

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნანა კურკუმული

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის
მათემატიკური მოდელირება და ოპტიმიზაცია

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2012 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის
საინჟინრო კიბერნეტიკისა და ხელსაწყოთმშენებლობის დეპარტამენტის
ავტომატიზაციისა და მართვის სისტემების მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: სრული პროფესორი, ტმდ ნოდარ ჯიბლაძე
სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ასოც. პროფესორი ლელა გაჩეჩილაძე
სამეცნიერო კონსულტანტი: ტმდ თენგიზ მაგრაქველიძე

რეცენზენტები: სრული პროფესორი, ტმდ კონსტანტინე კამკამიძე
ტმდ გულაბერ ანანიაშვილი

დაცვა შედგება 2012 წლის ივნისს, საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის
სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე,
კორპუსი, აუდიტორია

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - სტუ-ს ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,

სრული პროფესორი

თინათინ კაიშაური

ელექტროენერგეტიკა ქვეყნის ეკონომიკის ჯანსაღი ფუნქციონირების სასიცოცხლო პირობაა. იგი ქვეყნის ეკონომიკური განვითარების ძირითადი საფუძველია. ქვეყნის ეკონომიკური განვითარების დონის ერთ-ერთ ძირითად მახასიათებლად მიღებულია ერთ სულ მოსახლეზე მოსული წლიურად მოხმარებული ელექტროენერგია. განვითარებული ქვეყნებისათვის, როგორცაა, მაგალითად, აშშ, კანადა, ნორვეგია, შვეცია და სხვ., ერთ სულ მოსახლეზე მოსული წლიურად მოხმარებული ელექტროენერგია ბევრად აჭარბებს 10 000 კილოვატსაათს. ევროპის განვითარებული ქვეყნებისათვის ეს მაჩვენებელი 5 000÷10 000 კილოვატსაათის ფარგლებშია.

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემა უკანასკნელი ოთხი ათეული წლის განმავლობაში, როგორც ცნობილია, მკვეთრად დეფიციტური იყო, რაც განპირობებული იყო იმ არასწორი ენერგეტიკული პოლიტიკით, რომელიც წლების განმავლობაში ქვეყანაში ხორციელდებოდა. ასეთი პოლიტიკის შედეგად საქართველოს ელექტროენერგეტიკა დიდწილად დაფუძნებული იყო იმპორტულ ორგანულ სათბობზე, ხოლო ადგილობრივი ენერგორესურსებიდან ათვისებული იყო ჰიდრორესურსების მხოლოდ მცირე ნაწილი. ყოველივე ეს ეკონომიკურად გამართლებულად ითვლებოდა ყოფილ საბჭოთა კავშირის პირობებში ორგანული სათბობების უაღრესად დაბალი, ძირითადად პოლიტიკური მოსაზრებიდან გამომდინარე, ხელოვნურად დაწეული ფასების გამო.

მიუხედავად იმისა, რომ უკანასკნელ წლებში გარკვეულწილად გაუმჯობესდა ქვეყნის ელექტროენერგით მომარაგება, უმძიმესი კრიზისი, რომელიც გასული საუკუნის 90-იან წლებიდან დაიწყო, არ შეიძლება ჩაითვალოს დაძლეულად. ამის საილუსტრაციოდ საკმარისია აღინიშნოს, რომ ამჟამად საქართველოს მიერ ყოველწლიურად მოხმარებული ელექტროენერგია შეადგენს დაახლოებით 9 მილიარდ კილოვატსაათს, ხოლო ერთ სულ მოსახლეზე მოსული წლიურად მოხმარებული ენერგია - 1700 კილოვატსაათს წელიწადში. აღსანიშნავია, რომ მე-20 საუკუნის 80-იანი წლების ბოლოს საქართველოს ელექტროსა-

დღურებში გამომუშავებული ელექტროენერგია შეადგენდა დაახლოებით 15 მილიარდ კილოვატსაათს წელიწადში.

დღევანდელ პირობებში, როცა ორგანულ სათბობებზე ფასები კატასტროფულად იზრდება, ხოლო, მსოფლიოში ორგანული სათბობების მარაგი, მსოფლიო ენერგეტიკული საბჭოს მონაცემებით, მნიშვნელოვნად მცირდება, ცხადია, იმპორტულ სათბობზე დაფუძნებული ენერგეტიკა სრულიად გაუმართლებელია როგორც ეკონომიკური, ისე დამოუკიდებელი ქვეყნის უსაფრთხოების თვალსაზრისით.

აღნიშნულის გათვალისწინებით, დღეისათვის დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ქვეყანაში ჰიდროენერგორესურსების ათვისებას.

თემის აქტუალურობა. საქართველო, როგორც ცნობილია, მდიდარია ჰიდროენერგეტიკული რესურსებით. საქართველოს მდინარეების მთლიანი ჰიდროენერგეტიკული პოტენციალი შეადგენს დაახლოებით 320 მილიარდ კილოვატსაათს წელიწადში. აქედან ტექნიკური პოტენციალი დაახლოებით 90 მილიარდი კილოვატსაათია წელიწადში, ხოლო ეკონომიკურად გამართლებული პოტენციალი კი - 45÷50 მილიარდი კილოვატსაათი წელიწადში. აღსანიშნავია, რომ დღეისათვის ათვისებულია ტექნიკური ჰიდროენერგეტიკული პოტენციალის მხოლოდ 12%.

საქართველოში არსებობს, აგრეთვე, ქვანახშირისა და მურა ნახშირის საკმაოდ მნიშვნელოვანი მარაგი. ასევე, ქვეყანას გააჩნია ენერჯის ე.წ. არატრადიციული რესურსები, როგორცაა ქარი, მზე, გეოთერმული წყლები, ბიოენერგია და სხვ. ცხადია, ენერგეტიკული უსაფრთხოების თვალსაზრისით, აუცილებელია შემუშავდეს ისეთი ენერგეტიკული პოლიტიკა, რომლის რეალიზაცია უზრუნველყოფს ადგილობრივი ენერგორესურსების რაციონალურ გამოყენებასა და ქვეყნის ელექტროენერგიით დაკმაყოფილებას.

ენერგეტიკული პოლიტიკის შემუშავებაში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ეკონომიკურ საკითხებსაც, რომლის გარეშეც პრაქტიკულად შეუძლებელია ამა

თუ იმ ენერგორესურსის კონკურენტუნარიანობის განსაზღვრა. ამასთან დაკავშირებით, დღეისათვის აქტუალურია საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპტიმალური სტრუქტურის დადგენა, რაც აღნიშნული სისტემის ყოველმხრივი ანალიზის, მათემატიკური მოდელირებისა და ოპტიმიზაციის რიცხვითი მეთოდების საშუალებით შეიძლება განხორციელდეს.

