგვესაბუთებინა შემოთავაზებული მეთოდის ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტიანობა. ამისათვის ჩავატარეთ წვევისა და საექსპლუატაციო ეკონომიკური გამოთვლები პირობითი მთიანი მონაკვეთისათვის, რომლის სიგრძე ავიღეთ 300 კმ. სახელმძღვანელო ქანობი 9 %, თბომავლის ტიპი 3TЭ10M.

წვევის ნორმა ლოკომოტივის წვევის ძალის სტანდარტული მნიშვნელობისათვის ტოლია 7250 ტ, ხოლო ატმოსფერული პირობების გათვალისწინებით $H=1300$ მ და გარემოს ტემპერატურა – 39⁰C; $K_p=0.155$ და $K_t=0.095$ წვევის ძალას მივიღებთ $F = F_k \cdot (1 - K_p - K_t)$ ტონს და გამოვიანგარიშებთ მატარებლის მასას. მივიღებთ, რომ $Q = 6000$ ტ.

პირველ შემთხვევაში სახელმძღვანელო ქანობზე აღმართის მიმართულებით სიჩქარე გამოდის საანგარიშო სიჩქარეზე 17 კმ/სთ-ით ნაკლები, ხოლო მეორე შემთხვევაში ის ტოლია ლოკომოტივის მინიმალური საანგარიშო სიჩქარის – 23.4 კმ/სთ-ში. მატარებლის მასის გაზრდის შემთხვევაში 7250 ტონამდე მოძრაობის საშუალო სიჩქარე მცირდება 8 %-ით. მატულობს ლოკომოტივის მექანიკური მუშაობა და სათბობის ხარჯი, რაც აისახება მატარებლის გადაადგილების ხარჯების 15 %-იან ზრდაში (იხ. ცხრილი 17). ამასთანავე მატარებლის მასის გაზრდით (21%) მცირდება მატარებელთა რიცხვი და ჯამური საექსპლუატაციო ხარჯები მცირდება 6 %-ით, ხოლო სალოკომოტივო ჯამური ღირებულება „ლ“ - 10 %-ით. მოძრაობის სიჩქარის შემცირებასთან დაკავშირებით იზრდება სავაგონო პარკის ღირებულება „პ“. ჯამური დაყვანილი ხარჯები $ლ+პ+C \cdot T_{ნაგ}$. (სადაც $T_{ნაგ}$ -

ნაზღაურობის ნორმატიული ნორმა - 10 წელი) მცირდება 6 %-ით. მართალია მოძრაობის საშუალო სიჩქარე პირველ ვარიანტში მცირდება, მაგრამ იმის გამო, რომ მატარებლის მასა დიდია, ამიტომ ხაზის გამზიდუნარიანობა იზრდება.

როგორც ვარიანტების შედარებამ გვიჩვენა მეორე ვარიანტში (როცა $Q = 6000$ ტ) ჯამური დაყვანილი ხარჯები 65 %-ით მეტია, ვიდრე იმ ვარიანტში, როცა $Q = 7250$ ტ.

ცხრილი 17

ვარიანტების მაჩვენებლები

მაჩვენებლები	მატარებლის მასა	
	$Q = 6000$	$Q = 7250$
სვლის დრო უბანზე სთ-ში	5.05	5.50
მოძრაობის საშუალო სიჩქარე, კმ/სთ	57.5	53.0
სათბობის ხარჯი, %	8.43/100	2.62/113
მატარებლის გადაადგილების ხარჯები, %	100	1.5
წლიური ექსპლუატაციური ხარჯები, %	100	94
სალოკომოტივო პარკის ღირებულება, %	100	90
სავაგონო პარკის ღირებულება	100	101
ჯამური დაყვანილი ხარჯები	100	94

უნდა აღინიშნოს, რომ საკითხის საბოლოო გადაწყვეტისათვის ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში საჭიროა ჩატარებული იქნას ვარიანტების ტექნიკურ-ეკონომიური შედარება.

საბოლოოდ კი შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ რთულ ატმოსფერულ პირობებში მატარებლის მასა უნდა განისაზღვროს ლოკომოტივის სტანდარტული წვეის ძალის მიხედვით (საანგარიშო სიჩქარის შემცირებით) რაც იძლევა გარკვეულ ეკონომიკურ ეფექტს.

4. რკინიგზის ლიანდაგის თოვლისგან დაცვა

ჩვენი ქვეყნის რიგი სარკინიგზო და საავტომობილო გზა განთავსებულია ინტენსიური ქარბუქის ზონებში, რომელიც რიგ შემთხვევაში დროდადრო საფრთხეს უქმნის სარკინიგზო და საავტომობილო ტრანსპორტს.

თოვლის საფარითა და კლიმატური ზეგავლენით გამოწვეული ცვლილებები დიდ გავლენას ახდენენ სახალხო მეურნეობის პრაქტიკაზე, განსაკუთრებით ეს შეიმჩნევა ტრანსპორტისა და სოფლის მეურნეობის სფეროებში.

სატრანსპორტო ობიექტების თოვლით დანამქრისაგან დამცავი თოვლდამცავი და თოვლშემაკავებელი მოწყობილობების დაპროექტებისათვის ამჟამად ძირითადად გამოიყენება ემპირიული მეთოდები.

მრავალწლიანი გამოცდილებებისა და მრავალრიცხოვანი შეცდომების ფასად სარკინიგზო და საავტომობილო ტრანსპორტის შესაბამისი სპეციალისტების მიერ შემუშავებულია თოვლდამცავ ნაგებობათა ასე თუ ისე წარმატებულ საშუალებათა კომპლექსები.

თოვლისგან დაცვის მთავარ, ყველაზე უფრო რთულ და შეუსწავლელ პრობლემას წარმოადგენს ქარბუქის მექანიკის პრობლემა. იმ ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური არსის ცოდნა, რომლებიც იწვევენ თოვლის დეფლაციასა და თოვლით დანამქრას, საშუალებას მოგვცემს მოვახდინოთ ამ პროცესებზე ზეგავლენა და უარყოფითი ტემპერატურისას ქარების მიერ თოვლის გადატანის კანონზომიერების დადგენა.

ქარბუქის მექანიკის პრობლემის საფუძველს წარმოადგენს ჰიდროდინამიკური პრობლემა, რომელიც შეიძლება განვიხილოთ როგორც პოლიფაზური ნაკადის ჰიდროდინამიკის კერძო შემთხვევა. პოლიფაზური და ორფაზიანი ნაკადების ჰიდროდინამიკა განეკუთვნება

საერთო ჰიდროდინამიკის ყველაზე უფრო ნაკლებად დამუშავებულ ნაწილს.

მრავალწლიანი ცდებით შემუშავებულია ქარბუქზე ხელოვნური ზემოქმედების საშუალებები. ყველაზე უფრო ხშირად გამოიყენება ქარბუქის ზოლში მოწყობილი სხვადასხვა სახის ზღუდარები, რომლებიც იწვევენ თოვლის დეფლაციის შეწყვეტას ან მისი სიდიდის შემცირებას. რიგ შემთხვევაში ასეთ ზღუდარებს გააჩნიათ უკუ დანიშნულება, ქარბუქის ნაკადის დაჩქარება და მისი აკუმულაციის არ დაშვება.

ორივე შემთხვევაში ამ ზღუდარების კონფიგურაცია უნდა იყოს ისეთი გარსშემომდენი ფორმის, რათა მინიმალური დანახარჯებით მოხდეს მაქსიმალური ზეგავლენა თოვლით გაჯერებულ ქარის ნაკადზე, თუმცა დღეისათვის ცუდი გარსშემომდენი ფორმის მქონე ნაგებობათა ჰიდროდინამიკა თავის განვითარების ემბრიონალურ სტადიაშია.

ორფაზიან ნაკადში, რომელიც ქარბუქად იწოდება ერთადერთ მკვრივი ფაზის როლს უმეტესად ასრულებს თოვლი, მაგრამ ხშირია შემთხვევები, როდესაც ქარის მიერ თოვლთან ერთად გადაიტანება სხვადასხვა სახის გრუნტის ნაწილაკები.

ქარბუქის გამოკვლევა შეუძლებელია თოვლის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესწავლის გარეშე, რომელიც საფუძვლიანად განსხვავდება ქარის ნაკადის მიერ გადატანილი მინერალური ნაწილაკებისა და ორგანული შემესებების შესაბამისი თვისებებისაგან.

ქარბუქის ნაკადში არ შეიძლება უგულველყოთ ფაზებშორისი გადანაცვლება, რადგან თოვლის გადატანისას ადგილი აქვს მისი ნაწილის აორთქლებას. ამასთან ერთად საჭიროა ვიცოდეთ თოვლის ნაწილაკების ფორმა და ზომები, მათი მექანიკური სიმტკიცე. სხვადასხვა სახის თოვლის გრანულომეტრიული შემადგენლობა და ა.შ. ყველა ზემოთ აღნიშნული საკითხი დღეისათვის არასაკმარისადაა შესწავლილი.

პრობლემის პრაქტიკული შედეგების გამოყენებას დიდი მნიშვნელობა გააჩნია რკინიგზებისა და საავტომობილო გზების, სამრეწველო საწარმოთა, აეროდრომების, ქალაქებისა და დასახლებული პუნქტების, სასოფლო-სამეურნეო მელიორაციის,

გამოსახამთრებელი ნარგავების და ა.შ. თოვლით დანამქრისაგან დასაცავად.

ქარბუქის თეორიის შესწავლა მნიშვნელოვანია აგრეთვე თოვლის ზვავებთან ბრძოლის, ქალაქების წყლით მომარაგების, ჰიდროლოგიური პროგნოზირების, ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობისა და ა.შ. სფეროებში.

რკინიგზისა და საავტომობილო გზის ცალკეული უბნების ქარბუქის შედეგად დანამქრისაგან დამცავ ნაგებობათა დაპროექტებისა და მშენებლობისათვის აუცილებელია ქარბუქის მიერ გადატანილი თოვლის კანონზომიერების თეორიული საფუძვლების შესწავლა, გაანალიზება და შესაბამისი დასკვნების გამოტანა.

რკინიგზის ხაზის გამართულ და შეუფერხებლად მუშაობისათვის აუცილებელია მისი დაცვა თოვლისაგან. ისეთი მთაგორიანი ქვეყნისათვის, როგორცაა საქართველო თოვლთან ბრძოლას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. განსაკუთრებით რკინიგზის ის მონაკვეთები, რომლებიც გადის რთულ ტოპოგრაფიულ და კლიმატურ პირობებში წარმოადგენენ დანამქრის დიდ რისკებს. მარაბდა-ახალქალაქი-კარწახის ხაზი ერთ-ერთი ურთულესია თავისი კლიმატური, ტოპოგრაფიული გეოლოგიური პირობებით. როგორც ცნობილია, რკინიგზის ეს მონაკვეთი ერთ-ერთი შემადგენელი ნაწილია საერთაშორისო რკინიგზის ხაზის. ამიტომ დიდი ყურადღება უნდა მიექცეს მასზე მატარებლის შეუფერხებელ და უსაფრთხო მოძრაობის უზრუნველყოფას. ამ ხაზის ზოგიერთი მონაკვეთი ისე ინამქრება თოვლისაგან, რომ მოძრაობა იზღუდება 5-6 თვის მანძილზე. მხედველობაშია მისაღები ის გარემოებაც, რომ აღნიშნული რკინიგზის ხაზი გადის ზღვის დონიდან 2000 მ და მეტ სიმაღლეზე – ალპურ და სუბალპურ ზონებში, სადაც თოვლის საფარის სისქე მაღალია, დიდია აგრეთვე ქარის სიჩქარეც. ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია ლიანდაგის თოვლისაგან დაცვის რამოდენიმე ღონისძიებანი, რომელთა პრაქტიკაში გატარება მნიშვნელოვნად გაზრდის მატარებლის შეუფერხებელ და უსაფრთხო მოძრაობის პირობებს.

რკინიგზა უნდა მუშაობდეს გამართულად და შეუფერხებლად წელიწადისა და დღე-ღამის ნებისმიერ მონაკვეთში. თოვლი, რომელიც

ლიანდაგზე მოხვდება, მოძრავ შემადგენლობას უქმნის დამატებით წინაღობას, ამცირებს მოძრაობის სიჩქარეს, იზრდება ენერგეტიკული ხარჯები და საერთოდ რთულდება რკინიგზის საექსპლუატაციო მუშაობა. ამიტომ თოვლთან ბრძოლას, როგორც მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში, ჩვენთანაც დიდი ყურადღება ექცევა. თოვლთან ბრძოლის ხარჯები მნიშვნელოვან ნაწილს შეადგენს საერთო მომსახურების ხარჯებში (არანაკლები 20%). თოვლთან ბრძოლის საკითხი დაისვა მაშინ, როცა ექსპლუატაციაში შევიდა პირველი რკინიგზა. განსაკუთრებით აქტიურია ეს საკითხი ისეთ ქვეყნებში, სადაც რკინიგზა გადის რთულ ტოპოგრაფიულ და კლიმატურ პირობებში, როგორცაა რუსეთი, აშშ, შვეიცარია, ავსტრია, იაპონია, კანადა და სხვა.

ექსპლუატაციის განსაკუთრებულმა რთულმა პირობებმა ზამთრის პერიოდში რუსი მეცნიერების წინაშე დააყენა საკითხი, გამოემუშაებინათ ეფექტური ღონისძიებები ლიანდაგის თოვლისაგან დასაცავად. მათ მიერ შემუშავებული იქნა თოვლისაგან დამცავი საშუალებები, რომლებმაც საშუალება მისცა შეემცირებინა ხარჯები და მოძრაობის შეფერხების ლიკვიდაცია მოეხდინა. 1861 წელს პირველად იქნა გამოყენებული ცოცხალი ნარგავები თოვლის დანამქრის საწინააღმდეგოდ. 1863 წელს ინჟ. ტიტოვმა შექმნა დროებითი გადასატანი ფარები. 1877 წელს ნ. სრედინსკის მიერ პირველად იქნა გამოყენებული 7 ზოლიანი ცოცხალი ნარგავები. მე-19 საუკუნის ბოლოს ექსპლუატაციაში შევიდა მუდმივი თოვლდამცავი ღობეები.

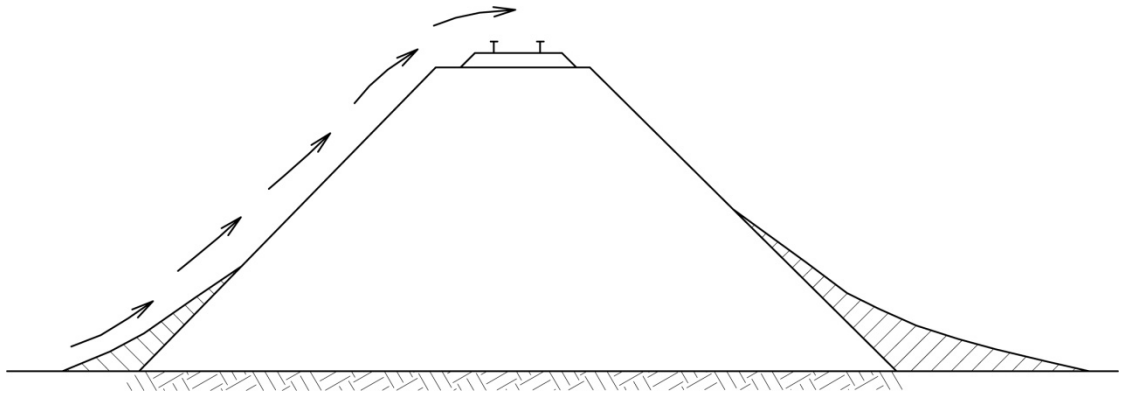
აშშ-ში დიდი ყურადღება ექცევა თოვლის მოვლენის შესწავლას, რაც განპირობებულია იმ გარემოებებით, რომ თოვლისაგან მიყენებული ზარალი ყოველწლიურად რამდენიმე ასეულ მილიონს აჭარბებს. მეორე მხრივ თოვლის მოვლენებისადმი ინტერესის გაზრდა გამოწვეულია იმითაც, რომ ინტენსიურად მიმდინარეობს მთლიანი რეგიონების ათვისება (ავტომაგისტრალების მშენებლობა, სამრეწველო კომპლექსი, დასასვენებელი სახლები და სხვა). თოვლის მოვლენების შესწავლით აშშ-ში დაკავებულია ათობით სამეცნიერო, საინჟინრო, სამხედრო და სამრეწველო დაწესებულებები. ბევრმა ამერიკელმა მეცნიერმა და

ინჟინერმა შეიმუშავეს ზვავსაწინააღმდეგო ნაგებობების გაანგარიშებისა და მოწყობის მეთოდები.

როგორც ცნობილია, ალპების ქვეყნებში დიდია თოვლისაგან მიყენებული ზარალი. ავსტრიაში გასული საუკუნის 50-იან წლებში მოხდა 2 კატასტროფული შემთხვევა, რომელთა მსხვერპლი შეიქმნა ასეულობით ადამიანი, უდიდესი მატერიალური ზარალი მიადგა ქვეყანას. ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 60-იან წლებში ვენაში დაარსდა ზვავსაწინააღმდეგო და თქემსაწინააღმდეგო ინსტიტუტი სატყეო სამსახურის დაქვემდებარებაში. ქვეყნის ყველა ზვავსაწინააღმდეგო რაიონებში ინსტიტუტს აქვს სექციები. ინსტიტუტის თანამშრომლების მიერ რეკომენდაციები შეიძლება ორ სახედ დაიყოს: ცოცხალი ნარგავების გაშენება და თოვლდამცავი ნაგებობების მშენებლობა. განსაკუთრებით კარგი მიღწევები აქვს ავსტრიულ მეცნიერებს ფერდობების გატყვიანების დარგში.

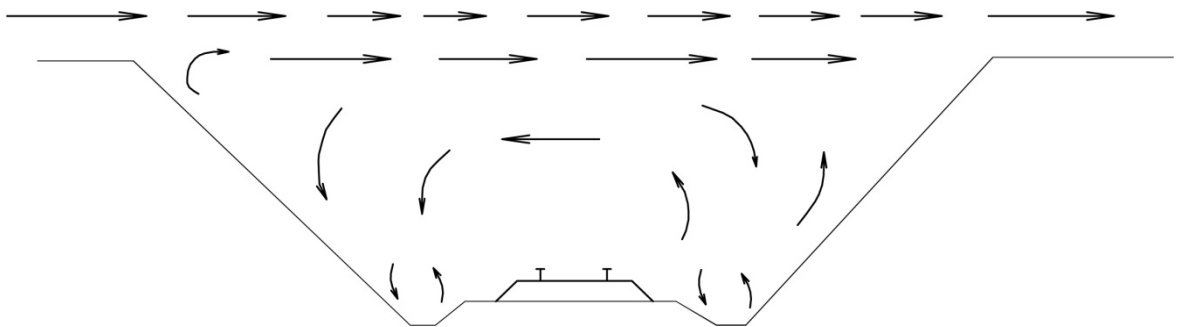
თოვისას რკინიგზის ლიანდაგი იფარება თანაბარი შრით. ეს გარემოება განსაკუთრებულ საშიშროებას არ წამოადგენს მოძრაობისათვის, მაგრამ ეს მოვლენა ზრდის მოძრაობის წინააღმდეგობას და თუ თოვლის სისქემ რელსის თავს 20 სმ-ით გადააჭარბა, მაშინ იქმნება საშიშროება მოძრავი შემადგენლობის ლიანდაგიდან გადავარდნისა. თოვლის გადატანა წარმოებს მაშინ, როცა ქარის სიჩქარე აღემატება 5 მ/წმ. ქარბუქი სერიოზულ საშიშროებას უქმნის მოძრაობას, ვინაიდან თუ ლიანდაგი არ არის დაცული, წარმოიქმნება თოვლის გორები.

თოვლით დანამქრაზე არსებით გავლენას ახდენს მიწის ვაკისის განივი პროფილი. თუ რკინიგზის ლიანდაგი მდებარეობს ყრილზე, რომლის სიმაღლე აღემატება თოვლის საფარის სისქეს 0.7 მეტრით, არ ინამქრება. ეს აიხსნება იმ გარემოებით, რომ ყრილი თავისთავად წარმოადგენს ბარიერს, რომელიც კუმშავს ქარბუქს და შესაბამისად ზრდის ყრილის ზემოთ ქარის სიჩქარეს. ყრილის ორივე მხარეს შეინიშნება თოვლის მონატანები (იხ. ნახ. 17) [24] [25].



ნახ. 17 ყრილის თოვლით დანამქრის სქემა

ჭრილები, რომელთა სიღრმე 0.4 მეტრს აღემატება ითვლება თოვლის დანამქრის მიხედვით საშიშ უბნებად. ეს გარემოება აიხსნება იმ გარემოებით, რომ თოვლის ნამქერი მიუახლოვდება თუ არა ჭრილს, ზუსტად ჭრილის თავზე გაიშლება, კარგავს სიჩქარეს და შესაბამისად ჭრილი ივსება თოვლით (ნახ. 18).



ნახ. 18 ჭრილის თოვლით დანამქრის სქემა

რკინიგზების დაპროექტებისას უნდა შევეცადოთ შევამციროთ იმ მონაკვეთების სიგრძეები, რომლებიც განლაგებულია ჭრილში და დაბალ ყრილზე. ყრილის მინიმალური სიმაღლე დადგინდება თოვლის მოსალოდნელი საფარის სისქის მიხედვით. მოშიშვლებულ ადგილებში გრძივი პროფილი მიზანშეწონილია დავაპროექტოთ ყრილის სახით. ყრილის სიმაღლე 0.7 მეტრით უნდა აღემატებოდეს თოვლის საფარის სისქეს (II და III კატეგორიებზე – 0.5 მეტრია). თოვლის მოსალოდნელი განმეორებადობა I კატეგორიაზე მიიღება 1:50 (2%), ხოლო II და III კატეგორიაზე 1:33 (3%).

თუ ყრილის სიმაღლე აღნიშნულ მოთხოვნებს არ აკმაყოფილებს, მაშინ პროექტით გათვალისწინებული უნდა იქნას თოვლსაწინააღმდეგო საშუალებები (ფარები, ღობეები, გალერეა და სხვა).

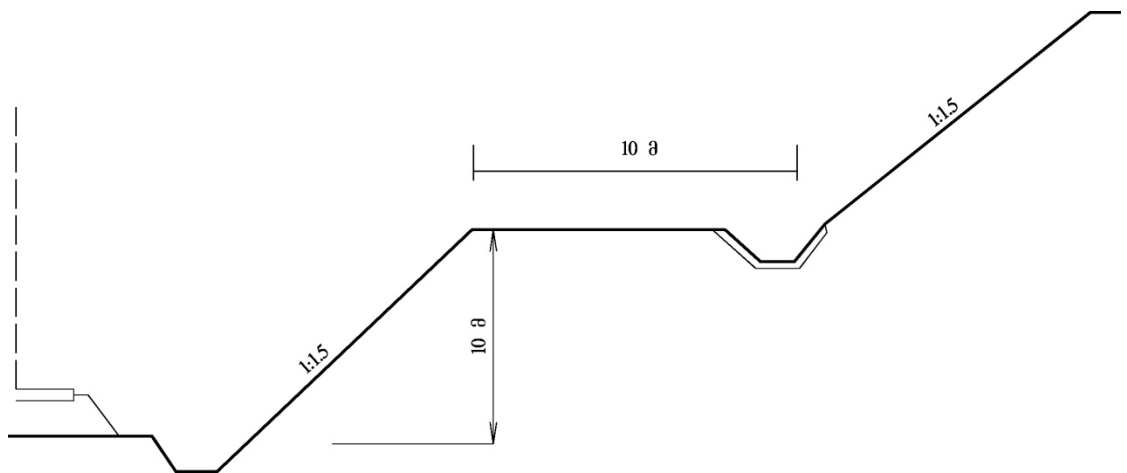
ჩვენი ქვეყანა მთაგორიანია. რკინიგზა გადის როგორც ბარში, ასევე მთიან რეგიონშიც. შესაბამისად ზეავესაშიში ადგილებიც ბევრია. მაგალითად სურამის უღელტეხილი და მარაბდა-ახალქალაქის მონაკვეთი. განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის ხაზი. ეს უბანი ექსპლუატაციაში შევიდა გასული საუკუნის 80-იან წლებში. მისი საერთო სიგრძეა 160 კმ. თავდაპირველად ის იყო ადგილობრივი დანიშნულების (III კატეგორიის). ის გადის ურთულეს ტოპოგრაფიულ და კლიმატურ პირობებში. მისი ზოგიერთი მონაკვეთი ზღვის დონიდან მდებარეობს 2000 მ და მეტ სიმაღლეზე (რაც უდიდესია ევროპის მასშტაბით). რაიონი უხვთოვლიანია. ალპური და სუბალპური ზონების გამო მცენარეული საფარი უმთავრესად არ არსებობს. მინიმალური საშუალო ტემპერატურა მერყეობს -2-5⁰-ის ფარგლებში. თოვლის საფარის მაქსიმალური სიმაღლე შეადგენს 12 მ. როგორც ცნობილია ეს რკინიგზის ხაზი გახდა საერთაშორისო რკინიგზის შემადგენელი ნაწილი. ამიტომ დღის წესრიგში დადგა მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის ხაზის რეაბილიტაცია-რეკონსტრუქცია და ახალქალაქი-კარწახის ახალი რკინიგზის ხაზის მშენებლობის საკითხი. მთავრობის დადგენილებით ხაზი ექსპლუატაციაში უნდა შევიდეს 2015 წლის ბოლოს.

მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის მონაკვეთზე გვხვდება ღრმა ჭრილები, რომლებიც ყველაზე საშიშ მონაკვეთს წარმოადგენს თოვლისაგან დანამქრის მიხედვით. თოვლისაგან დანამქრის გამო წელიწადში 6 თვე ხაზი უმოქმედოდ არის. დანამქვრა იმდენად ინტენსიურია, რომ ჭრილში დაგროვილი თოვლი მაისის შუა რიცხვებამდე არ დნება.

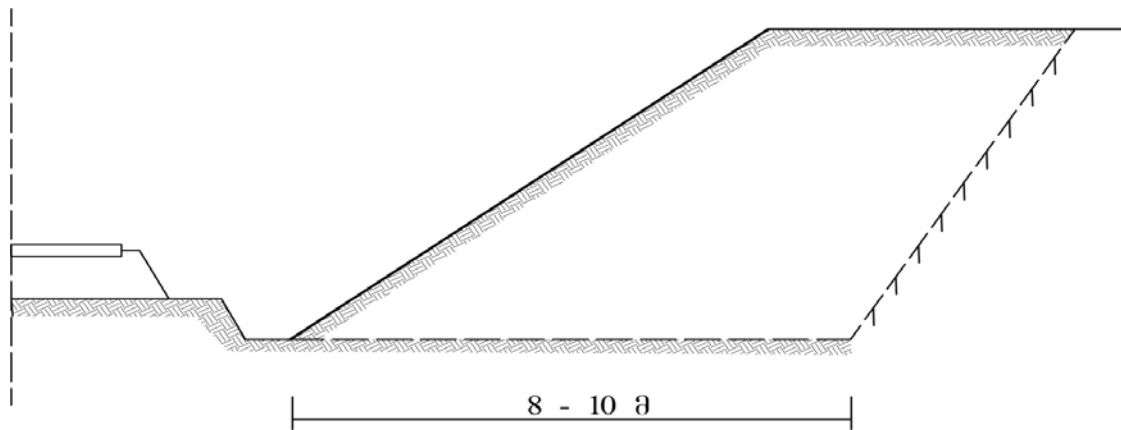
როგორც ცნობილია საქართველო უნდა გახდეს მოწინავე ტურისტული ქვეყანა. ამიტომ მომავალში უნდა აშენდეს როგორც რკინიგზის ხაზი, ასევე საავტომობილო გზებიც. ეს გზები ძირითადად გაივლიან მთიან პირობებში, ამიტომ ასეთი გზების თოვლისაგან დაცვას უდიდესი ყურადღება უნდა მიექცეს.