სამუშაოს მიზანი. სადისერტაციო ნაშრომის მიზანია საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის მათემატიკური მოდელის შემუშავება და ოპტიმიზაციის რიცხვითი მეთოდების საშუალებით მისი ოპტიმალური სტრუქტურის განსაზღვრა. ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპტიმალურ სტრუქტურაში იგულისხმება სხვადასხვა ტიპისა და სიმძლავრის ელექტროსადგურების ერთობლიობა, რომელიც უზრუნველყოფს ელექტროენერგიით ქვეყნის დაკმაყოფილებას, რისთვისაც აუცილებელია, რომ საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის მიერ ყოველწლიურად გამომუშავებული ელექტროენერგია ერთ სულ მოსახლეზე იყოს საშუალო ევროპული დონის (დაახლოებით $7 \div 8$ ათასი კილოვატსაათი წელიწადში), ხოლო საერთო წლიური გამომუშავება – 45 მილიარდი კილოვატსაათი.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტია საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემა და მისი მათემატიკური მოდელი, აგრეთვე, ოპტიმიზაციის რიცხვითი მეთოდები. კვლევისათვის გამოყენებულია ოპტიმიზაციის თეორია, კერძოდ, წრფივი და არაწრფივი ოპტიმიზაციის მეთოდები.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე. შემუშავებულია საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის მათემატიკური საოპტიმიზაციო მოდელი, რომლის გადაწყვეტამ საშუალება მოგვცა დაგვედგინა მისი ოპტიმალური სტრუქტურა, კერძოდ, დაგვედგინა ტიპი და სიმძლავრე იმ ელექტროსადგურებისა, რომელთა ექსპლუატაციაში შესვლიდან მათი რენტაბელობაზე გადასვლის დროის მონაკვეთისათვის, კაპიტალური დაბანდებისა და საექსპლუატაციო ხარჯების ჯამი მინიმალურია და, ამასთან, უზრუნველყოფენ

წელიწადში 45 მილიარდი კილოვატსაათი ენერჯის საერთო წლიურ გამომუშავებას; შემუშავებულია არაწრფივი ოპტიმიზაციის ცნობილი მეთოდების (სიმბიმის ცენტრებისა და მუდმივბიჯიანი გრადიენტული მეთოდების) საფუძველზე წრფივი დაპროგრამების ორი სხვადასხვა იტერაციული ალგორითმი და მათი შესაბამისი პროგრამული რეალიზაცია, რომლებიც საინჟინრო პრაქტიკაში დასაშვები სიზუსტით უზრუნველყოფენ წრფივი ამოცანების მარტივად და სწრაფად გადაწყვეტას; წრფივი დაპროგრამების ამოცანებში შემუშავებული იტერაციული ალგორითმების გამოყენების ეფექტურობა შეფასებულია სწრაფქმედების მიხედვით და ამ კრიტერიუმის მიხედვით ისინი შედარებულია სიმპლექს-მეთოდთან. შედარების საფუძველზე სიბრტყეზე გამოყოფილია აღნიშნული მეთოდების ეფექტური გამოყენების არეები, რომლებიც განსაზღვრულია ამოცანის განზომილებითა და შეზღუდვების რაოდენობით.

ნაშრომის აპრობაცია. დისერტაციის ძირითადი შედეგები მოხსენებულ და განხილულ იქნა საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ (ქუთაისი, ა. წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, 2010 წლის 21-22 მაისი), საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ა. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის ენერგეტიკის პრობლემების განყოფილებისა და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის სამეცნიერო სემინარებზე.

სადისერტაციო ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, სამი თავის, დასკვნისა და გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვლისაგან. ნაშრომის საერთო მოცულობა შეადგენს 135 გვერდს. მასში წარმოდგენილია, აგრეთვე, 8 ნახაზი, 8 ცხრილი და 55 დასახელების ციტირებული ლიტერატურის პირველწყარო.

შესავალში დასაბუთებულია დისერტაციის პრობლემატიკის აქტუალურობა და ფორმულირებულია ნაშრომის ძირითადი მიზნები და ამოცანები.

პირველ თავში განხილულია საქართველოს ელექტროენერგეტიკის პრობლემები, გაანალიზებული და შეფასებულია მისი ენერგეტიკული პოტენციალი. აღნიშნულია, რომ ბუნებრივ სიმდიდრეებს შორის პირველობა წყალსა და წყალთან დაკავშირებულ რესურსებს ეკუთვნის. საქართველოს ჰიდროენერგეტიკული პოტენციალი (მდინარეები, ტბები, წყალსაცავები, მყინვარები, მიწისქვეშა წყლები, ჭაობები), მისი ფართობის გათვალისწინებით, მსოფლიოში ერთ-ერთ პირველ ადგილზეა.

მართალია, საქართველოს ბუნებრივ სიმდიდრეებს შორის პირველობა წყალთან დაკავშირებულ რესურსებს ეკუთვნის, მაგრამ მას გააჩნია, აგრეთვე, ქვანახშირისა და მურა ნახშირის საკმაოდ მნიშვნელოვანი მარაგიც, რაც ქვეყნის ენერგოსისტემაში თბოსადგურების გამოყენებას უზრუნველყოფს.

დღევანდელ პირობებში, წიაღისეული ენერგორესურსების შემცირების ფონზე, აქტუალურია ქარის, მზის, გეოთერმული წყლების, ბიოგაზისა და სხვა ეკოლოგიურად სუფთა ენერჯის წყაროების გამოყენება ელექტროენერჯის წარმოებისათვის, თუმცა მათი პოტენციალი ჯერჯერობით ნაკლებადაა გამოყენებული.

პირველი თავის ბოლოს განხილულია ენერგეტიკული უსაფრთხოებისა და ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპტიმიზაციის საკითხები. ნაჩვენებია, რომ ენერგეტიკული უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად, უპირველეს ყოვლისა, საჭიროა ძირითადი აქცენტი გაკეთდეს ადგილობრივ ენერგორესურსებზე. ამასთან ერთად, არც თუ შორეული პერსპექტივისთვის, ელექტროენერჯის გენერაციის საორიენტაციო ნიშნულად მიღებულ იქნეს განვითარებული ქვეყნების თუნდაც დღეისათვის არსებული მაჩვენებელი - ერთ სულ მოსახლეზე მოსული წლიურად გამომუშავებული ელექტროენერჯია (დაახლოებით $7\div 8$ ათასი კილოვატსაათი), რაც ქვეყნის მასშტაბით შეადგენს დაახლოებით $40\div 45$ მილიარდ კილოვატსაათს წელიწადში. აქვე დასაბუთებულია საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის მათემატიკური მოდელის შემუშავების აუცილებ-

ლობა ადგილობრივი რესურსების რაციონალურად გამოყენებისა და ეკონომიკურად გამართლებული სისტემის ოპტიმალური სტრუქტურის დასადგენად.

მეორე თავში განხილულია სტატისტიკური ოპტიმიზაციის ამოცანები და მათი გადაწყვეტის მეთოდები და ალგორითმები. ოპტიმიზაციის მეთოდების მოკლე მიმოხილვაში განხილული და გაანალიზებულია როგორც უპირობო, ისე პირობითი ოპტიმიზაციის მრავალგანზომილებიანი დეტერმინირებული მეთოდები, მათ შორის წრფივი და არაწრფივი დაპროგრამების მეთოდები. მიმოხილვაში აღნიშნულია არსებითი ხასიათის ის შემზღუდავი პირობებიც (უნიმოდალურობა, უწყვეტობა, ამოხსნეჯილობა, დიფერენცირებადობა და ა.შ.), რომლის დროსაც ადგილი აქვს ამა თუ იმ მეთოდის კრებადობას.

წრფივი დაპროგრამების დიდი განზომილების ამოცანების გადასაწყვეტად შემოთავაზებულია გამოყენება ორი იტერაციული ალგორითმისა, რომლებიც შემუშავებულია პირველი – სიმძიმის ცენტრების მეთოდის ბაზაზე, ხოლო მეორე – მუდმივბიჯიანი გრადიენტული მეთოდის ბაზაზე.