რაც შეეხება მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის თოვლისაგან დანამქრის ყველაზე საშიშ უბნებს (ღრმა ჭრილებს) – პროექტით გათვალისწინებულია ამ უბნებზე გაღერების მოწყობა, ხოლო რაც შეეხება ახალქალაქი-კარწახის მშენებარე უბანს ამ მონაკვეთზე გვაქვს თოვლისაგან დაცვის რამოდენიმე ღონისძიების შემოთავაზება:

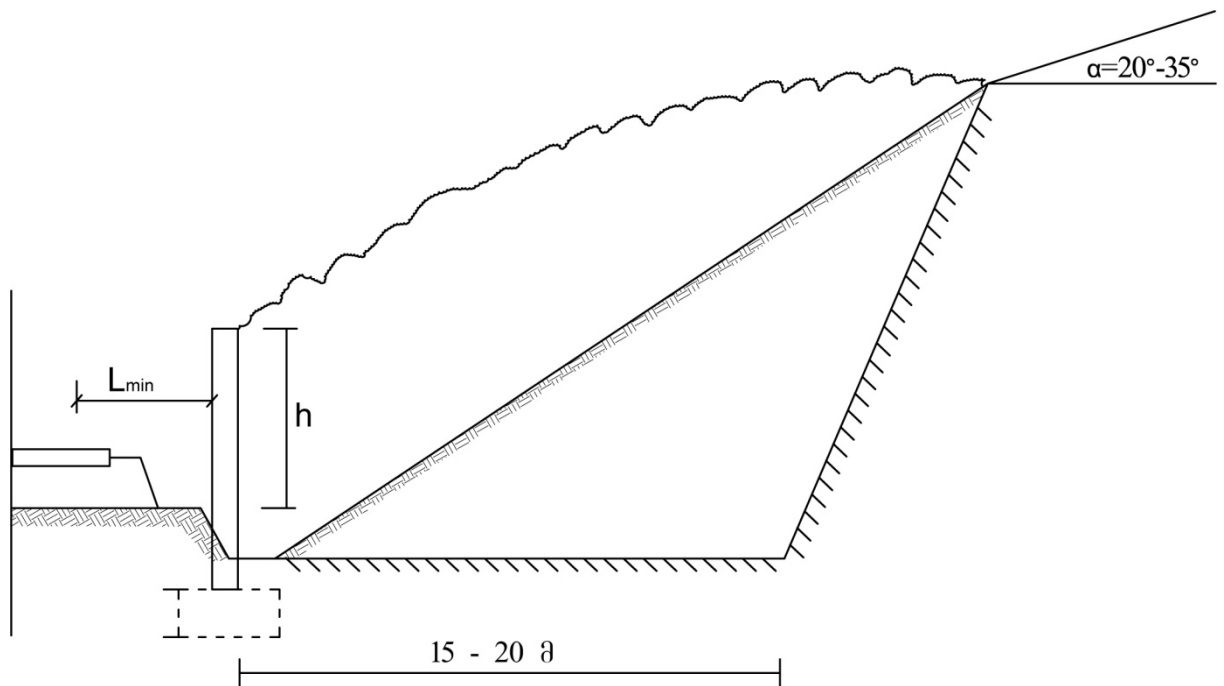
1. ღრმა ჭრილში (10 მ და მეტი) თაროების მოწყობა (თაროს სიგანე 10 მ), ნახ. 19;
2. ჭრილის ფერდობების ჩამოჭრა. ეს ღონისძიებები წარმატებით შეიძლება გამოვიყენოთ არა ღრმა ჭრილში (10 მეტრამდე). რკინიგზის ამ მონაკვეთზე ყრილის და ჭრილის მოცულობებს შორის დიდი დისბალანსი არსებობს (ჭრილის მოცულობა შეადგენს 274292 მ³, ყრილის 253037 მ³), ამიტომ მიზანშეწონილი იქნება ყრილის აგება ფერდობიდან ჩამოჭრილი გრუნტით (აქ უნდა გავითვალისწინოთ გრუნტის ზიდვის მანძილი ყრილამდე). ჩამოჭრის სიგანემ გრუნტის მოცულობის მიხედვით შეიძლება მიაღწიოს 10÷12 მ-ს. ნახ. 20;
3. კომბინირებული მეთოდი: თუ ფერდობის დახრა აღემატება 20÷35⁰, მაშინ უნდა გავითვალისწინოთ თოვლდამცავი კედელი, რომელიც ლიანდაგიდან მინიმალურ საგაბარიტო მანძილზე დაიდგმება (ნახ. 21).



ნახ. 19 ღრმა ჭრილებში ტერასების მოწყობის სქემა



ნახ. 20 ჭრილის ფერდობის ჩამოჭრის სქემა



ნახ. 21 თოვლდამცავი კედლის მოწყობის სქემა

ჭრილის ფერდობის დაქანება გრუნტის სახეობის მიხედვით შეიძლება იყოს 1:1.05 ან 1:1. ყველა შემთავაზებულ ღონისძიებებთან ერთად გათვალისწინებული უნდა იყოს თოვლდამცავი ნარგავების გაშენება.

4.1 რკინიგზის ტრასისა და პროფილის დაპროექტება თოვლდანამქრის თავიდან აცილების გათვალისწინებით

იმ უბნებზე, სადაც მოსალოდნელია თოვლით დანამქრა, რკინიგზის დაუნამქრავი მიწის ვაკისის მოწყობას გააჩნია აქტუალური მნიშვნელობა, რადგან თოვლით დანამქრა ხშირად ხდება მატარებელთა შემაფერხებელი და სახიფათო მოძრაობის გამომწვევი მიზეზი, ხოლო ექსპლუატაციის პერიოდში თოვლთან ბრძოლის პროცესი საჭიროებს დიდ დანახარჯებს.

რკინიგზების გეგმისა და პროფილის დაპროექტება ლიანდაგების თოვლით დანამქრისაგან აცილების გათვალისწინებით არასაკმარისადაა ასახული ტექნიკურ ლიტერატურაში და ნორმატიულ დოკუმენტაციებში.

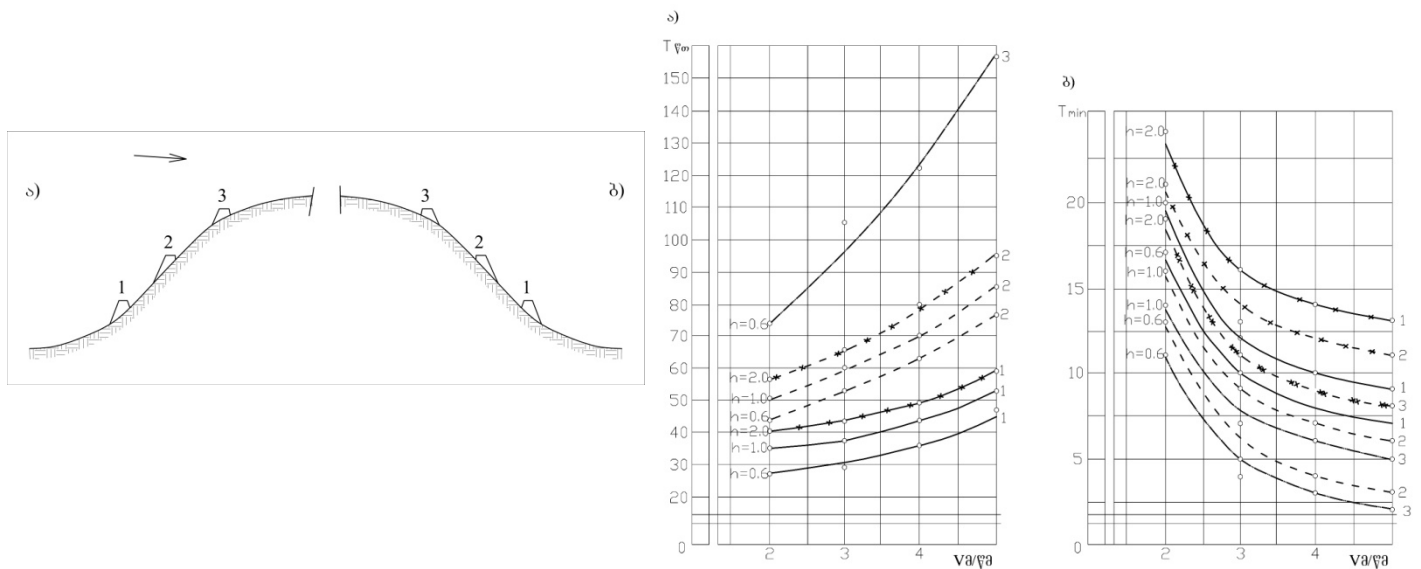
თოვლის გადატანა და დანამქრა დამოკიდებულია თოვლდამჭერი აუზის ფართზე, ლიანდაგის გრძივ პროფილსა და განივ კვეთებზე, უბნის გეოლოგიურ აგებულებაზე, მოსული თოვლის ინტენსივობასა და რაოდენობაზე, ზამთრის პერიოდის ხანგრძლივობაზე, ქარბუქიან დღეთა რიცხვზე, ქარის მიერ თოვლის გადატანის მიმართულებასა და სიჩქარეზე.

ადგილმდებარეობის რელიეფის ყოველგვარი ცვლილება იწვევს ქარის სიჩქარის ცვალებადობას მიწის ზედაპირზე. შემადღებული ადგილების გარსშემოვლისას ქარის სიჩქარე იზრდება, ხოლო ჩადაბლებული ადგილების გარსშემოვლისას მცირდება. პროფილის

მკვეთრად შეცვლის ადგილებში წარმოიქმნება ქარის სიჩქარის მინელების ან აგრიგალების ზონები (აეროდინამიური ჩრდილების ზონა). ქარის ცალკეული ნაკადის ჭავლში, რომელიც ხვდება აეროდინამიური ჩრდილის ზონაში, მცირდება სიჩქარე, ხოლო ზოგ შემთხვევაში ადგილი აქვს მათ უკუმოძრაობას. ამიტომ ქარბუქისა და მიწისპირა ქარის დროს ხდება აეროდინამიური ჩრდილოვანი ზონების ინტენსიური დანამქრა.

ფერდოზე ქარის ნაკადი ქვემოდან ზემოთ გადაადგილებისას განივ კვეთში თანდათან იკუმშება და მისი სიჩქარე იზრდება, ხოლო ქარის საწინააღმდეგო მხარეს მდებარე ფერდოზე ზემოდან ქვემოთ მოძრაობისას განივ კვეთში თანდათან ფართოვდება და მისი სიჩქარე კლებულობს.

ნახაზზე 22 წარმოდგენილია რკინიგზის მიწის ვაკისის შესაძლო განლაგებები ქარპირა ფერდოსა (ა) და მყუდრო-ქარზურგა ფერდოზე (ბ) და სხვადასხვა სიმაღლის ყრილების დანამქრის დროის სიჩქარის სიდიდეებიან დამოკიდებულების გრაფიკები.



ნახ. 22 რკინიგზის მიწის ვაკისის შესაძლო განლაგებები ქარპირა და ქარზურგა ფერდოებზე და შესაძლო დანამქრის გრაფიკები მათი სიმაღლისა და ქარის სიჩქარის სიდიდეთა მიხედვით

რკინიგზების ხაზის დაპროექტებისას იმ უბნებზე, სადაც მოსალოდნელია თოვლით დანამქრა, გარდა იმისა, რომ ტრასის სივრცე

და ძირითად სამუშაოთა მოცულობები უნდა იყოს მინიმალური, მატარებელთა შეუფერხებელი და უსაფრთხო მოძრაობის უზრუნველსაყოფად საჭიროა დაუნამქრავი ლიანდაგის მოწყობა.

ყველა სხვა თანაბარი პირობების შემთხვევაში რკინიგზის ხაზის დაპროექტებისას უზრუნველყოფილი უნდა იყოს ქარბუქისა და მიწის ზედაპირზე გადატანილი თოვლის მიწის ვაკისიდან აცილება ან მისი გადაჭერა რკინიგზის ხაზამდე.

ტყით განაშენებიან უბნებზე ლიანდაგი არ ინამქრება, ამიტომ ასეთ უბნებზე რკინიგზის გეგმისა და პროფილის დაპროექტება შეიძლება განხორციელდეს ყოველგვარი შეზღუდვის გარეშე, დადგენილი ნორმების მიხედვით, მაგრამ თოვლცვენისა და მიწის ვაკისზე არსებული თოვლის დნობის შედეგად წყლის დატბორვისაგან დასაცავად სასურველია მიწის ვაკისი დაპროექტდეს ყრილების სახით.

გაშლილ რელიეფზე, რომელიც თოვლით არ ინამქრება, ტრასა უნდა განლაგდეს ყრილებზე, რომელთა სიმაღლე უნდა განისაზღვროს ადგილმდებარეობის თავისებურებების მიხედვით.

ვაკე და სუსტად დასერილ რელიეფებზე რკინიგზის ტრასირებისას აუცილებელია ქარბუქის გაბატონებული მიმართულების დადგენა. ამ მხრივ მიზანშეწონილია ტრასის მიმართულება ემთხვეოდეს ქარბუქის მიმართულებას ან მისგან გადახრის კუთხის სიდიდე არ აღემატებოდეს 30°.

ქარის ლიანდაგის გრძივი ღერძის მიმართ 30°-დან 90°-მდე კუთხით მიმართულების შემთხვევაში საჭიროა ყრილის ისეთი სიმაღლე, რომელიც უზრუნველყოფს ლიანდაგის დანამქრისაგან დაცვას ან უნდა მოეწყოს თოვლგადამჭერი მოწყობილობები.

ყრილის მინიმალური სიმაღლე, როდესაც ტრასის გრძივი ღერძის მიმართულებასა და ქარის მიმართულებას შორის კუთხის სიდიდე არ აღემატება 30°-ს შეიძლება ვიანგარიშოთ ფორმულით:

$$H \geq h_{\text{თ.ბ.}} + h_0$$

ხოლო როდესაც ამ კუთხის სიდიდე 30°-დან 90°-მდეა:

$$H \geq h_{\text{თ.ბ.}} + h_0 + h$$

სადაც: $h_{\text{თ.ბ.}}$ - საპროექტო უბანზე თოვლის საფარის სისქეა, მ;

h_0 - თოვლის საფარის საშუალო სისქე, რომელიც გროვდება

ყრილის გასწვრივ ზამთრის პერიოდში ლიანდაგის
გაწმენდის შემდეგ, მ;

$h_{\text{ჰ}}$ - მიწის ვაკისის წარბას შემადგენელი თოვლის ყრილის
გასწვრივ არსებული ზედაპირიდან, რომლის მინიმალური
სიდიდე შეადგენს 0.5 მ.

ქარბუქის გავრცელების რაიონებში ჭრილები როგორც წესი
ექვემდებარებიან ინტენსიურ დანამქრას, გარდა იმ ჭრილებისა,
რომელთა სიგრძე არ აღემატება 400-500 მეტრს, რომლებიც
განლაგებული არიან სწორში და ქარბუქის მიმართულების
პარალელურად.

დაბალი ჭრილები ინამქრება უფრო სწრაფად, ვიდრე ღრმა
ჭრილები, მაგრამ მატარებელთა უსაფრთხო მოძრაობის თვალსაზრისით
ღრმა ჭრილები უფრო საშიშია, რადგან მათი გაწმენდა თოვლისაგან
გაცილებით რთულია, ამიტომ თოვლით დანამქრიან ადგილებზე
მინიმუმამდე უნდა შევამციროთ ჭრილების საერთო სიგრძე ან
გავითვალისწინოთ თოვლგადამჭერი მუდმივი ნაგებობების მოწყობა.

ხეობებში, რომელთა მიმართულება გაბატონებული ქარბუქის
მიმართულებას ემთხვევა, ტრასა არ ინამქრება, მაგრამ უნდა ვერიდოთ
გვერდით ხეობებში ჩაწერას, სადაც მოსალოდნელია ინტენსიური
დანამქრა, ხოლო როდესაც ქარი ხეობის განივად ქრის, ტრასა
უმჯობესია გადავიტანოთ ქარის საწინააღმდეგო ნაპირზე.

გამყოფი პუნქტების მოედნების მიმართულება უნდა ემთხვეოდეს
გაბატონებული ქარების მიმართულებას. მათი განლაგება ჭრილებში და
მრუდეებში უკიდურესად არასასურველია.

რკინიგზის ლიანდაგების თოვლით დანამქრის
კანონზომიერებების კვლევისა და ნატურალური დაკვირვებით
მიღებული გამოცდილებების ანალიზის საფუძველზე შესაძლებელი
გახდა გამოგვეტანა დასკვნები თოვლდამჭერ საშუალებათა
დაპროექტებისათვის საჭირო ძირითადი მონაცემების, მათი მუშაობის
ძირითადი პრინციპების შესახებ და დაგვედგინა გამოყენებულ
საშუალებათა დადებითი და უარყოფითი მხარეები.

არსებულ თოვლდამჭერ საშუალებათა ძირითადი ნაკლოვნებები
მათი თოვლით სწრაფად შევსება და დაზიანებაა, რაც იწვევს

ლიანდაგების დანამქრას, ხოლო ექსპლუატაციის დროს მათი ნამქრისგან გაწმენდა საჭიროებს დიდ შრომით და კაპიტალურ დანახარჯებს. ამიტომ მათი მუშაობის ეფექტურობის ამაღლების ერთ-ერთ ფაქტორს წარმოადგენს თოვლით გაჯერებული ქარის მოძრაობის მიმართ ისეთი პირობების შექმნა, როდესაც არ მოხდება თოვლდამცავების სწრაფი დანამქრა და გაიზრდება მათ მიერ გადაჭერილი თოვლის მოცულობა.

გაუმჭოლავი დამცავი ნაგებობის წინ ქარის ნაკადის მოძრაობა სწრაფად იცვლება. ნაგებობის წინ და უკან წარმოიქმნება მდგრადი გრიგალისებური ნაკადი, ნაგებობის უკან მიწის ზედაპირზე ქარის სიჩქარე იძენს უკუმიმართულებას, რის გამოც გაუმჭოლავი ნაგებობა სწრაფად და მცირე მოცულობის თოვლით ინამქრება.

გისოსოვანი-გამჭოლი ტიპის ნაგებობები მნიშვნელოვნად ამცირებენ გარვეულ სიდიდემდე გაუმჭოლავ ნაგებობათა დანაკლისს, მაგრამ მთლიანად ვერ ხერხდება ამ დანაკლისის აღმოფხვრა. პრაქტიკული დაკვირვებით დადგენილია, რომ რაც უფრო მეტია ნაგებობის ტანში გამჭოლი ღრეხოების სიდიდე მით უფრო გრძელი და დახრილი ფორმა გააჩნია მათ მიერ გადაჭერილ თოვლის ყრილს და შესაბამისად მეტია მისი მოცულობა.

ლიანდაგის თოვლით დამაქრისაგან დამცავი ღონისძიებების დასაპროექტებლად საჭიროა შემდეგი მონაცემები:

- უბნის გეგმა ჰორიზონტალებში;
- ლიანდაგის გრძივი პროფილი და განივი კვეთები;
- თოვლშემკრები აუზის ფართობი;
- უბნის გეოლოგიური აგებულება;
- მოსული თოვლის ინტენსივობა და რაოდენობა;
- ზამთრის პერიოდის ხანგრძლივობა;
- ქარბუქიანი დღეების რიცხვი;
- თოვლის გადატანის მიმართულება და სიჩქარე.

თოთოეული უბნისათვის ზემოთაღნიშნულ მონაცემების საფუძველზე განისაზღვრება ქარის მიერ თოვლის გადატანის ვარდულა რუმბების მიხედვით, რომლებიც გვიჩვენებენ ყველაზე უფრო დიდი

რაოდენობით გადატანილი თოვლის მიმართულებას. ამ მონაცემების მიხედვით ხდება უბნების კლასიფიკაცია მათი თოვლით დანამქრის ხარისხისა და კატეგორიის მიხედვით.

თოვლდამჭერ ნაგებობათა შეფასების ხასიათისა და ხარისხის განხილვისას აუცილებელია დავადგინოთ ნაგებობის ტანში გამავალი თოვლის მოცულობა, რათა მათ მიერ არ მოხდეს იმ სიდიდის თოვლის გატარება, რომელიც გამოიწვევს ლიანდაგის დანამქრას.

ნაგებობის უკან თოვლით გაჯერებული ქარის ნაკადიდან ამოგდებული თოვლის რაოდენობა ტოლია კვეთებში თოვლის გადატანის ინტენსიურობისა, რომელიც გამოწვეულია ქარის სიჩქარის შემცირებით და გაიანგარიშება ფორმულით:

$$\Delta q = \alpha [(v_1 - v_0)^3 - (v_2 - v_0)^3] \quad (4.12)$$

სადაც: α - კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს თოვლის გადატანის საწყის პირობებს;

v_1 - ქარის სიჩქარე შემცირებამდე (მინდვრის ან ველის პირობებში);

v_2 - ქარის სიჩქარე შემცირების შემდეგ (ნაგებობით გამოწვეული წინაღობის შემდეგ);

v_0 - ქარის ის სიჩქარე რომელიც შეესაბამება თოვლის გადატანის დასაწყისს.

თუ დავუშვებთ, რომ v_0 , v_1 და α -ს სიდიდეები მუდმივია, ხოლო $v_2 = f(l)$, სადაც l - არის მანძილი წერტილიდან როდესაც ქარის სიჩქარე იწყებს კლებას, წერტილამდე როდესაც ქარის სიჩქარე იწყებს გაზრდას, მაშინ თოვლის ყრილის ნამატის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით:

$$\Delta h = \frac{1}{\sigma} \left[\frac{d\Delta q}{dl} \right] = -\frac{3\alpha}{\sigma} (v_2 - v_0)^2 \frac{dv_2}{dl} \quad (4.13)$$

სადაც: σ - არის დანალექი თოვლის სიმკვრივე, ტ/მ³

თოვლის მაქსიმალური სიდიდით შემადგენელი ადგილი ანუ თოვლის ყრილის წვეროს ფორმირების წერტილი ნაგებობის მუშაობის საწყისი მომენტისათვის განისაზღვრება შემდეგი განტოლებით:

$$\frac{d \Delta h}{dl} = \frac{3\alpha}{\sigma} (v_2 - v_0) \left[2 \left(\frac{dv_2}{dl} \right)^2 + (v_2 - v_0) \frac{d^2 v_2}{dl^2} \right] = 0$$

აქედან $\frac{d^2 v_2}{dl^2} = -2 \frac{\left(\frac{dv_2}{dl} \right)^2}{v_2 - v_0}$ (4.14)

სადაც: $v_2 > v_0$, ხოლო $\frac{d^2 v_2}{dl^2}$ - უარყოფითი სიდიდეა, ამიტომ თოვლის ყრილის წვერო, რომელიც განისაზღვრება (4.13) ფორმულით გვაძლევს საშუალებას დავასკვნათ, რომ დამცავი ნაგებობა სწრაფად რომ არ შეივსოს, აუცილებელია ქარის სიჩქარის მრუდს ჰქონდეს მდოვრე მოხაზულობა სიჩქარის დაცემის საწყისი წერტილიდან მისი მინიმალური მნიშვნელობის სიდიდის წერტილამდე. ამასთან ერთად რათა არ მოხდეს ნაგებობის სწრაფად დანამქრა აუცილებელია ქარის სიჩქარის მინიმალური სიდიდის წერტილი მაქსიმალურად დავაშოროთ დამცავი ნაგებობებიდან.

ამრიგად იმისათვის, რომ ნაგებობის უკან ქარის სიჩქარის მრუდს ჰქონდეს მდოვრე მოხაზულობა საჭიროა გამჭოლი სახის ანუ მეჩხეროვანი მოლარტყვის მქონე ნაგებობის მოწყობა. გამჭოლი სიცარიელები შეიძლება მოეწყოს როგორც მიწის ზედაპირსა და ნაგებობის ქვედა წიბოს შორის, ასევე მის ტანში ან ორივე ამ კომბინაციის სახით.

დამცავი ნაგებობის ქვედა ნაწილსა და მის ტანში გამჭოლი სიცარიელების დატოვება წარმოადგენს თოვლდამჭერი მოწყობილობის ეფექტური მუშაობის უზრუნველყოფის საშუალებას, მაგრამ ამ სიცარიელებში გატარებული თოვლის სიდიდემ არ უნდა შექმნას ლიანდაგების დანამქრის საფრთხე.

დამცავი ნაგებობის უკან ქარის ნაკადის მინიმალური სიჩქარე თოვლდასილვის მაქსიმუმის პირობით განისაზღვრება (4.12) ფორმულის საშუალებით.

თუ დავუშვებთ, რომ v_2 - სიდიდე შეესაბამება ქარის მაქსიმალური სიდიდით დაცემის წერტილს, მაშინ:

$$\frac{d \Delta q}{dv_2} = 3\alpha (v_2 - v_0)^2 = 0 \quad \text{აქედან } v_2 = v_{min} = v_0 \quad (4.15)$$

როგორც წარმოდგენილიდან ჩანს თოვლით დასილვის უდიდესი სიდიდის მისაღწევად აუცილებელი არ არის ნაგებობის უკან ქარის სიჩქარის მთლიანი ჩახშობა. ამისთვის საკმარისია, რომ ველზე არსებული ქარის სიჩქარე შევამციროთ ქარის მიერ თოვლის გადატანის დასაწყისის სიჩქარემდე.

(4.15) ფორმულით დგინდება თოვლით გაუქვნილი ქარის ნაკადიდან თოვლის მთლიანი ამოგდების პირობა ქარის სიჩქარის დაწვევის დროს.

დამცავი ნაგებობის უკან ქარის მაქსიმალურად დასაშვები სიჩქარე განისაზღვრება იმასთან დამოკიდებულებით, თუ თოვლის რა პროცენტის გატარებაა არასასურველი დამცავი ზონის უკან. თუ დავუშვებთ, რომ თოვლდამცავის მუშაობის დასაწყისში თოვლის გატარების სიდიდე 5%-ია მაშინ:

$$\frac{Q_{min}}{Q_{max}} \leq 0.05 \text{ ან } \frac{(v_{min} - v_0)^3}{(v_{max} - v_0)^3} \leq 0.05 \quad (4.16)$$

ანუ ნაგებობის უკან ქარის მაქსიმალური სიჩქარის სიდიდე მიწის ზედაპირის შრეზე განისაზღვრება უტოლობით:

$$v_0 \leq v_{min} \leq 0.45 \quad (4.17)$$

ამრიგად, 4.15 და 4.17 დამოკიდებულებებით დგინდება ის საერთო პირობები, რომლებიც ხელს უწყობს თოვლდამცავის დროის დიდი ხნის განმავლობაში შევსებას და უზრუნველყოფს მაქსიმალური სიდიდის თოვლის გადაჭერას.

ზემოთ განხილული მოთხოვნები, თოვლდამჭერი მოწყობილობების მიერ თოვლის მინიმალური სიდიდის გატარებისა და მის უკან თოვლის მაქსიმალური მოცულობის გადაჭერისა, განეკუთვნება ერთრიგიან თოვლდამცავ მოწყობილობას.

მრავალრიგიანი თოვლდამცავი მოწყობილობების შემთხვევაში (4.12) ფორმულით გაანგარიშების შედეგად ვიღებთ ქარის სიჩქარის შემცირებისას თოვლით დასილვის სიდიდეთა მნიშვნელობებს, რომლებიც წარმოდგენილია ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში 18.

დამოკიდებულება მრავალრიგიანი თოვლდამცავი მოწყობილობების გამოყენებისას ქარის სიჩქარის შემცირების სიდიდისა და თოვლით დანამქრას შორის პროცენტებში

$\Delta v\%$	10	20	40	60	80	100
$\Delta q\%$	35	60	87	95	100	100

მიღებული მონაცემებიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ქარის პირველსაწყისი სიჩქარის შედარებით მცირე სიდიდით შემცირებაც კი ხელს უწყობს ნაკადიდან მნიშვნელოვანი რაოდენობის თოვლის გადაჭერას.

არსებული მეთოდებით გაანგარიშებისას მრავალრიგიანი დაცვის თითოეულ რიგს გააჩნია ერთიდაიგივე სიდიდის ღრეხობი და ამ პირობებში თოვლის ყრილი ისილება (ინამქრება) პირველივე რიგის უკან და მხოლოდ თოვლის უმნიშვნელო ნაწილი მიემართება მეორე რიგისაკენ.

ზემოაღნიშნული თავისებურებებიდან გამომდინარე ორ და მეტ რიგიანი თოვლდამჭერების მოწყობისას პირველი რიგი შეიძლება მოეწყოს მეტი სიდიდის ღრეხობით ანუ მეტი სიდიდის გამჭოლი სიცარიელებით. ამ შემთხვევაში თოვლის ყრილს თოვლდამცავ რიგების უკან ექნება მეტი სიგრძე და დამრეცი ქანობი.

4.2 ლიანდაგის თოვლით დანამქრისაგან დამცავი ღონისძიებები ახალმშენებარე რკინიგზის უბანზე ახალქალაქი-კარწახი - თურქეთის რესპუბლიკის საზღვარი

ახალმშენებარე რკინიგზის უბანზე ახალქალაქი-თურქეთის რესპუბლიკის საზღვარზე მატარებელთა უსაფრთხო და შეუფერხებელი მოძრაობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ლიანდაგის თოვლით დანამქრისაგან დამცავ და ქარბუქიან დღეებში თოვლისაგან ლიანდაგების დროული გაწმენდის ღონისძიებათა განხორციელებაზე.

სარკინიგზო ლიანდაგის სიგრძე სადგურ ახალქალაქიდან თურქეთის რესპუბლიკის საზღვრამდე შეადგენს 22 კმ-ს, აქედან სხვადასხვა კატეგორიისა და ხარისხის მქონე მონაკვეთები სიგრძით სვლის მიმართულების მარჯვენა მხარეს ≈ 12 კმ, ხოლო მარცხენა მხარეს ≈ 6.6 კმ ექვემდებარება თოვლით დანამქრისაგან დაცვას.

ჩვენს მიერ თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევების საფუძველზე შემუშავებულია აღნიშნულ უბანზე ლიანდაგის თოვლით დანამქრის საწინააღმდეგო ღონისძიებანი, რომლებიც ითვალისწინებენ დამცავი ტყის ზოლის (ცოცხალი დაცვა), გადასატანი ფარებისა და გისოსის მუდმივი დობების მოწყობას.

თოვლით დანამქრისათვის დამცავ ყველა ზემოთაღნიშნული სახეების მოქმედების პრინციპი ეფუძნება თოვლით გადაკრებული ქარის ნაკადის მიმართ წინაღობით გამოწვეული ნაკადის სიჩქარის შემცირებას, ამ ნაკადიდან თოვლის ამოგდებას, მის დალექვასა და ნაგებობების წინ თოვლის საფარის წარმოქმნას.

თოვლდამცავი ტყის ნარგავები და ნაგებობების შერჩევა ხდებოდა შემდეგი ძირითადი მოთხოვნათა გათვალისწინებით:

- ნაგებობის მიერ ქარბუქით გადატანილი თოვლის მაქსიმალური რაოდენობის შეკავება;
- ნაგებობები არ უნდა ექვემდებარებოდნენ დაზიანებას თოვლის მაქსიმალური სიდიდის შეკავებისას;

- ნაგებობების მოწყობა არ უნდა საჭიროებდნენ დიდ კაპიტალურ და მიმდინარე საექსპლუატაციო დანახარჯებს;
- სხვა ყველა თანაბარი პირობებისათვის მათ უნდა ჰქონდეთ საუკეთესო თოვლშეკავების თვისებები.

როგორც ცნობილია თოვლით დანამქრისაგან რკინიგზის დასაცავად ყველაზე უფრო ეფექტური და ეკონომიურია ტყენარგავების ზოლის მოწყობა, რომელიც საჭიროებს მინიმალურ შრომით და მატერიალურ დანახარჯებს.