განვიხილოთ წრფივი დაპროგრამების სტანდარტული ამოცანა:

$$\min \left\{ f(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \mid g_i(x) = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - b_i \leq 0, i = 1, 2, \dots, m; x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \right\}. \quad (1)$$

როგორც ცნობილია, წრფივი დაპროგრამების ამოცანებში სიმძიმის ცენტრების მეთოდის გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ დამოუკიდებელი x ცვლადების შემთხვევითი წესით გამომუშავება დასაშვებ ამონახსნების სიმრავლეში განხორციელდება. მაგრამ ცვლადების დასაშვები მნიშვნელობების ასეთი წესით განსაზღვრა დიდი რაოდენობის სტატისტიკური ცდების ჩატარებას ითვალისწინებს და დაკავშირებულია კომპიუტერული დროის მნიშვნელოვან დანაკარგებთან. დანაკარგების შემცირებისა და მეთოდის ეფექტურობის გაზრდის მიზნით შემუშავებულია დასაშვებ ამონახსნების განსაზღვრის დამხმარე ალგორითმი, რომლის იდეა შემდეგში მდგომარეობს.

R^n სივრცის ნებისმიერი $x^{(0)}$ წერტილიდან, რომელიც i -ურ უტოლობას არ აკ-

მაყოფილებს, განხორციელდება ორთოგონალური დაშვება ამ უტოლობის შესაბამის ჰიპერსიბრტყეზე შემდეგი რეკურენტული ფორმულის საშუალებით:

$$x_j^{(i+1)} = x_j^{(i)} - \beta_i \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j^{(i)} - b_i}{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

სადაც

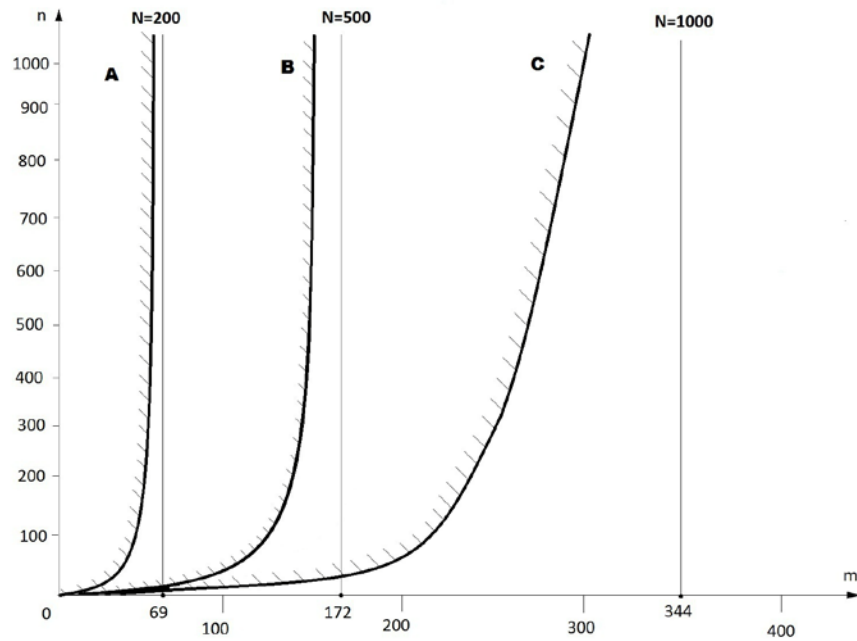
$$\beta_i = \begin{cases} 0, & \text{თუ } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j^{(i)} \leq b_i, \\ 1, & \text{თუ } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j^{(i)} > b_i. \end{cases} \quad (3)$$

იმ შემთხვევაში, როცა $x^{(0)}$ წერტილი ერთდროულად არ დააკმაყოფილებს შეზღუდვათა სისტემის რამდენიმე უტოლობას, მაშინ დასაშვები წერტილის მისაღებად ორთოგონალური დაშვება თანამიმდევრულად განხორციელდება თითოეული დაუკმაყოფილებელი უტოლობის მიმართ.

დასაშვებ ამონახსნების განსაზღვრის განხილული დამხმარე ალგორითმისა და სიმძიმის ცენტრების მეთოდის ბაზაზე შემუშავებული პირველი იტერაციული ალგორითმი საშუალებას გვაძლევს ოპტიმიზაციის წრფივი ამოცანები საინჟინრო პრაქტიკაში მისაღები სიზუსტით მარტივად და სწრაფად გადავწყვიტოთ.

პირველი იტერაციული ალგორითმის გამოყენების ეფექტურობა შეფასებულია სწრაფქმედების მიხედვით და ამ კრიტერიუმის მიხედვით იგი შედარებულია სიმპლექს-ალგორითმთან. შედარებითი ანალიზის საფუძველზე სიბრტყეზე გამოყოფილია აღნიშნული ალგორითმების ეფექტური გამოყენების არეები, რომლებიც განსაზღვრულია ამოცანის განზომილებითა და შეზღუდვების რაოდენობით. ნახ. 1-ზე წარმოდგენილი წირების ოჯახი საშუალებას გვაძლევს, სტატისტიკური ცდების კონკრეტული N რაოდენობის დროს, ვიმსჯელოთ იმის შესახებ, თუ წრფივი დაპროგრამების მოცემული ამოცანა რომელი

მეთოდით უფრო სწრაფად გადაწყდება. ასე მაგალითად, როცა $N = 500$, მაშინ B წირის დაშტრიხული არე ამოცანის ისეთ პარამეტრებს შეესაბამება, რომლის დროსაც სიმპლექს-მეთოდის გამოყენება, სწრაფქმედების მიხედვით, უფრო მიზანშეწონილია. მის საპირისპირო არეში კი, უპირატესობა პირველ იტერაციულ ალგორითმს ეკუთვნის, რომელიც, როცა $m > 172$, ცვლადების ნებისმიერი რაოდენობის შემთხვევაში ამოცანას უფრო სწრაფად გადაწყვეტს.



ნახ. 1

წრფივი დაპროგრამების დიდი განზომილების ამოცანების გადასაწყვეტად შემუშავებულია, აგრეთვე, მეორე იტერაციული ალგორითმი, რომლი ს არსი შემდეგში მდგომარეობს. დასაშვები არის საწყისი $x^{(0)} = (x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)})$ წერტილიდან განხორციელდება გადაადგილება მიზნის $f(x)$ ფუნქციის გრადიენტის ვექტორის მიმართულებით შემდეგი რეკურენტული ფორმულის საფუძველზე:

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \lambda \frac{\nabla f(x^{(k)})}{\sqrt{\nabla f(x^{(k)})^T \nabla f(x^{(k)})}}, \quad (4)$$

სადაც $\lambda > 0$ რაღაც დადებითი სიდიდეა, ხოლო $k = 0, 1, 2, \dots$ იტერაციების რიცხვია.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ წრფივი ფუნქციის კერძო წარმოებულები მიზნის ფუნქციის შესაბამის ცვლადებთან მდგომი კოეფიციენტების ტოლია

ანუ $\frac{df}{dx_1} = c_1, \frac{df}{dx_2} = c_2, \dots, \frac{df}{dx_n} = c_n$, მაშინ (4) გამოსახულება შეიძლება გავამარტივოთ და წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$x_j^{(k+1)} = x_j^{(k)} + \lambda \frac{c_j}{\sqrt{\sum_{j=1}^n c_j^2}}, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