ტექნიკურ-ეკონომიური გაანგარიშებებით დადგენილია, რომ 1 კმ სიგრძის ლიანდაგის დანამქრისაგან ტყენარგავებით დაცვა საჭიროებს 6-7-ჯერ ნაკლებ დანახარჯებს, ვიდრე ამავე სიგრძის უბნის დაცვა გადასატანი ფარების საშუალებით.

ტყენარგავები, რომლებიც განლაგებულია რკინიგზის ხაზის გასწვრივ გარდა იმისა, რომ იცავენ ლიანდაგებს თოვლით დანამქრისაგან, ამცირებენ ქარის სიჩქარეს, რითაც ამცირებენ მატარებელთა მოძრაობის წინაღობას, თავიდან იცილებენ ბალასტის პრიზმის გატყუყვიანებასა და მცირე ფრაქციების გამოქრევებს.

თოვლდამცავი ტყენარგავების მოწყობისას მნიშვნელოვან საკითხს წარმოადგენს თოვლდამცავი ტყენარგავების ხის ჯიშისა და ბუჩქნარის ასორტიმენტის შერჩევა. შერჩევა ხდებოდა საიმედო და სწრაფმზარდი კომპლექსების მიხედვით, ადგილმდებარეობის, ნიადაგისა და კლიმატური პირობების გათვალისწინებით.

იმ მონაკვეთებზე, სადაც ადგილმდებარეობის, ნიადაგისა და სხვა პირობების გამო ტყენარგავებით დამცავი ზოლის მოწყობა ვერ ხერხდებოდა თოვლისაგან დასაცავად, გათვალისწინებული იქნა მუდმივი ღობეების, მსუბუქი ან გადასატანი ფარების მოწყობა.

ყველა კონკრეტული უბნისათვის თოვლით დანამქრისაგან დამცავი ღონისძიებათა შერჩევა ხდებოდა შესაძლო სხვადასხვა ვარიანტის ტექნიკურ-ეკონომიური და ეკოლოგიური მაჩვენებლების შედარების საფუძველზე მატარებელთა შეუფერხებელი მოძრაობის უზრუნველყოფისა და ექსპლუატაციის დროს შრომითი პირობების გაუმჯობესების გათვალისწინებით.

თოვლისაგან დამცავ საშუალებათა გაანგარიშება და დაპროექტება განხორციელდა ქარის მიერ თოვლის გადატანისა და წინაღობის ადგილებში მისი დაგროვების კანონზომიერების, ანუ თოვლითნაჯერი ქარის ნაკადის იმ ძირითადი თვისებების დადგენის შემდეგ, როგორებიცაა: ზამთრის ხანგრძლივობა, ქარბუქიანი დღეების რიცხვი, თოვლშემკრები მოედნის ფართობი, მიმდებარე ტერიტორიის კონფიგურაცია, თოვლის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები, გაბატონებული ქარის მიმართულება, თოვლის გადატანის ინტენსიურობა და ა.შ.

ლიანდაგის თოვლით დანამქრილი უბნები ხასიათდებიან ორი ძირითადი მახვენებლებით:

დანამქრის კატეგორია, რომელიც დამოკიდებულია ლიანდაგის გეგმასა და პროფილზე, ქარის სიჩქარესა და მიმართულებაზე, ადგილმდებარეობის რელიეფზე, თოვლცვენის ინტენსიურობასა და რაოდენობაზე, ზამთრის ხანგრძლივობასა და წლის განმავლობაში ქარბუქიან დღეთა რიცხვზე.

დანამქრის ხარისხი, რომელიც განისაზღვრა ქარბუქის მიერ წლის განმავლობაში ლიანდაგის 1 გრ. მეტრზე მოტანილი თოვლის მოცულობით 15-20 წლიანი განმეორებადობისათვის და რომლის მიხედვით ხდებოდა თოვლდამცავი შემოღობვის ტიპისა და მის მიერ თოვლის დაგროვების შესაძლო რაოდენობის დადგენა.

თოვლით დანამქრის კატეგორიის მიხედვით რკინიგზის ლიანდაგის შემოფარგვლა ხორციელდებოდა შემდეგი რიგითობით:

პირველ რიგში – 1-ლი კატეგორიის დანამქრის ისეთი ადგილები, როგორებიცაა ჭრილები სიღრმით 0.4 მეტრიდან 8 მ და მეტი; ნულოვანი ადგილები, რომლებიც განლაგებულია დამრეც ფერდოზე; გადასარბენის ის ლიანდაგები, რომლებიც განლაგებულია სხვადასხვა დონეზე; სადგურისა და კვანძების ტერიტორიები.

მეორე რიგში – მე-2 კატეგორიის დანამქრიანი ადგილები, როგორებიცაა: ჭრილები სიღრმით 0.4 მეტრამდე და ნულოვანი ადგილები.

მესამე რიგში – მე-3 კატეგორიის დამანქრიანი ადგილები, როგორებიცაა: ყრილები სიმაღლით 0.7 მეტრამდე ვაკე ადგილზე და 1 მ სიმაღლემდე დამრეც ფერდოზე.

თოვლით დანამქრისაგან დამცავი შემოღობვის ტიპი და სიმძლავრე შეირჩა ისე, რომ გამორიცხულიყო ქარბუქის მიერ თოვლის ნატანის ლიანდაგზე დაგროვება.

თოვლით დანამქრისაგან ლიანდაგის დამცავი საშუალება და სახეები შეირჩა ცხრილში 19 წარმოდგენილი მონაცემების მიხედვითა და ადგილმდებარეობის პირობების გათვალისწინებით.

ცხრილი 19

თოვლით დანამქრით დაფარვის უბნების კლასიფიკაცია

დანამქრის ჯგუფი	დანამქრიანი უბნების დახასიათება, ლიანდაგის დაცვის საშუალებები და მეთოდები	თოვლის რაოდენობა, მ ³ /გ.მ
1.	სუსტად დანამქრიანი უბნები ერთი-ორზოლიანი ტყის ნარგავები; თანაბარ ღრეჩოიანი ფარები; ფარები გამჭოლი ქვედა ნაწილით.	100-მდე
2.	საშუალოდ დანამქრიანი უბნები ორ-სამ ზოლიანი ტყის ნარგავები; მუდმივი ღობე სიმაღლით არაუმეტეს 5.5 მ; მსუბუქი გამარტივებული ტიპის ღობე სიმაღლით 4-5 მ.	101-დან 300-მდე
3.	ძლიერ დანამქრიანი უბნები სამ-ოთხზოლიანი ტყის ნარგავები; ერთ-ორრიგიანი მუდმივი ღობეები სიმაღლით 5.5 მ-მდე; მსუბუქი ტიპის ღობე 5 მ სიმაღლით; დამატებითი ღობე 60-70% გამჭოლობით.	301-დან 600- მდე
4.	განსაკუთრებით ძლიერ დანამქრის უბნები ოთხ და მეტზოლიანი ტყის ნარგავები; მუდმივი ღობეების ორი რიგი სიმაღლით 5.5 მ-მდე, ან მსუბუქი ტიპის ღობეების სიმაღლით 5 მ-მდე; თოვლის გადამეტბერვადი ღობეები; მიწის ვაკისის თოვლით დაუნამქვრიან უბნის პროფილის მოწყობა.	600-ზე მეტი

ლიანდაგის თოვლით დანამქრისაგან დამცავ საშუალებათა შერჩევისა და განლაგების დასადგენად თითოეული კონკრეტული უბნისათვის შედგა ქარის ვარდულა, რომელიც მიბმული იქნა რკინიგზის ხაზის მიმართულებასთან. ქარის ვარდულა აიგო უახლოესი

მეტეოსადგურების, ახალქალაქისა და კარწახის მეტეოსადგურის მონაცემების მიხედვით.

ქარის ვარდულის (ქარის სიჩქარე და მიმართულება) აგების შემდეგ დადგინდა ზამთრის ხანგრძლივობა, თოვლის საფარიანი ფართობების სიდიდეები, მიმდებარე ტერიტორიის მახასიათებლები, ქარბუქიანი დღეების რიცხვი, მოსული თოვლის ინტენსივობა, რომელთა საფუძველზე აიგო თოვლის გადატანის ვარდულები.

თოვლის ის მაქსიმალური რაოდენობა, რომელიც ქარის მიერ გადაიტანება ზამთრის პერიოდში შემოდგომის ხაზთან გაანგარიშდა ფორმულით 4.18:

$$S = \frac{1}{10^4 P} \left(\sum_1^n i_1 t_1 \sin \alpha_1 + \sum_1^n i_2 t_2 \sin \alpha_2 + \sum_1^n i_n t_n \sin \alpha_n \right) = \frac{1}{10^4 P} \sum_1^n \sum_1^n i t \sin \alpha \quad (4.18)$$

სადაც: P არის ქარის მიერ გადატანილი თოვლის მოცულობითი წონა, გრ/სმ³;

P=0.15 გრ/სმ³, შემკვრივების გათვალისწინებით P=0.3 გრ/სმ³;

i – თოვლის გადატანის ინტენსივობა, მოცემული სიჩქარისათვის, გრ/წუთ.სმ;

t – თოვლის გადატანის ხანგრძლივობა, მოცემული მიმართულებით, წთ;

α – კუთხე თოვლის გადატანის მიმართულებასა და თოვლისაგან დამცავ ნაგებობას შორის;

n – სხვადასხვა ინტენსივობით გადატანილი თოვლის შემთხვევათა რიცხვი;

$\frac{1}{10^4}$ – ფორმულაში შემავალ სხვადასხვა განზომილებათა გადამყვანი კოეფიციენტი.

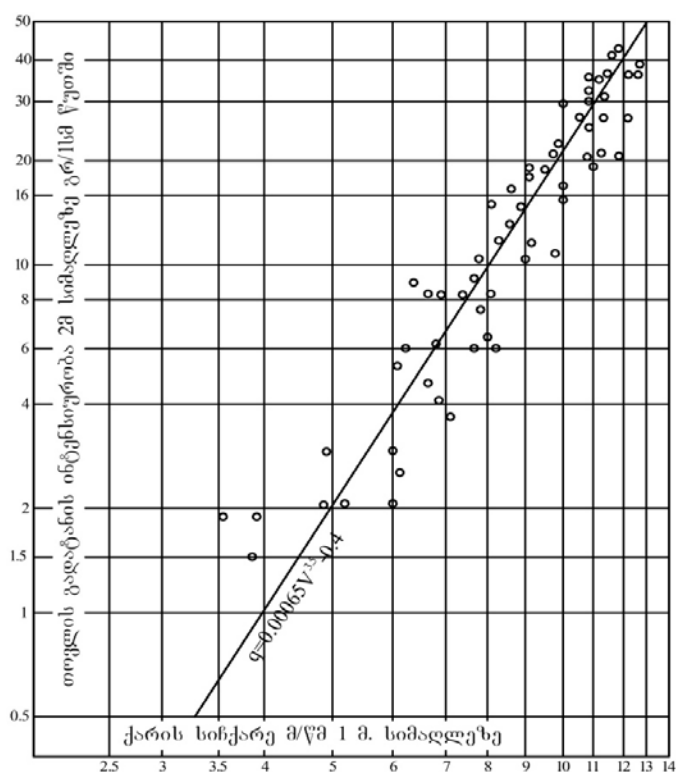
თოვლის გადატანის ინტენსიურობა განისაზღვრა ფორმულით $i=CV^3$

სადაც: V არის ქარის სიჩქარე ფლიუგერის მიხედვით, მ/წმ;

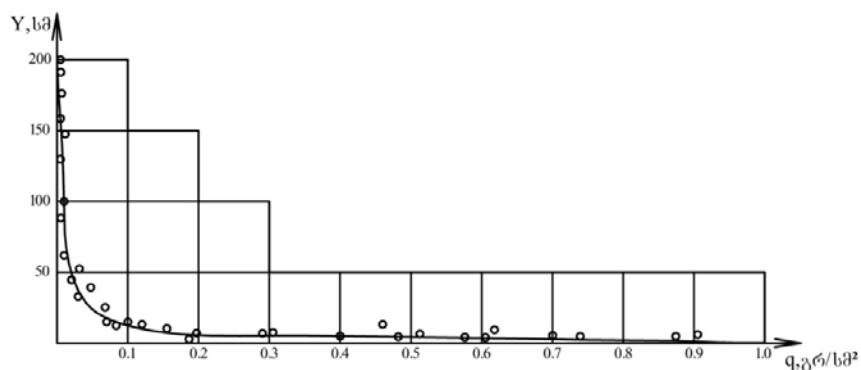
C – პროპორციულობის კოეფიციენტი, C=0.013.

დამცავ მოწყობილობათა მიერ თოვლშეკავების გაანგარიშებისას მხედველობაში არ იქნა მიღებული ქარი დადებითი ტემპერატურისას, 6 მ/წმ-ზე ნაკლები სიჩქარისას, ქარი რომელიც დამცავი შემოდობის მიმართულებასთან ადგენდა 30⁰-იანზე ნაკლებ კუთხეს და ქარი, შემდობავი ნაგებობის საწინააღმდეგო მხრიდან.

ექსპერიმენტების საშუალებით დადგინდა დამოკიდებულება ქვემო ქარბუქის შემთხვევაში ქარის სიჩქარესა და თოვლის გადატანის ინტენსივობას შორის და გადატანილი თოვლის ხარჯის გადანაწილება სიმაღლის მიხედვით, რომელიც წარმოდგენილია 23-ე და 24-ე ნახაზზე.