ალგორითმის მიხედვით, გადაადგილების ყოველ ბიჯზე მიღებული წერტილი შემოწმდება შეზღუდვებზე. თუ მიღებული წერტილი მოცემულ შეზღუდვებს აკმაყოფილებს, რაც ნიშნავს, რომ წერტილი დასაშვებ ამონახსნთა არეშია, მაშინ ექსტრემუმისკენ მოძრაობა გაგრძელდება (5) რეკურენტული ფორმულის საფუძველზე; წინააღმდეგ შემთხვევაში მოძრაობა განხორციელდება $f(x)$ ფუნქციის ანტიგრადიენტის მიმართულებით, რისთვისაც საჭიროა გამოვიყენოთ დასაშვებ ამონახსნთა განსაზღვრის დამხმარე ალგორითმი. ამ უკანასკნელის საშუალებით განსაზღვრული წერტილი დაბრუნდება დასაშვებ არეში (უფრო ზუსტად, დასაშვები არის ზედაპირზე), საიდანაც (5) ფორმულის საშუალებით კვლავ განხორციელდება გადაადგილება $f(x)$ ფუნქციის გრადიენტის ვექტორის მიმართულებით და ა.შ. პროცესი გაგრძელდება მანამ, სანამ ადგილი ექნება მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობის გაზრდას. როგორც კი მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობა შემცირდება, ალგორითმით გათვალისწინებულია $x^{(k)}$ წერტილში დაბრუნება და ამ წერტილიდან მოძრაობის განახლება შემცირებული $\lambda/2$ ბიჯით. ბიჯის შემცირებას ადგილი აქვს მანამ, სანამ მისი მნიშვნელობა რაგინდ მცირე $\delta > 0$ სიდიდეზე ნაკლები არ აღმოჩნდება.

ალგორითმიზაციის თვალსაზრისით, მეორე იტერაციული ალგორითმი წარმოადგენს შემდეგი ოპერაციებისა და პროცედურების თანმიმდევრობას.

ბიჯი 1. შეირჩევა პროგრამული პარამეტრები:

– გადაადგილების ბიჯის პროპორციულობის კოეფიციენტი $\lambda > 0$;

– დასაშვები ცდომილების ზღვრული მნიშვნელობები:

$$\varepsilon > 0 \text{ და } \delta > 0;$$

ბიჯი 2. დასაშვებ ამონახსნის განსაზღვრის დამხმარე ალგორითმის საშუალებით გამოიმუშავდება $x^{(k)} \in \Omega$, სადაც $k = 0$;

ბიჯი 3. გამოითვლება მიზნის ფუნქცია $f(x^{(k)})$;

ბიჯი 4. (5) რეკურენტული ფორმულის საშუალებით განისაზღვრება ახალი წერტილი $x^{(k+1)}$, რომელიც შემოწმდება უტოლობებით მოცემულ შეზღუდვათა სისტემაზე;

ბიჯი 5. თუ შეზღუდვები დაკმაყოფილდება, მაშინ გამოითვლება მიზნის ფუნქცია $f(x^{(k+1)})$, განხორციელდება ალგორითმული შეჯამება $k = k + 1$ და გადავალთ მე-4 ბიჯზე; წინააღმდეგ შემთხვევაში გადავალთ მე-6 ბიჯზე;

ბიჯი 6. დასაშვებ ამონახსნის განსაზღვრის დამხმარე ალგორითმის საშუალებით განისაზღვრება $x^{(k+2)}$ წერტილი;

ბიჯი 7. გამოითვლება მიზნის ფუნქცია $f(x^{(k+2)})$;

ბიჯი 8. შემოწმდება უტოლობა $|f(x^{(k+2)}) - f(x^{(k+1)})| \leq \varepsilon$; თუ უტოლობა სამართლიანია, მაშინ გადავალთ მე-9 ბიჯზე, წინააღმდეგ შემთხვევაში განხორციელდება ალგორითმული შეჯამება $k = k + 1$ და გადავალთ მე-4 ბიჯზე;

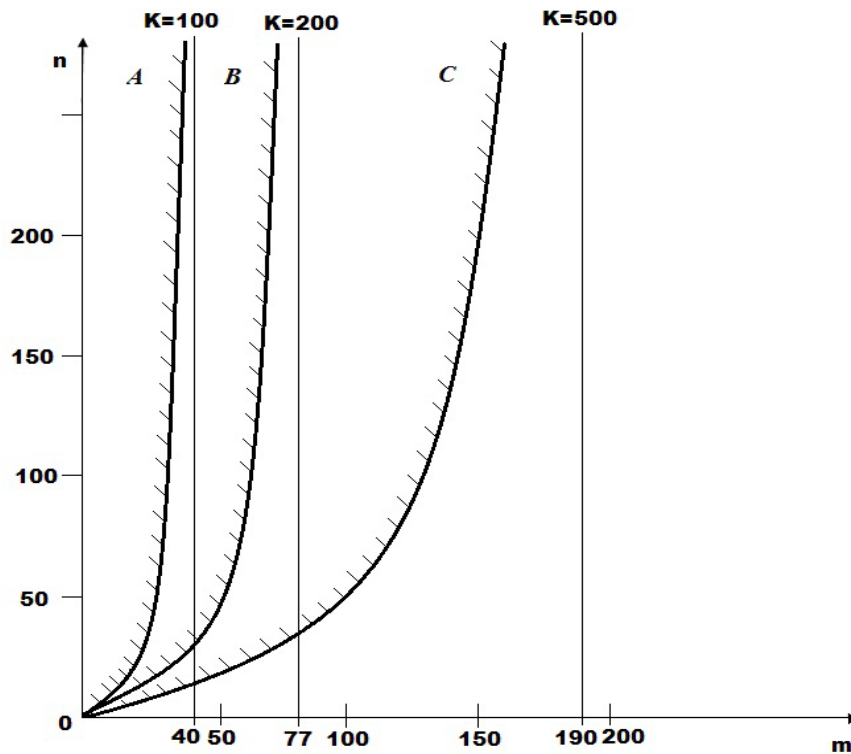
ბიჯი 9. ბიჯის პროპორციულობის კოეფიციენტი λ შემცირდება 2-ჯერ და შემოწმდება პირობა: $\lambda < \delta$. თუ უტოლობა სამართლიანია, მაშინ გა-

დავალთ მე-10 ბიჯზე; წი ნააღმდეგ შემთხვევაში განხორციელდება ალგორითმული შეჯამება $k = k + 1$ და გადავალთ მე-4 ბიჯზე;

ბიჯი 10. დაიბეჭდება ოპტიმალური ამონახსნი x^* , $f^* = f(x^*)$ და იტერაციების რიცხვი k ;

ბიჯი 11. ძებნის დასასრული.

მეორე იტერაციული ალგორითმი, ისევე როგორც პირველი, სწრაფქმედების მიხედვით შედარებულია სიმპლექს-ალგორითმთან. შედარებითი ანალიზის საფუძველზე, სიბრტყეზე გამოყოფილია აღნიშნული ალგორითმების ეფექტური გამოყენების არეები, რომლებიც განსაზღვრულია ამოცანის n ცვლადებისა და m შეზღუდვების რაოდენობით (ნახ. 2).



ნახ. 2

ნახ. 2-ზე წარმოდგენილი წირების ოჯახი საშუალებას გვაძლევს, იტერაციების კონკრეტული K რაოდენობის დროს, ვიმსჯელოთ იმის შესახებ, თუ წრფივი დაპროგრამების მოცემული ამოცანა რომელი მეთოდით უფრო სწრა-

ფად გადაწყდება. ასე მაგალითად, როცა $K = 100$, მაშინ A წირის დაშტრიხული არე ამოცანის ისეთ პარამეტრებს შეესაბამება, როდესაც სიმპლექს-ალგორითმის გამოყენება უფრო მიზანშეწონილია. მის საპირისპირო არეში კი, უპირატესობა ეკუთვნის მეორე იტერაციულ ალგორითმს, რომელიც როცა $m > 40$, მაშინ ნებისმიერი განზომილების ამოცანას სიმპლექს-ალგორითმთან შედარებით უფრო სწრაფად გადაწყვეტს.

ანალოგიური მსჯელობით შეიძლება დავასკვნათ, რომ როცა $K = 500$, მაშინ C წირის დაშტრიხავი არე ამოცანის ისეთ პარამეტრებს შეესაბამება, რომლის დროსაც მეორე იტერაციული ალგორითმის გამოყენება, სიმპლექს-ალგორითმთან შედარებით, უფრო მიზანშეწონილია. ამასთან, როცა $m > 190$, ცვლადების ნებისმიერი რაოდენობის შემთხვევაში ამოცანას უფრო სწრაფად გადაწყვეტს.

მესამე თავი ეძღვნება საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპტიმალური სტრუქტურის განსაზღვრას, რისთვისაც გამოყენებულია მეორე თავში შემუშავებული ოპტიმიზაციის იტერაციული ალგორითმები.

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის მათემატიკური საოპტიმიზაციო მოდელი შემუშავებულია საქართველოს ენერგეტიკისა და ბუნებრივი რესურსების სამინისტროს მონაცემების საფუძველზე. მასში გათვალისწინებულია დღეისათვის არსებული, მშენებარე და პერსპექტივაში ასაშენებელი ელექტროენერგიის გენერაციის 13 სხვადასხვა ტიპისა და სიმძლავრის ელექტროსადგური, რომელთა ერთობლივმა ფუნქციონირებამ ყოველწლიურად უნდა უზრუნველყოს 45 მილიარდი კილოვატსაათი ენერგიის გამომუშავება, მათ შორის 30 მილიარდი ბაზისური და 15 მილიარდი პიკური ელექტროენერგია.

ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპტიმალური სტრუქტურის დასადგენად გადაწყვეტილია შემდეგი ამოცანა: განვსაზღვროთ თუ რა ტიპის და რა სიმძლავრის ელექტროსადგურები უნდა აშენდეს საქართველოში, რომ კაპიტა-

ლური დაბანდებისა და საექსპლუატაციო ხარჯების ჯამი იყოს მინიმალური და, ამასთან, საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის მიერ ყოველწლიურად გამომუშავებული ელექტროენერგია ერთ სულ მოსახლეზე იყოს საშუალო ევროპული დონის (დაახლოებით $7 \div 8$ ათასი კილოვატსაათი წელიწადში), ხოლო საერთო წლიური გამომუშავება – 45 მილიარდი კილოვატსაათი.

აღნიშნული ამოცანის გადასაწყვეტად შედგენილია მათემატიკური მოდელი, რისთვისაც განხილულია ელექტროენერგის გენერაციის ის ტიპიური სადგურები, რომელთა საქართველოში მშენებლობა და ექსპლუატაცია, ზემოთ აღნიშნული მოსაზრებების გათვალისწინებით, მიზანშეწონილია. ასეთი სადგურებია:

1. მცირე ჰიდროელექტროსადგური I;
2. მცირე ჰიდროელექტროსადგური II;
3. მცირე ჰიდროელექტროსადგური III;
4. საშუალო ჰიდროელექტროსადგური;
5. წყალსაცავიანი ბაზისური ჰიდროელექტროსადგური;
6. წყალსაცავიანი პიკური ჰიდროელექტროსადგური;
7. ადგილობრივ ქვანახშირზე მომუშავე თბოელექტროსადგური;
8. ადგილობრივ მურა ნახშირზე მომუშავე თბოელექტროსადგური;
9. ადგილობრივ მაზუთზე მომუშავე თბოელექტროსადგური;
10. ადგილობრივ (ბაქო–თბილისი–ერზერუმის) აირზე მომუშავე თბოელექტროსადგური;
11. ქარის ენერგიაზე მომუშავე ელექტროსადგური;
12. იმპორტულ მაზუთზე მომუშავე თბოელექტროსადგური;
13. იმპორტულ აირზე მომუშავე თბოელექტროსადგური.

ელექტროენერგის გენერაციის ზემოთ აღნიშნული 13 სხვადასხვა ტიპის სადგურის ერთობლივმა ფუნქციონირებამ, როგორც უკვე იყო აღნიშნული, უნდა უზრუნველყოს ყოველწლიურად 45 მილიარდი კილოვატსაათი ენერგის

გამომუშავება. თუ გავითვალისწინებთ საქართველოში ელექტროენერჯის მოხმარების გრაფიკის ხასიათს, რომლის მიხედვითაც ბაზისური ენერჯია შეადგენს მთელი მოხმარებული ელექტროენერჯის დაახლოებით 2/3 ნაწილს, ხოლო პიკური ენერჯია კი 1/3 ნაწილს, მაშინ ბაზისური ელექტროენერჯის გამომუშავება წელიწადში უნდა შეადგენდეს $W_{03} = 45(2/3) = 30$ მილიარდ კილოვატსაათს, ხოლო პიკური ენერჯიის – $W_{03} = 45(1/3) = 15$ მილიარდ კილოვატსაათს. ვინაიდან ბაზისური ელექტროსადგურები წელიწადში დაახლოებით მუშაობენ 6000 საათს, ხოლო პიკური ელექტროსადგურები დაახლოებით – 3000 საათს, ამიტომ მოთხოვნილი ბაზისური სიმძლავრე უნდა შეადგენდეს $P_{03} = 30 \cdot 10^9 / 6 \cdot 10^3 = 5 \cdot 10^6$ კილოვატს, ხოლო მოთხოვნილი პიკური სიმძლავრე – $P_{03} = 15 \cdot 10^9 / 3 \cdot 10^3 = 5 \cdot 10^6$ კილოვატს. მაშასადამე, მოთხოვნილი ჯამური სიმძლავრე გვექნება: 10^7 კილოვატი.

აღნიშნოთ ზემოთ განხილული სადგურების ჯამური სიმძლავრეები, შესაბამისად, $P_1, P_2, P_3, \dots, P_{13}$, ხოლო ამ სადგურების მუშაობის წლიური საათების რაოდენობა, შესაბამისად, $t_1, t_2, t_3, \dots, t_{13}$.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, შედგენილია მიზნის ფუნქციის გამოსახულება, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე

$$F = \sum_{i=1}^{13} (Ea_i + C_i) P_i \rightarrow \min, \quad (6)$$

სადაც P_i არის i -ური ტიპის სადგურის ჯამური სიმძლავრე; a_i არის i -ური ტიპის სადგურის ერთეული სიმძლავრის ასაშენებლად საჭირო კაპიტალური დაბანდებები, დოლარი/კვტ; C_i არის i -ური ტიპის სადგურის ერთეულ სიმძლავრეზე გაწეული წლიური საექსპლუატაციო დანახარჯები, დოლ/კვტ. წ; E არის ნორმატიული კოეფიციენტი, რომელიც ნორმატიული ვადის შებრუნებული სიდიდეა $E = 1/T$, ელექტროენერჯეტიკაში მიღებულია $E = 0.12$.