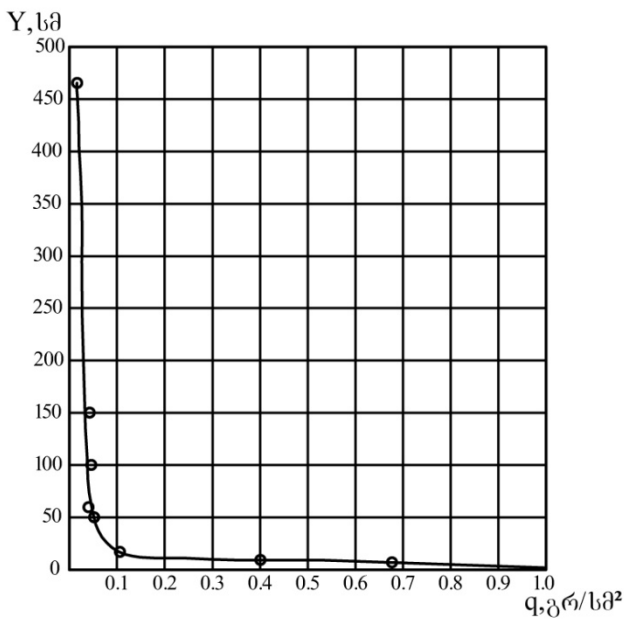


ნახ. 23 დამოკიდებულება ქარის სიჩქარისა და თოვლის გადატანის ინტენსიურობას შორის (ლოგარითმულ კოორდინატებში)



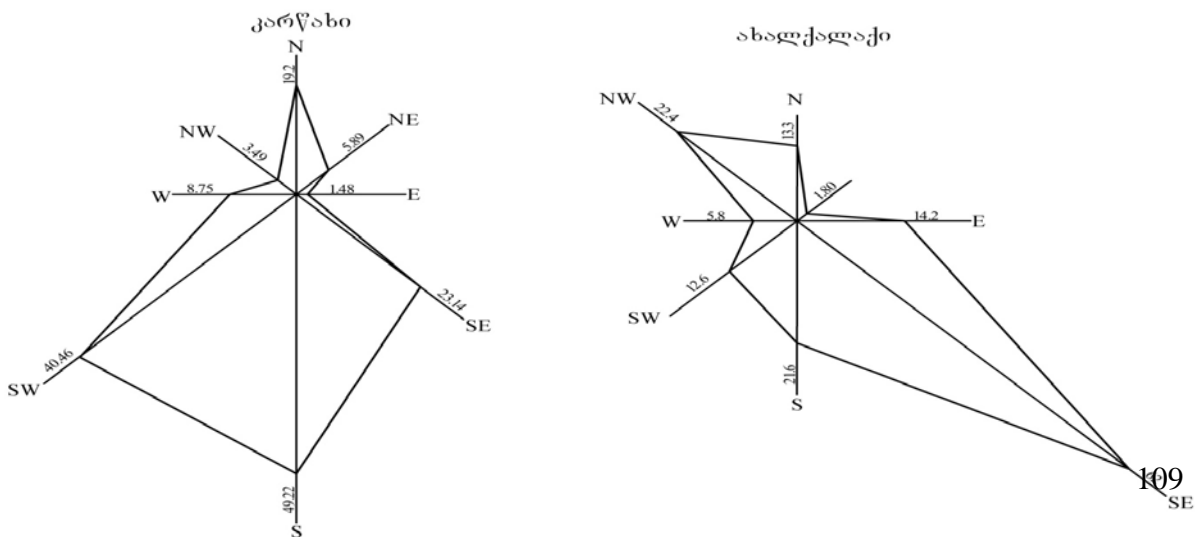
ნახ. 24 თოვლის ხარჯის გადანაწილება სიმაღლის მიხედვით ქვემო ქარბუქის შემთხვევაში

გადანაწილება გადატანილი თოვლის ხარჯისა სიმაღლის მიხედვით ზემო (საერთო) ქარბუქის შემთხვევაში, როდესაც ქარის სიჩქარე შეადგენს 6 მ/წმ-ს, წარმოდგენილია მე-25 ნახაზზე.



ნახ. 25 თოვლის ხარჯის გადანაწილება სიმაღლის მიხედვით ზემო ქარბუქის შემთხვევაში

ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში 23 წარმოდგენილია საკვლევი უბნებზე ქარბუქის დროს სხვადასხვა მიმართულებით ქარის მიერ გადატანილი თოვლის რაოდენობის გაანგარიშების შედეგები, ხოლო 27-ე ნახაზზე ამ ცხრილის ბოლო სტროფის მიხედვით აგებული თოვლის ვარდულები.



ნახ. 26 კარწახისა და ახალქალაქის რაიონებში თოვლის
გადატანის ვარდულები (მ³/მ)

კარწახისა და ახალქალაქის რაიონებში თოვლის გადატანის გარდულის განსაზღვრის სიდიდეები

№№ რ.მ.	ქარის სიჩქარე, მ/წმ	თოვლის გადატანის ინტენსიურობა, მ³/მ	ქარის მიმართულება															
			ჩ		ჩა		ა		სა		ს		სდ		დ		ჩდ	
			ქარის ხანგრძლივობა, სთ	გადატანილი თოვლის მოცულობა, მ³/მ	ქარის ხანგრძლივობა, სთ	გადატანილი თოვლის მოცულობა, მ³/მ	ქარის ხანგრძლივობა, სთ	გადატანილი თოვლის მოცულობა, მ³/მ	ქარის ხანგრძლივობა, სთ	გადატანილი თოვლის მოცულობა, მ³/მ	ქარის ხანგრძლივობა, სთ	გადატანილი თოვლის მოცულობა, მ³/მ	ქარის ხანგრძლივობა, სთ	გადატანილი თოვლის მოცულობა, მ³/მ	ქარის ხანგრძლივობა, სთ	გადატანილი თოვლის მოცულობა, მ³/მ	ქარის ხანგრძლივობა, სთ	გადატანილი თოვლის მოცულობა, მ³/მ
კარწახის რაიონი																		
1	6-7	0.086	22.4	1.9	6.7	0.6	1.8	0.2	26.6	2.3	57.2	4.9	46.7	4.0	10.5	0.9	4.0	0.3
2	8-9	0.192	12.8	2.5	3.8	0.7	0.9	0.17	15.2	2.92	32.6	6.26	26.6	5.1	5.3	1.02	2.3	0.44
3	10-11	0.362	6.0	2.2	1.8	0.65	0.4	0.14	7.2	2.61	15.4	5.57	12.6	4.56	2.8	1.01	1.1	0.4
4	12-13	0.609	8.5	5.18	2.5	152	0.7	0.43	10.1	6.15	21.7	13.2	17.7	10.78	4.0	2.44	1.5	0.91
5	14-15	0.949	2.2	2.09	0.7	0.66	0.2	0.2	2.7	2.56	5.7	5.41	4.7	4.46	1.0	0.95	0.4	0.38
6	16-17	1.396	1.6	2.23	0.5	0.7	0.1	0.14	1.9	2.65	4.0	5.58	3.3	4.61	0.7	0.98	0.3	0.4
7	18-20	1.967	1.3	2.56	0.4	0.79	0.1	0.2	1.6	3.15	3.4	6.69	2.8	5.51	0.6	1.18	0.2	0.39
8	20-24	2.676	0.2	0.54	0.1	0.27	0	0	0.3	0.8	0.6	1.61	0.5	1.34	0.1	0.27	0.1	0.27
9	25-28	3.50	0	2	0	0	0	0	0.0	0	0.11	0	0.1	0.1	0	0	0	0
ზამთრის პერიოდში				19.2		5.89		1.48		23.14		49.22		40.46		8.75		3.49
ახალქალაქის რაიონი																		
1	6-7	0.086	16.0	1.4	2.2	0.2	17.2	1.5	74	6.4	25.2	2.2	15.1	1.3	6.51	0.6	25.2	2.2
2	8-9	0.192	9.1	1.7	1.3	0.2	9.8	1.9	42.2	8.1	14.4	2.8	8.6	1.7	3.7	0.7	14.4	2.8
3	10-11	0.362	4.1	1.5	0.6	0.2	4.4	1.6	19.0	6.9	6.5	2.4	3.9	1.4	1.7	0.6	6.5	2.4
4	12-13	0.609	6.1	3.7	0.84	0.5	6.6	4.0	28.2	17.2	9.6	5.8	5.8	3.5	2.5	1.5	9.6	5.8
5	14-15	0.949	1.5	1.4	0.2	0.2	1.6	1.5	7.0	6.6	2.4	2.3	1.4	1.3	0.6	0.6	2.4	2.3
6	16-17	1.396	1.2	1.7	0.2	0.3	1.3	1.8	5.6	7.8	1.9	2.7	1.2	1.7	0.5	0.7	1.9	2.7
7	18-20	1.967	0.8	1.6	0.1	0.2	0.8	1.6	3.5	6.9	1.2	2.4	0.7	1.4	0.4	0.8	1.2	2.4
8	20-24	2.676	0.1	0.3	0.01	0.04	0.1	0.3	0.5	1.4	0.2	0.6	0.1	0.3	0.1	0.3	0.2	0.6
9	25-28	3.50	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	0.1	0.4	0	0	0	0	0.1	0.4
ზამთრის პერიოდში				3.3		1.8		14.2		62		21.6		12.6		5.8		27.9

თუ გავითვალისწინებთ საპროექტო ტერიტორიისა და მის შემოგარენის თავისებურებებს და საქართველოს სამხრეთ მთიანეთის ბუნებრივ პირობებს, მიზანშეწონილია არქიტექტურულ-დეკორატიული ნარგავების გამოყენება.

დეკორატიული გამწვანებისათვის რეკომენდირებულია კავკასიური ფიჭვი („კაუჭა“) და კვრინჩხის ბუჩქნარი.

ტყენარგავებთან ერთად ლიანდაგის თოვლდანამქრისაგან დასაცავად გამოყენებულია მუდმივი გისოსოვანი ღობეები.

მარტივი ტიპის ღობეების მიერ თოვლის დაგროვების უნარის გაზრდის ერთ-ერთი მეთოდი არის ღობის ტანში, მის ქვედა ნაწილსა და მიწის ზედაპირს შორის სიცარიელის – ღრეჩობის დატოვება. ეს სიცარიელე (ღრეჩო) საშუალებას გვაძლევს გადაჭერილი თოვლის ზვინული გადავწიოთ დაცვის ხაზიდან და ამით გავზარდოთ საერთო თოვლშეკავების უნარი.

ასეთი ღობის მოდელების ექსპერტიმენტალური კვლევების შედეგად დადგენილია, რომ მოლარტყვის გარღვევის სიდიდე არ უნდა აღემატებოდეს 0.45.

ერთრიგიანი ღობის მიერ თოვლშეკავების უნარი განისაზღვრა ფორმულით

$$Q_1 = KH_1^2$$

სადაც: Q_1 – ერთრიგიანი ღობის მიერ გადაჭერილი თოვლის მოცულობა, მ³/გრ.მ.;

H_1^2 – ღობის სიმაღლე, მ; K – საცდელი კოეფიციენტი, $K=7-9$.

ამ ფორმულის მიხედვით ჩანს, რომ ღობის მიერ გადაჭერილი თოვლის მოცულობა დამოკიდებულია მისი სიმაღლის კვადრატის სიდიდეზე, მაგრამ ღობის სიმაღლის გაზრდა იწვევს დიდ კაპიტალდაბანდების საჭიროებას.

ორრიგიანი ღობის მიერ თოვლდაჭერის სიდიდე განისაზღვრა ფორმულით:

$$Q_2 = \alpha H_2 L + KH_2^2$$

სადაც: Q_2 – არის თოვლის საერთო მოცულობა გადაჭერილი ორრიგიანი ღობის მიერ, მ³/გრ.მ.;

H_2 – ღობის სიმაღლე, მ;

L – ღობის რიგებს შორის მანძილი, მ (მიიღება $30 H_2$);

K – საცდელი კოეფიციენტი, $K=7-9$.

საცდელმა დაკვირვებებმა გვიჩვენა, რომ გადაჭერილი თოვლის მოცულობა 6 მ სიმაღლის ერთრიგიან ღობესა და 3 მეტრ სიმაღლის ორრიგიან ღობეს შორის დაახლოებით თანაბარია, ანუ

$$H_2 = \frac{H_1}{2}, \text{ როცა } K=9, \alpha=0,9, Q_2=9 H_2^2$$

ტექნიკურ-ეკონომიკური შედარების შედეგად დადგინდა, რომ 6 მ სიმაღლის ერთრიგად განლაგებული ღობის ორრიგად განლაგებული 3 მ სიმაღლის ღობით შეცვლის შედეგად მასალების ეკომონია შეადგენს 25%.

თოვლდამჭერი ტყენარგავები და მუდმივი ღობეები დაპროექტებულია საანგარიშო მაქსიმალური 1:15 (7%) ალბათობის მოცულობის თოვლის გადასაჭერად.

ზემოთ აღნიშნული განმარტებებისა და გაანგარიშების, დამცავი ნაგებობების შესაძლო ვარიანტების ტექნიკურ-ეკონომიური და ეკოლოგიური მაჩვენებლების შედარების საფუძველზე, მატარებელთა უსაფრთხო მოძრაობის უზრუნველყოფისა და ექსპლუატაციის პერიოდში შრომის პირობების გაუმჯობესების გათვალისწინებით ჩვენს მიერ შემუშავებულია ლიანდაგებისა და ნაგებობების თოვლის დანამქრისაგან დამცავი ღონისძიებები რომელიც ითვალისწინებს თოვლდამჭერი ტყენარგავების, მუდმივი ღობეების და გადასატანი ფარების მოწყობას.

ტყენარგავების ზოლის სიგანეზე 11.5-დან 21.5 მეტრამდე, ჭადრაკისებურად უნდა განლაგდეს ხისა და ბუჩქნარის ნარგავები.

თოვლდამცავ ნაგებობებად გამოყენებულია შემდეგი სახის ნარგავები: კავკასიური ფიჭვი („კაუჭა“), კვრინჩხის ბუჩქნარი.

თოვლისაგან დასაცავად რეკომენდირებულია დაირგას 3-5 წლიანი ნარგავები, რომელთა სიმაღლე უნდა შეადგენდეს არანაკლებ 100 სმ-ს. ნარგავების დარგვისას უნდა შეირჩეს ნიადაგის განაყოფიერებისათვის საჭირო ტიპი და ხარისხი. პერიოდულად უნდა

მოხდეს მათი მორწყვა და განხორციელდეს მოვლა-პატრონობის სამუშაოები არანაკლებ 360 დღის განმავლობაში.

ქარისა და თოვლის მიერ ხეებისა და ბუჩქნარის დაზიანებული ნარგავების რაოდენობა აღწევს მთლიანი რაოდენობის 25–30 %-ს, რის გამოც მცირდება ტყენარგავების დაცვის უნარიანობა და ხდება თოვლის მიწის ვაკისზე გადატანა. ამის თავიდან ასაცილებლად და ახლად დარგული ნარგავების დაცვის მიზნით საჭირო ხდება გადასატანი გისოსოვანი ფარების მოწყობა.

გადასატანი ფარები უნდა დაყენდეს იმ გაანგარიშებებით, რომ მის მიერ გადაჭერილი თოვლის ზვინული განთავსდეს ნარგავებიდან ქარის მიმართულების მხარეს.

გისოსოვან ფარებს სიმაღლით 2 მ, რომლის ქვედა ნაწილში დატოვებულია 25 სმ სიმაღლის გამჭოლობა, შეუძლიათ 53 მ³ თოვლის გადაჭერა. ფარების წინ ამ მოცულობის თოვლის გადაჭერის შემდეგ იგი წყვეტს თავის ფუნქციას და ქარის ნაკადის მიერ თოვლის გადატანა ხდება ფარების ზემოდან. ამ შემთხვევაში საჭირო ხდება ფარების გადაადგილება. ფარების პირველი გადაადგილება ხორციელდება მინდვრის მხარეს 20-30 მ მანძილზე, ხოლო შემდეგი გადაადგილება ხდება ლიანდაგის მხარეს თოვლის ყრილის ზედა ნაწილში.

ქარბუჩიანი დღეების დამთავრების შემდეგ გადასატანი ფარები აიღება და ხდება მათი დახარისხება მდგომარეობის მიხედვით: ფარები რომლებიც კარგ მდგომარეობაშია, ფარები რომლებიც საჭიროებენ შეკეთებას და ფარები რომლებიც გამოუსადეგარია.

თოვლდამჭერი მუდმივი ღობეები ეწყობა რკინაბეტონის ანაკრები ელემენტებისაგან და შედგება საყრდენებისა და ფრთებისაგან. საყრდენები კვეთით 240×180 მმ ეწყობა 3 და 4 მ სიმაღლეზე. საყრდენებს შორის მანძილი შეადგენს 3 მ-ს. რკინაბეტონის ფრთების სიგრძე 3.1 მ-ია, ხოლო კვეთის სიდიდე 50×160 მმ. საყრდენების ქვედა ნაწილი იდგმება 25 კლასის მონოლითური ბეტონის ფუნდამენტში.

განხილულ უბნებზე ლიანდაგის მარჯვენა მხარეს ეწყობა ღობე სიმაღლით 3მ, ხოლო მარცხენა მხარეს სიმაღლით 2 მ.

ტყენარგავების მთლიანმა სიგრძემ შეადგინა 13928 მ, მათ შორის მარჯვენა მხარეს 9968 მ, ხოლო მარცხენა მხარეს 3960 მ.

ნარგავების ზოლის სიგანე უბნის თოვლით დანამქრის სიდიდისა და ნარგავების მუშა ნაწილის სიმაღლეზე დამოკიდებულებით იცვლება 11.5-დან 21.5 მ-მდე.

თოვლდამჭერი მუდმივი ღობეების მთლიანი სიგრძე შეადგენს 4759 მ-ს, აქედან მარჯვენა მხარეს ეწყობა 2094 გრ. მ სიგრძის ღობე, სიმაღლით 3 მ, ხოლო მარცხენა მხარეს 2665 გრ. მ სიმაღლით 2 მ.

ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში 24 წარმოდგენილია ლიანდაგებისა და ნაგებობების თოვლით დანამქრისაგან დამცავ საშუალებათა მოსაწყობად საჭირო ძირითად სამუშაოთა მოცულობების უწყისი, ხოლო ნაშრომის 34.3-ში ჩვენს მიერ შემუშავებული და რკინიგზის ხაზის ამ უბანზე გამოყენებული თოვლდამჭერ ნაგებობათა ახალი ეფექტური კონსტრუქციები.

ცხრილი 21

ლიანდაგებისა და ნაგებობების თოვლით დანამქრისაგან დამცავ საშუალებათა მოსაწყობად საჭირო ძირითად სამუშაოთა მოცულობების უწყისი

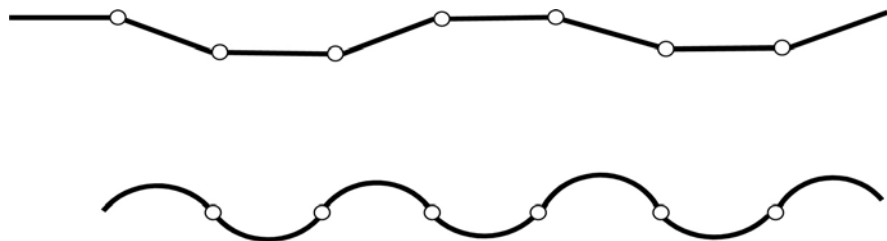
№ რ.მ	სამუშაოთა დასახელება	განზ. ერთ.	რაოდენობა
1	ტყენარგავების ცოცხალი ღობეების მოწყობა: - წიწვოვანი ნარგავები (3-5 წლიანი სიმაღლით არანაკლებ 100 სმ); - ბუჩქნარი 60-80 სმ	ცალი	85962
		ცალი	27856
2	ანტიკოროზიული საფარი „პენტალაკსი“-თ დაფარული თოვლდამჭერი ღობეების მუშა ფართი	მ ²	9625.4
3	გადასატანი გისოსებიანი ფარები	გრ. მ.	7000
4	დროებითი მავთულის ღობე ტყენარგავების დასაცავად	გრ. მ.	16700

4.3 თოვლდამჭერი ნაგებობის ახალი კონსტრუქციები

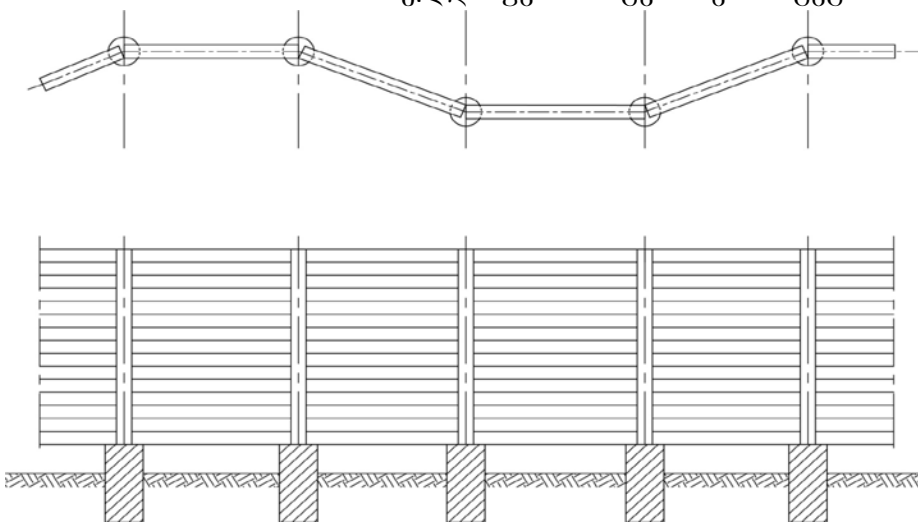
ქარბუქის თეორიული კვლევების ანალიზისა და თოვლდამჭერ ნაგებობათა ექსპლუატაციის მრავალწლიანი გამოცდილების შესწავლისა და ანალიზის შედეგად ჩვენს მიერ შემუშავებულია თოვლდამჭერ ნაგებობათა ახალი ეფექტური და ეკონომიური კონსტრუქციები, რომელთაც გააჩნიათ რიგი უპირატესობა დღემდე გამოყენებულ ნაგებობებთან შედარებით.

ნაგებობების ახალი კონსტრუქციების დამუშავებისას დასახული იყო ნაგებობის სიმტკიცისა და მდგრადობის გაუმჯობესება მინიმალური მატერიალური და შრომითი დანახარჯებით, მშენებლობის მექანიზაციისა და ინდუსტრიალიზაციის უზრუნველყოფა, გეგმასა და სივრცეში სხვადასხვა კონფიგურაციის ნაგებობათა მოსაწყობად ერთი და იგივე ტიპის ელემენტების გამოყენება.

ჩვენს მიერ შემუშავებული და რეკომენდირებულია სივრცეში გამჭოლი ფორმის, გეგმაში ტეხილი მოხაზულობის თავლგადამჭერი ნაგებობები (იხ. ნახ. 28 და 29).



ნახ. 27 თოვლდამჭერი ნაგებობების გეგმა



ნახ. 28 თოვლდამჭერი ნაგებობების ხედები

ნაგებობები შედგება სამკუთხა, პრიზმატული (ტრაპეციოდალური) ან მათი კომბინაციის ფორმის მქონე სექციებისაგან, რომლებიც ეწეობა ერთიდაიგივე ტოპოელემენტის - ღიობის მქონე ფილების ან სწორკუთხა ძელებისაგან.

ნაგებობის ფორმა და მისი შემადგენელი ელემენტები საშუალებას გვაძლევს გავზარდოთ ნაგებობის მიერ გადაჭერილი თოვლის მოცულობა და ნაგებობის სიმაღლის, მასზე მოსული დატვირთვის, ადგილმდებარეობის, მასალების ეკონომიისა და სხვა პირობების გათვალისწინებით ფერდის დახრის კუთხის ცვალებადობის ხარჯზე ვცვალოთ ნაგებობის კონფიგურაცია მისი მზიდუნარიანობის სიდიდის უზრუნველყოფის შესაბამისად.

ნაგებობა შეიძლება მოეწეოს როგორც ლითონის, ასევე რკინაბეტონისა და პლასტმასის ცალკეული მცირეზომიანი ანაკრები ფილებისაგან.

რეკომენდირებულ ნაგებობათა ტექნიკურ-ეკონომიკურ უპირატესობებს განაპირობებენ:

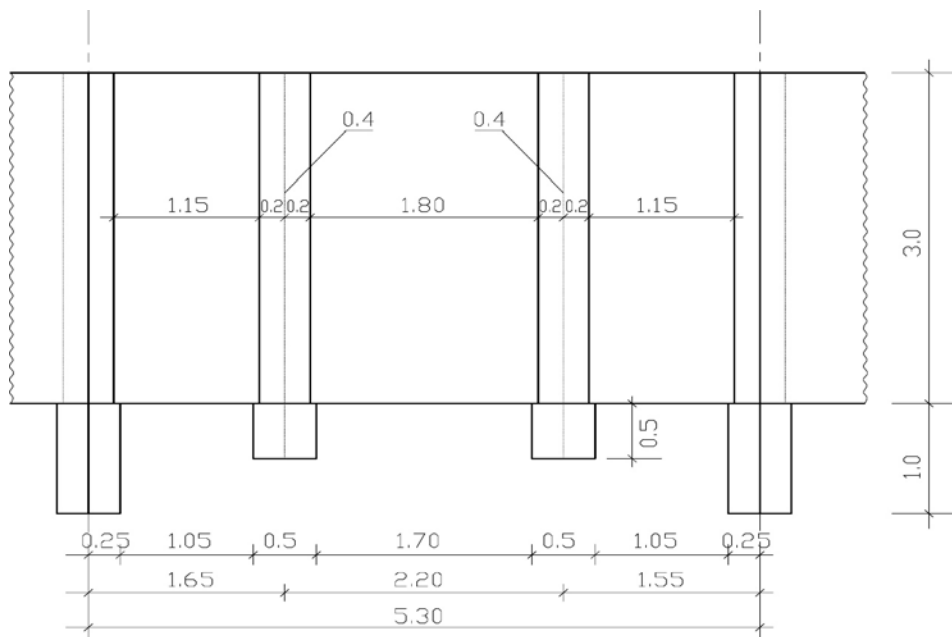
1. ტეხილი მოხაზულობის სივრცული ფორმა უზრუნველყოფს გადაჭერილი თოვლის მოცულობის გაზრდას და თოვლისა და თოვლგაჯერებული ქარის აქტიური დაწნევით გამოწვეულ დატვირთვაზე ნაგებობის გადაყირაგებისა და წაცურების მიმართ მდგრადობის გაუმჯობესებას;
2. გეგმაში ტეხილი მოხაზულობის შედეგად ნაგებობაზე კუმშვასა და გაჭიმვაზე უპირატესი მუშაობის შედეგად შესაძლებელი ხდება მაღალი სიმტკიცისა და მცირე სისქის ელემენტთა გამოყენება, რითაც მიიღწევა მნიშვნელოვანი სიდიდის ეკონომიური ეფექტი;
3. სივრცული ფორმის კონსტრუქცია კარგად აღიქვამს განივ ძალებს, რის გამოც მნიშვნელოვნად იოლდება ნაგებობის საყრდენთა მოწყობა;
4. თოვლი, რომელიც კონტაქტშია გარსაცმებთან, აუმჯობესებს ნაგებობის სიხისტეს და ზრდის მათ მდგრადობას;
5. მინიმალური ტიპო ელემენტების საჭიროება სხვადასხვა კონფიგურაციის ნაგებობის მოსაწყობად, რაც მნიშვნელოვნად

აიოლებს სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოთა შესრულებას;

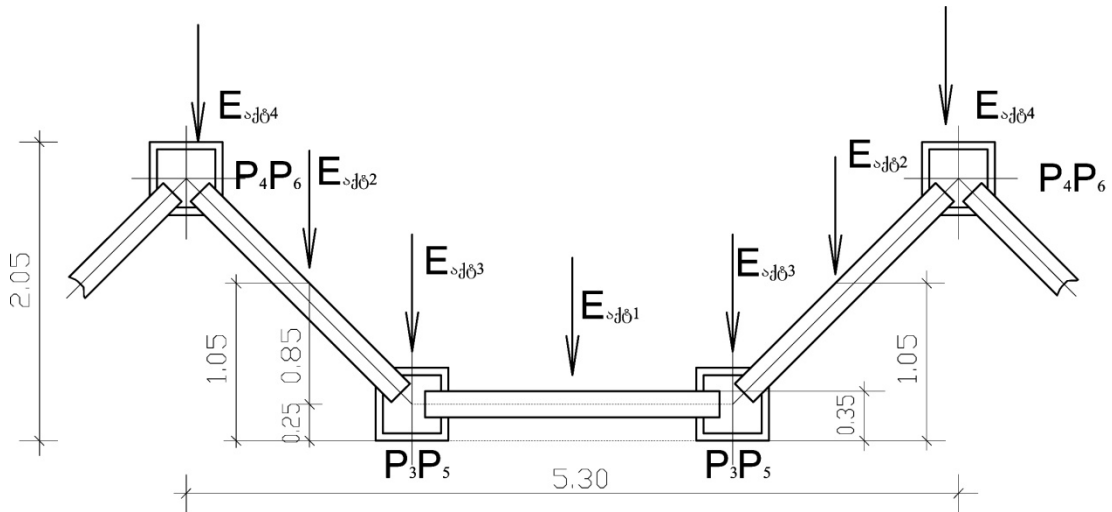
6. ნაგებობას გააჩნია არქიტექტურულად კარგად გამოსატული ფორმა.

ნაგებობათა გაანგარიშების თანამიმდევრობები შემდეგნაირია:

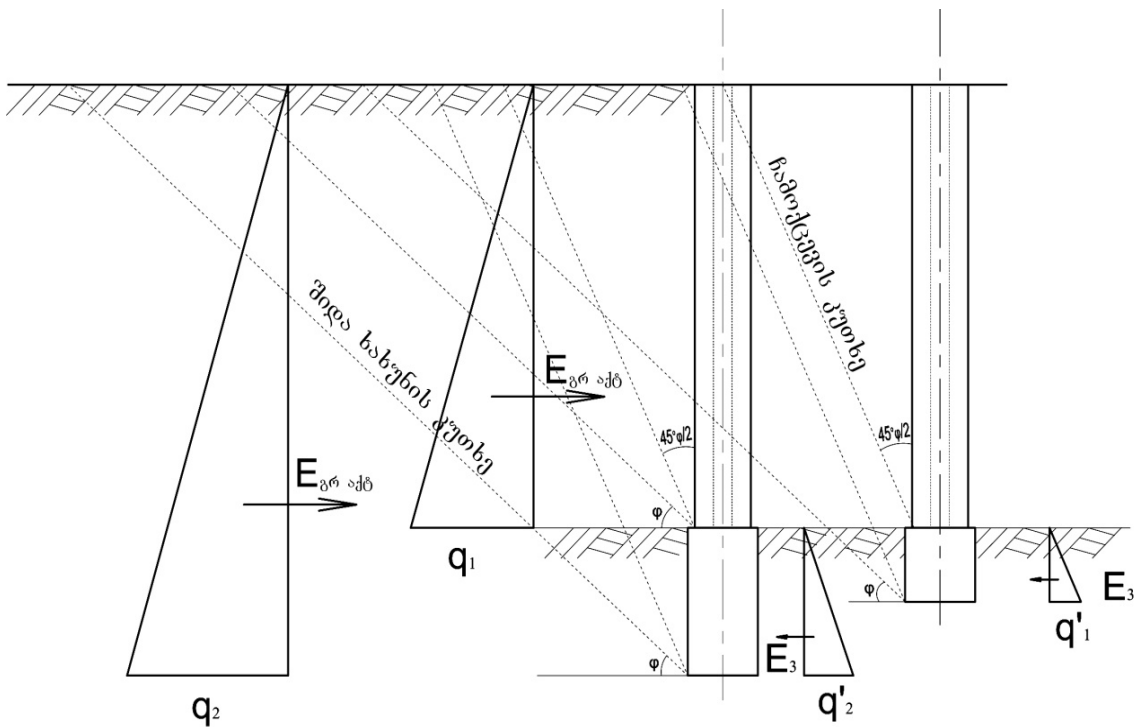
1. ინიშნება ნაგებობის გეომეტრიული ზომები, სიმაღლე, სექციების ბიჯი, გამოყენებული მასალის ტიპი და კლასი;
 2. დამახასიათებელ წერტილებში განისაზღვრება ნაგებობაზე მოსული აქტიური და პასიური დაწნევები;
 3. განისაზღვრება ნაგებობაზე მოსული ყველა საანგარიშო და ნორმატიული ძალები გადატვირთვის კოეფიციენტების გათვალისწინებით;
 4. გაიანგარიშება ნაგებობის მდგრადობა წაცურებასა და გადაყირავებაზე;
 5. მოწმდება ფუძის სიმტკიცე და ტოლქმედი ძალის ადგილმდებარეობა;
 6. გაიანგარიშება ფილებისა და საყრდენების არმირება და მათი სიმტკიცე;
 7. კონსტრუირდება კვანძები და გაიანგარიშება მათი სიმტკიცე.
- რკ. ბეტონის ნაგებობის საანგარიშო სქემა წარმოდგენილია 30-ე, ნახაზე.



სქემა №1



სქემა №2



სქემა №3

ნახ. 29 რკინაბეტონის ღობეების საანგარიშო სქემები

გარსაცმის სიმტკიცე შეიძლება განესაზღვროთ ზღვრული წონასწორობის მეთოდის კინემატიკური ხერხით, გარსაცმის ფაქტიური რღვევის სქემის გათვალისწინებით.

ზღვრული მღუნავი მომენტი

$$m_t = \frac{\ell_1^2}{240} \left[\frac{\sigma_{ar1}(1 + 2\sigma_{ar1}/\sigma_{ar2}) + \sigma_{ar2}(2 + \sigma_{ar1}/\sigma_{ar2})}{1 + \sigma_{ar1}/\sigma_{ar2}} \right]$$

გაჭიმულ ზონაში ვერტიკალური არმატურის ფართი გაინგარიშება როგორც ტეხილი კვეთის ღუნვადი კონსტრუქციისათვის

$$M = \frac{100}{6} H^2 (\sigma_{ar1} + \sigma_{ar2})$$

$$M \leq R_\delta b \times \left(h_0 - \frac{1}{2} \alpha \right) \quad M = A_0 b h_0^2 R_e$$

$$M \leq R_0 A \times \left(h_0 - \frac{1}{2} \alpha \right) \quad M = M(\eta h h_0)$$

$$A_0 = \xi(1 - 0.5 \xi) \quad \eta = 1 - 0.5 \xi \quad \xi = \frac{x}{h_0}$$

$$\alpha' = \alpha - \frac{2}{3} + \quad \alpha = \frac{R_s A_s}{R_e b} + \frac{1}{2} t$$

სადაც: M_y - მღუნავი მომენტი ნებისმიერ კვეთში;

M - მაქსიმალური მომენტი ელემენტის საფუძველში;

A_s - გაჭიმულ ზონაში ვერტიკალურ თავმოყრილ შეკურსული არმატურის კვეთის ფართობი;

R_s - არმატურის საანგარიშო წინაღობა;

R_e - ბეტონის საანგარიშო ნაწილის თოვლის აქტიური დაწნევა;

σ_{ar} - ჰორიზონტალური მდგენელი.

ჰორიზონტალური არმატურის ფართი გაინგარიშება როგორც უჭრი მრავალმალიანი ფილისათვის

$$M = \sigma_{\text{საშ}} \text{საშ} \ell^2 / 12 \quad \text{სადაც} \quad \ell = \ell_1 \text{ an } \ell = \ell_2;$$

$$M_{\text{სო}} = M_{\text{მაღ}} = M; \quad M = A_0 b h_0^2 R_b; \quad A_s = M(\eta_1 h_0 R_s);$$

$$A_s = \frac{M}{0.9 \sigma_0 R_s}; \quad \sigma_0 = \sigma - a$$

სადაც: M , $M_{\text{სო}}$, $M_{\text{მაღ}}$ - ნაგებობის ძალისა და საყრდენ კვეთებში ღუნვის მომენტებია;

$\sigma_{\text{საშ}} \text{საშ}$ - აქტიური დაწნევის ჰორიზონტალური მდგენელი საშუალო სიდიდე;

σ - ფილის სისქე;

a - დამცავი შრის სისქე.

დახრილი კვეთის სიმტკიცე

$$Q \leq \varphi_{b_1} R_{b_+} b h_0^2 / c; \quad c \leq 2h_0; \quad \varphi_{b_1} = 15;$$

$$\varphi_{b_1} R_{b_+} b h_0 < \frac{\varphi_{b_2} R_{b_+} b h_0^2}{c} < 2.5 b_1 b h_0; \quad \varphi_{b_2} = 0.6$$

სადაც: Q - შიდა დატვირთვის განივი ძალაა; R_{b_+} - ბეტონის
ღერძული გაჭიმვის საანგარიშო წინაღობაა;
 h_0 - ელემენტის მუშა სიმაღლე ($h_0 = h - a$).

5. დასკვნა

1. სამთო რკინიგზებზე მოძრაობის უსაფრთხოებაზე გავლენას ახდენს რიგი ფაქტორები, რომლებიც განპირობებულია ციცაბო ქანობიან მონაკვეთზე მატარებლის მოძრაობის თავისებურებებით და ადგილმდებარეობის ბუნებრივი მოვლენებით;
2. ციცაბო ქანობიან მონაკვეთზე მატარებლების მოძრაობის თავისებურებებს მიეკუთვნება: გრძელ დაღმართებზე სამუხრუჭე ხუნდების გადახურება და ცვეთა, საჰაერო მაგისტრალში წნევის ნორმაზე დაბლა დაცემა, გაჭიანურებულ აღმართებზე ელმავლის წევის ძრავების გადახურება. ბუნებრივ მოვლენებს მიეკუთვნება: თოვლის ნამქერები და ზვავები, კლდოვანი ჩამოქცევები, შვავები, კურუმები, მეწყერები, ღვარცოფები და სხვა;
3. როგორც გამოკვლევებმა გვიჩვენეს, მოძრაობის უსაფრთხოების თვალსაზრისით ციცაბო დაღმართის ზღვრული სიგრძე იზღუდება ხუნდების გადახურებისა და მაგისტრალში ჰაერის დაშრეტის პირობით;
4. ხუნდების გადახურების ტემპერატურა დამოკიდებულია ხუნდის მასალაზე, მოძრაობის სიჩქარესა და დაღმართის ქანობის სიდიდეზე. მაგისტრალის დაშრეტის მაქსიმალური დრო უწყვეტი დამუხრუჭებისას ქანობისაგან დამოკიდებულებით არ უნდა აღემატებოდეს 30÷35 წთ. ამ პირობების ერთდროული გათვალისწინება გვაძლევს დაღმართის ზღვრულ სიგრძესა და მოძრაობის სიჩქარის ოპტიმალურ სიდიდეებს, რომლის დროსაც უზრუნველყოფილი იქნება მატარებლის უსაფრთხო მოძრაობა;
5. სამთო რკინიგზებზე სატვირთო მატარებლების საანგარიშო წონის დადგენისას, გარდა ლოკომოტივის სიმძლავრისა და ქანობების სიდიდისა, უნდა გავითვალისწინოთ შემდეგი ფაქტორები: მცირერადიუსიანი მრუდები, რელსის თავის მდგომარეობა, ვაგონებს შორის გადასაბმელ მოწყობილობათა სიმტკიცე, წევის ძრავების გადახურება. ამ ფაქტორების გათვალისწინებით დადგენილ იქნა მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის ხაზზე სატვირთო მატარებლის წონის საანგარიშო

ნორმები: ზაფხულის პერიოდში - 1700 ტ, ხოლო ზამთრის სეზონზე - 1300 ტ (ორმაგი წვეისათვის).

თბოწვეის შემთხვევაში უნდა გავითვალისწინოთ დიზელის ძრავის სიმძლავრის შემცირება ატმოსფერული წნევისა და ტემპერატურის ცვალებადობასთან დაკავშირებით;

6. მატარებლების უსაფრთხო მოძრაობის უზრუნველყოფის მიზნით ჩვენს მიერ შესწავლილი იქნა მარაბდა-ახალქალაქის მონაკვეთზე ყველაზე რთული ხუთი გადასარბენი. დავადგინეთ, რომ აქედან ორ გადასარბენზე – თეთრიწყარო-ნადარბაზევი და წინწყარო-თეთრიწყარო არ არის დამაკმაყოფილებელი დამუხრუჭების პირობები. ჩვენი რეკომენდაციით თეთრიწყარო-ნადარბაზევის გადასარბენზე გაიხსნა დამატებითი ასაქცევი, ხოლო წინწყარო-თეთრიწყაროს გადასარბენზე მოეწყო ე.წ. „დასასვენებელი“ მოედანი;
7. ბუნებრივი მოვლენებიდან ერთ-ერთ მთავარ ფაქტორს, რომელიც გავლენას ახდენს მატარებლების შეუფერხებელ და უსაფრთხო მოძრაობაზე, წარმოადგენს ლიანდაგის თოვლით დანამქრას;
8. შედგენილია რკინიგზის ტრასისა და პროფილის დაპროექტების პირობები ახალმშენებარე რკინიგზის ხაზის თოვლით დანამქრის თავიდან ასაცილებლად;
9. შემუშავებულია ლიანდაგის თოვლით დანამქრისაგან დამცავი ღონისძიებები ახალმშენებარე რკინიგზის უბანზე ახალქალაქი-კარწახი-თურქეთის რესპუბლიკის საზღვარი;
10. შემუშავებულია თოვლდამჭერი ნაგებობების ახალი კონსტრუქციები და მათი გაანგარიშების მეთოდოლოგია.

6. გამოყენებული ლიტერატურა

1. კ. კვანტალიანი, ლ. რაზმაძე „გამყოფი პუნქტების განლაგების თავისებურებანი რთულ მთიან პირობებში „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა №2 (10) 2006 წ.“;
2. Катрашова Н. Л. «Размещение отдельных пунктов при проектировании железных дорог с тепловозной и электрической тягой». Сообщение ЦНИИС №56, 1969 г.;
3. Кондратченко А. П., Кониашвили А. Ф., Кванталиани Г. Г. «К вопросу размещения пунктов в горных условиях». Труды МИИТа вып. 614, 1978г.;
4. Сванишвили Н. Р., Кванталиани Г. Г. и др. «О наибольшей длине перегона в сложных горных условиях». «Транспортное строительство» №5, 1977г.;
5. Иноземцев В. Г. «О тепловом расчете автотормозов». Вестник ЦНИИ, №3, 1970 г.;
6. Иноземцев В. Г. и др. «Нормы и методы расчета автотормозов» М., Транспорт, 1971 г.;
7. Иноземцев В. Г. и др. «Автоматические тормоза» М., Транспорт, 1981 г.;
8. Иноземцев В. Г. «Тормоза железнодорожного подвижного состава» М., Транспорт, 1986 г.;
9. კვანტალიანი გ.გ. და სხვა. „დიდი დახრის გრძელ დაღმართებზე მატარებლის მოძრაობის უსაფრთხოებაზე სამუხრუჭო ხუნდების გახურების ტემპერატურის ზემოქმედება“. ტექნ. უნივერსიტეტის შრომები, 7 (363), 1990 წ.;
10. Крылов В.В., Кванталиани Г. Г. «Определение времени непрерывного торможения грузового поезда на крутом затяжном спуске по условиям неистощимости пневматических автотормозов». Труды ГПИ 2(193) 1977г.;
11. Квон Я. Д. «Современное состояние исследования снега и лавин в США. Труды Новосибирского Инст. д.ж. вып. 141, 1972 г.;
12. Квон Я. Д. «Организация противолавинных мероприятий в Австрии. Труды Нов. ИИЖТ, вып. 147, 1973 г.;
13. Строительные нормы и правила. Транспорт, 1990 г.;

14. Инструкция по эксплуатации тормозов подвижного состава железных дорог. МПС. Транспорт, 1988 г;
15. Местные распоряжения к ПТЭ железных дорог. Тбилиси, 1980 г, стр. 115;
16. Астахов П. Н. и др. «Справочник по тяговым расчетом». М., Транспорт, 1973 г, стр. 256;
17. «Правила тяговых расчетов для поездной работы». М., Транспорт, 1985 г, стр. 289;
18. გ. კვანტალიანი, დ. პაპუაშვილი „გადასარბენის სიგრძის დადგენა როტულ მთიან პირობებში“. თბილისი, ტრანსპორტი, №2, 2010 წ;
19. Исаев И. П. «Случайные факторы и коэффициент сцепления». М., Транспорт, 1970 г, стр. 184;
20. ა. კაკაბაძე „სატვირთო მატარებლის წონის ნორმის დადგენა მარაბდა-ახალქალაქის რკინიგზის ხაზზე“, ჟურნალი „მშენებლობა“;
21. Gazatnez F, Vonbai G, Leistung und Kzaftstoffvezbzauch von Bahndieselmotozen in Abhängzgent vom Einsatzgebiet des Tziebfahzzeuges - DET Eisenbafntechnik 1979, 27 №6;
22. Кантор И. И. Продольный профиль пути и тяги поездов, М. Транспорт, стр. 207, 1984 г;
23. Кантор И. И. «Определение весов и скорости грузовых поездов с тепловозной тягой в горных районах». Транспортное строительство, №11, 1974 г;
24. Лехно И. В. и др. «Путевое хозяйство». М. Транспорт, 1990 г;
25. გ. კვანტალიანი, ა. კაკაბაძე და სხვა. „რკინიგზის ლიანდაგის თოვლისაგან დაცვის ღონისძიებები“. ჟურნალი „მშენებლობა“. №3(26), 2012 წ;
26. Дюнин А. К. «Механика метелей», Новосибирск, из-во АН СССР, 1977 г;
27. Исаенко Э. П.. К вопросу о механико-экономичкской сравнении противообвальных мероприятий. Труды НИИЖТ-а, 1979 г;
28. Кониашвили А. Ф. Купатадзе Т. С. «Определение фактического тормозного коэффициента для разработки проектных рекомендаций по обеспечению безопасности движения поездов на затяжных крутых спусках». Сборник научных трудов ГПИ, №11 (293), 1985 г;

29. Мероприятия по обеспечению безопасности движения поездов на затяжных спусках Кавказской перевальной железной дороги». Технический отчет по теме №490/85. ГПИ, Тбилиси, 1986 г, стр. 116.