(6) გამოსახულებაში C_i განისაზღვრება შემდეგი ფორმულების საშუალებით: $C_i = 0.03a_i$ ჰიდროელექტროსადგურებისა და ქარის სადგურებისათვის და $C_i = 0.065a_i + k_i b_i \bar{c}_i t_i$ თბოელექტროსადგურებისათვის, სადაც b_i არის i -ური ტიპის სადგურში 1 ერთეული კილოვატსათის მისაღებად საჭირო სათბობის რაოდენობა, კგ/კვტ.სთ (აირის შემთხვევაში მ³/კვტ.სთ). ცხადია, ჰესებისა და ქარის ელექტროსადგურების შემთხვევაში $b_i = 0$; \bar{c}_i არის i -ური ტიპის სადგურისთვის 1 კგ სათბობის ღირებულება, დოლარი/კგ (აირის შემთხვევაში დოლარი/მ³); k_i კოეფიციენტია, რომელიც ითვალისწინებს i -ური ტიპის სადგურისათვის სათბობის ტრანსპორტირებითა და სხვა გაუთვალისწინებელი გარემოებებით გამოწვეულ დანახარჯებს (ანუ ზარალს). აქედან გამომდინარე, ცხადია, შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ადგილობრივ სათბობებზე მომუშავე სადგურებისათვის $k_i = 1$, ხოლო იმპორტული სათბობის შემთხვევაში k_i -ის მნიშვნელობა იქნება $k_i > 1$. სხვადასხვა ტიპის სადგურებისთვის a_i , C_i , t_i , \bar{c}_i , b_i -ის მნიშვნელობები წარმოდგენილია ცხრილში 1.

საოპტიმიზაციო მოდელის შესადგენად შემოვიტანოთ შემდეგი სახის შეზღუდვები:

1. ენერგოსისტემაში შესაყვანი ახალი პიკური ელექტროსადგურების და არსებულის ჯამური სიმძლავრე მეტი უნდა იყოს მოთხოვნილ პიკურ სიმძლავრეზე:

$$P_6 + \bar{P}_6 \geq P_{03}, \quad (7)$$

სადაც P_{03} არის მოთხოვნილი პიკური სიმძლავრე, ხოლო \bar{P}_6 არის არსებული პიკური სადგურების ჯამური სიმძლავრე, $\bar{P}_6 = 2 \cdot 10^6$;

2. ენერგოსისტემაში შესაყვანი ახალი პიკური ელექტროსადგურების და არსებული პიკური სადგურების მიერ გამომუშავებული ენერგია მეტი უნდა იყოს მოთხოვნილ პიკურ ენერგიაზე:

$$t_6 P_6 \geq W_{03} - \bar{W}_3, \quad (8)$$

ცხრილი 1

#	სადგურის ტიპი	a_i	C_i	t_i	\bar{c}_i	b_i
		დოლ/კვტ	დოლ/კვტწ	სთ/წ	დოლ/კვ, დოლ/მ ³	კვ/კვტ.სთ, მ ³ /კვტ.სთ,
P_1	მცირე ჰესი I	1500	45	4500	-	-
P_2	მცირე ჰესი II	1400	42	4500	-	-
P_3	მცირე ჰესი III	1300	36	4500	-	-
P_4	საშუალო ჰესი	1500	45	4500	-	-
P_5	წყალსაცავიანი ბაზისური ჰესი	2000	60	6000	-	-
P_6	წყალსაცავიანი პიკური ჰესი	1500	45	3000	-	-
P_7	ადგილობრივ ქვანახ- შირზე მომუშავე თესი	1100	71.5	6000	0.03	0.6
P_8	ადგილობრივ მურა ნახშირზე მომუშავე თესი	1100	71.5	6000	0.02	0.95
P_9	ადგილობრივ მაზუ- თზე მომუშავე თესი	700	45.5	6000	0.15	0.24
P_{10}	ადგილობრივ აირზე მომუშავე თესი	550	35.75	6000	0.1	0.22
P_{11}	ქარის ელექტროსად- გური	1000	30	5000	-	-
P_{12}	იმპორტულ მაზუთ- ზე მომუშავე თესი	700	45.5	6000	0.3	0.24
P_{13}	იმპორტულ აირზე მომუშავე თესი	700	45.5	6000	0.24	0.22

სადაც W_{0p} არის მოთხოვნილი პიკური ენერგია, ხოლო \bar{W}_p – არსებული პიკური სადგურების მიერ გამომუშავებული ენერგია, $\bar{W}_p = 6 \cdot 10^9$;

3. ენერგოსისტემაში შესაყვანი ახალი ბაზისური ელექტროსადგურებისა და არსებული ბაზისური ელექტროსადგურების ჯამური სიმძლავრე უნდა აჭარბებდეს მოთხოვნას ბაზისურ სიმძლავრეზე:

$$\sum_{i=1, i \neq 6}^{13} P_i \geq P_{0b} - \bar{P}_b, \quad (9)$$

სადაც P_{0b} არის მოთხოვნილი ბაზისური სიმძლავრე, ხოლო \bar{P}_b - არსებული ბაზისური მოქმედი სადგურების ჯამური სიმძლავრე, $\bar{P}_b = 0.8 \cdot 10^6$;

4. ასაშენებელი ბაზისური სადგურების და არსებული ბაზისური სადგურების მიერ გამომუშავებული ჯამური ენერგია მეტი უნდა იყოს მოთხოვნილ ბაზისურ ენერგიაზე:

$$\sum_{i=1, i \neq 6}^{13} t_i P_i \geq W_{0b} - \bar{W}_b, \quad (10)$$

სადაც W_{0b} არის მოთხოვნილი ბაზისური ენერგია, ხოლო \bar{W}_b - არსებული ბაზისური სადგურების მიერ გამომუშავებული ენერგია, $\bar{W}_b = 4.8 \cdot 10^9$;

5. წყალსაცავიანი ბაზისური ელექტროსადგურების ჯამური სიმძლავრე ვერ გადააჭარბებს იმას, რისი შესაძლებლობაც არის საქართველოს მდინარეებზე:

$$P_5 \leq P_{05}, \quad (11)$$

დღევანდელი მონაცემებით $P_{05} \approx (2 \div 2.5) \cdot 10^6$ კვტ.

6. ადგილობრივ ქვანახშირზე მომუშავე თბოელექტროსადგურების მიერ გამომუშავებული ენერგია ვერ გადააჭარბებს იმ ენერგიას, რომლის გამომუშავებაც შესაძლებელია საქართველოში მოპოვებული ქვანახშირით:

$$t_7 P_7 \leq W_{07}. \quad (12)$$

ექსპერტთა შეფასებით, არც თუ შორეულ მომავალში, შესაძლებელია საქართველოში ქვანახშირის მოპოვება გაუტოლდეს 3 მილიონ ტონას წელიწადში. ტყიბულის ქვანახშირის თბოუნარიანობის მიხედვით 1 კვტ. სთ ენერგიის გამომუშავებას სჭირდება დაახლოებით 0.6 კგ, რაც ნიშნავს

$$W_{07} \approx 5 \cdot 10^9 \text{ კვტ. სთ/წ.}$$

7. (12)-ის ანალოგიური შეზღუდვა შემოვიტანოთ ადგილობრივ მურა ნახშირზე მომუშავე თბოელექტროსადგურებისათვის:

$$t_8 P_8 \leq W_{08}. \quad (13)$$

ექსპერტთა შეფასებით, ახალციხის მურა ნახშირის მოპოვებამ შეიძლება შეადგინოს 1 მილიონი ტონა წელიწადში. მურა ნახშირის საშუალო თბოუნარიანობიდან გამომდინარე, 1 კვტ. სთ ელექტროენერჯის მისაღებად საჭიროა 0.95 კგ მურა ნახშირი. რაც ნიშნავს

$$W_{08} \approx 10^9 \text{ კვტ. სთ/წ.}$$

8. (12)-ის და (13)-ის ანალოგიური შეზღუდვა გვექნება ადგილობრივ მაზუთზე მომუშავე თბოელექტროსადგურებისათვის:

$$t_9 P_9 \leq W_{09}. \quad (14)$$

საქართველოს ნავთობგადამამუშავებელ ქარხნებში, ახლო მომავალში, შესაძლებელი იქნება გადამამუშავდეს როგორც ადგილობრივი, ისე ბაქო-სუფსა, ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის მაგისტრალებით გამავალი ნავთობის ნაწილი, დაახლოებით 4÷5 მილიონი ტონა წელიწადში. თანამედროვე ტექნოლოგიებით ამ რაოდენობის ნავთობის გადამამუშავების შედეგად შეიძლება მივიღოთ დაახლოებით 1 მილიონი ტონა მაზუთი წელიწადში. 1 კილოვატისათვის ელექტროენერჯის მისაღებად საჭიროა 0.25 კგ მაზუთი. აქედან გამომდინარე, 10^9 კგ მაზუთის დაწვით მივიღებთ $4 \cdot 10^9$ კვტ.სთ/წ ანუ

$$W_{09} \approx 4 \cdot 10^9 \text{ კვტ. სთ/წ.}$$

9. ადგილობრივ აირზე მომუშავე თბოელექტროსადგურებში გამომუშავებული ელექტროენერჯია ვერ გადააჭარბებს იმას, რის შესაძლებლობასაც მოგვცემს მოპოვებული აირი:

$$t_{10} P_{10} \leq W_{010}. \quad (15)$$

ექსპერტთა შეფასებით, ახლო მომავალში, საქართველოში შაჰ-დენიშ-თურქეთის გაზსადენიდან საქართველოსთვის განკუთვნილი აირის ჩათვლით,

შეიძლება მოპოვებულ იქნეს წელიწადში დაახლოებით 2 მილიარდი მ³ ბუნებრივი აირი. ამ რაოდენობის ბუნებრივი აირის დაწვით მიღებული ენერგია შეადგენს დაახლოებით $7 \cdot 10^9$ კილოვატსაათს წელიწადში. აქედან ნახევარი გამომუშავებული იქნება არსებულ ენერგობლოკებში, ამიტომ შეიძლება დავწეროთ, რომ

$$W_{010} \approx 3.5 \cdot 10^9 \text{ კვტ სთ/წ.}$$

10. ქარის ელექტროსადგურების ჯამური სიმძლავრე ვერ გადააჭარბებს საქართველოში არსებული ქარის რეალურად გამოყენებად სიმძლავრეს:

$$P_{11} \leq P_{011}. \quad (16)$$

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ქარის ელექტროსადგურებიდან რეალურად შეიძლება მივიღოთ 2÷3 მილიარდი კილოვატსაათი ელექტროენერგია წელიწადში. თუ ჩავთვლით, რომ ქარის სადგურებისათვის $t_{11} = 5000$ სთ/წ, შეიძლება დავწეროთ:

$$P_{011} \approx 0.5 \cdot 10^6 \text{ კვტ.}$$

შეზღუდვები არ დავუწესეთ მცირე და საშუალო ჰესებს, ვინაიდან ასეთი ჰესებისათვის საჭირო პოტენციალი გაცილებით მეტია იმ პოტენციალზე, რისი გამოყენებაც მცირე და საშუალო ჰესების საშუალებით ეკონომიკურად გამართლებულია.

ასევე არ დავუწესეთ შეზღუდვებს იმპორტულ ორგანულ სათბობზე მომუშავე თბოელექტროსადგურებს, რადგანაც, პრაქტიკული თვალსაზრისით, არსებული კომუნიკაციები იძლევა იმის ტექნიკურ საშუალებას, რომ იმპორტული სათბობი ქვეყანაში შემოტანილ იქნეს იმ რაოდენობით, რამდენიც იქნება მოთხოვნაც.

ამგვარად, ზემოთ აღნიშნული (7) ÷ (16) შეზღუდვების პირობებში, საჭიროა განვსაზღვროთ თუ რა ტიპის და რა სიმძლავრის ელექტროსადგურები უნდა აშენდეს ქვეყანაში, რომ სადგურის ექსპლუატაციაში შესვლიდან მის რენტა-

ბელოზაზე გადასვლამდე ან დროის გარკვეული, ჩვენთვის საინტერესო, პერიოდისათვის, მიზნის (6) ფუნქცია, რომელიც კაპიტალური დაბანდებებისა და საექსპლუატაციო ხარჯების ჯამს გამოსახავს, იყოს მინიმალური.

როგორც ვხედავთ ფორმულირებული ამოცანა წარმოადგენს წრფივი დაპროგრამების ამოცანას. მისი ამოხსნისათვის გამოყენებულ იქნა ჩვენ მიერ შემუშავებული იტერაციული ალგორითმები, რომელთა საშუალებით მიღებული შედეგები თითქმის იდენტურია.

ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნით მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ქვემოთ. წარმოდგენილი მონაცემები შეესაბამება ელექტროენერჯის დირებულების შემდეგ ტარიფს $T = 0.07$ დოლ/კვტ სთ.

წრფივი დაპროგრამების (6) ÷ (16) ამოცანა გადაწყვეტილ იქნა არსებული შემდეგი სიმძლავრეების გათვალისწინებით:

$$P_5 = 0.33 \cdot 10^6 \text{ კვტ}, P_6 = 2.0 \cdot 10^6 \text{ კვტ}, P_{10} = 0.58 \cdot 10^6 \text{ კვტ}$$

და k კოეფიციენტის შემდეგი მნიშვნელობისას $k = 1$.

იტერაციული ალგორითმებით მიღებულ იქნა შემდეგი ოპტიმალური ამონახსნი:

$$\begin{aligned} P_1^* &= 0, & P_2^* &= 0.24 \cdot 10^6, & P_3^* &= 0.67 \cdot 10^6, & P_4^* &= 0.53 \cdot 10^6, \\ P_5^* &= 2.00 \cdot 10^6, & P_6^* &= 2.28 \cdot 10^6, & P_7^* &= 0, & P_8^* &= 0, & P_9^* &= 0, \\ P_{10}^* &= 0.67 \cdot 10^6, & P_{11}^* &= 0.50 \cdot 10^6, & P_{12}^* &= 0, & P_{13}^* &= 0, \\ F^* &= 31\,416.93 \cdot 10^6. \end{aligned}$$

ამგვარად, 45 მილიარდი კილოვატსაათი ოდენობის ელექტროენერჯიაზე მოთხოვნის დასაკმაყოფილებლად, როცა $k = 1$, საჭიროა საქართველოში შემდეგი სიმძლავრეების ექსპლუატაციაში შეყვანა:

1. II ტიპის მცირე ჰიდროელექტროსადგურები ჯამური სიმძლავრით:

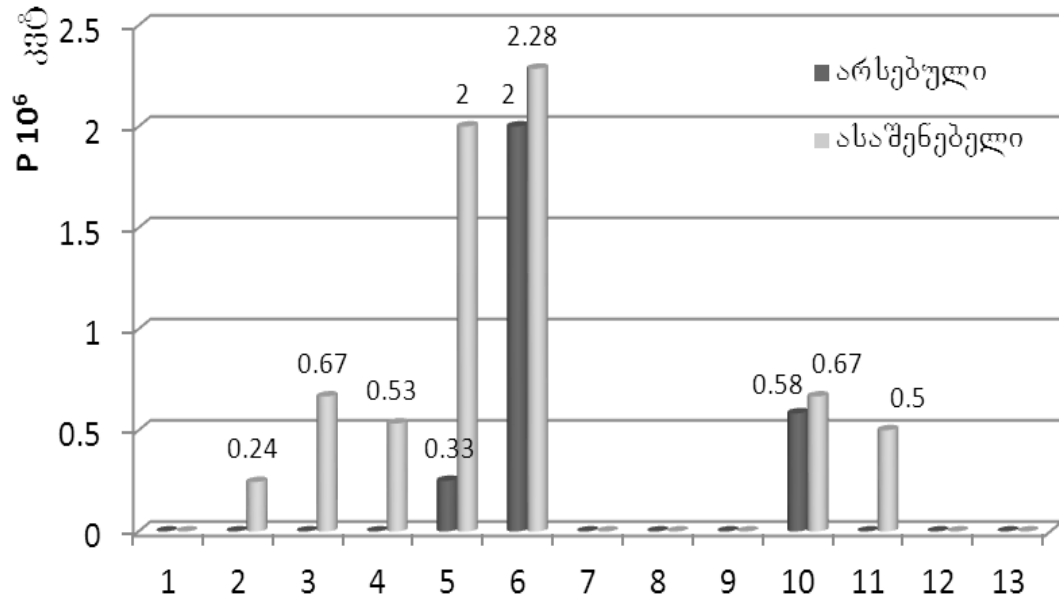
$$P_2^* = 0.24 \cdot 10^6 \text{ კილოვატი};$$

2. III ტიპის მცირე ჰიდროელექტროსადგურები ჯამური სიმძლავრით:
 $P_3^* = 0.67 \cdot 10^6$ კილოვატი;
3. საშუალო ჰიდროელექტროსადგურები ჯამური სიმძლავრით:
 $P_4^* = 0.53 \cdot 10^6$ კილოვატი;
4. წყალსაცავიანი ბაზისური ჰიდროელექტროსადგურები ჯამური სიმძლავრით: $P_5^* = 2.00 \cdot 10^6$ კილოვატი;
5. წყალსაცავიანი პიკური ჰიდროელექტროსადგურები ჯამური სიმძლავრით: $P_6^* = 2.28 \cdot 10^6$ კილოვატი;
6. ადგილობრივ (ბაქო–თბილისი–ერზერუმის) აირზე მომუშავე თბოელექტროსადგურები ჯამური სიმძლავრით: $P_{10}^* = 0.67 \cdot 10^6$ კილოვატი;
7. ქარის ენერჯიაზე მომუშავე ელექტროსადგურები ჯამური სიმძლავრით: $P_{11}^* = 0.50 \cdot 10^6$ კილოვატი;

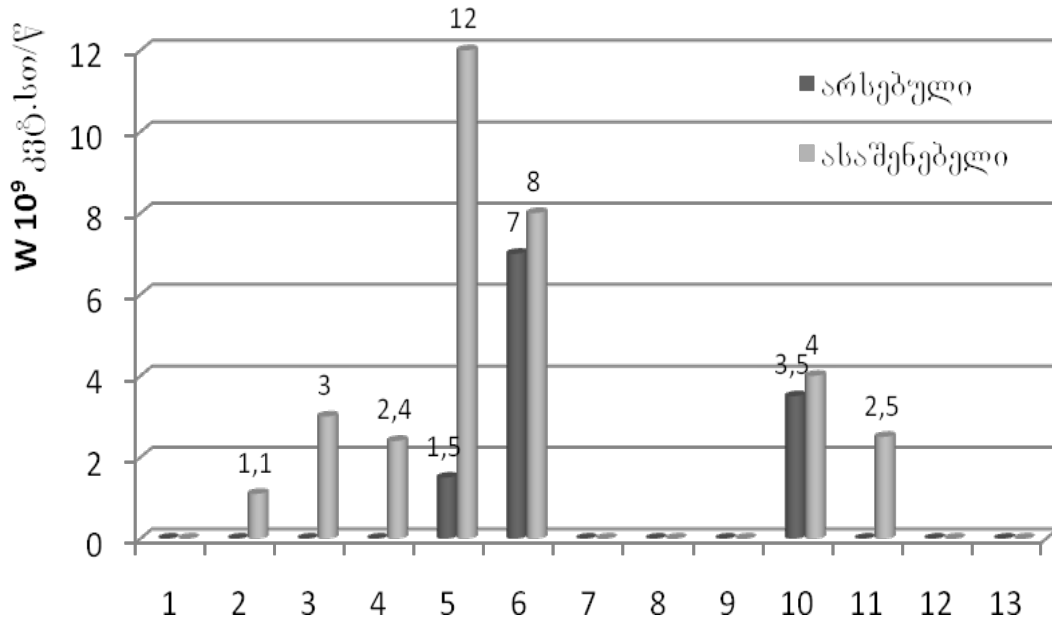
მიღებული სტრუქტურის მისაღწევად კაპიტალური დაზანდებებისა და საექსპლუატაციო ხარჯების საერთო რაოდენობა შეადგენს $F^* = 31\,416.93$ მილიონ დოლარს.

მიღებული შედეგების საფუძველზე ნახ. 3-ზე წარმოდგენილია საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპტიმალური სტრუქტურა იმ შემთხვევისათვის, როცა ელექტროენერჯიაზე ქვეყნის მოთხოვნა შეადგენს არანაკლებ 45 მილიარდ კილოვატსათს წელიწადში, ხოლო ნახ. 4-ზე წარმოდგენილია საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპტიმალური სტრუქტურა გამომუშავებული ენერჯიის მიხედვით.

როგორც წარმოდგენილი გრაფიკებიდან ჩანს, ორგანულ სათბობებზე არსებული ფასების პირობებში, სრულიად კონკურენტუნაროა იმპორტულ ენერგორესურსებზე მომუშავე თბოელექტროსადგურები.



ნახ. 3. საქართველოს ელექტროსადგურების ოპტიმალური სტრუქტურა (სიმულაციები)



ნახ. 3. საქართველოს ელექტროსადგურების ოპტიმალური სტრუქტურა (გამომუშავებული ენერჯია)

ამრიგად, მიღებული შედეგების მიხედვით შეიძლება დავასკვნათ, რომ საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემას პრაქტიკულად შეუძლია ელექტროენერგიაზე მოთხოვნის ადგილობრივი ენერგორესურსებით დაკმაყოფილება წელიწადში 45 მილიარდი კილოვატსაათის დონეზე.

დასკვნაში ფორმულირებულია სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი სამეცნიერო და პრაქტიკული შედეგები, რომლებიც მდგომარეობს შემდეგში:

1. ელექტროენერგეტიკა ქვეყნის ეკონომიკური განვითარების ძირითადი საფუძველია. ეკონომიკური განვითარების დონის ერთ-ერთ ძირითად მაჩასათებად მიღებულია ერთ სულ მოსახლეზე მოსული წლიურად მოხმარებული ელექტროენერგია. განვითარებული ქვეყნებისათვის, როგორცაა, მაგალითად, აშშ, კანადა, ნორვეგია, შვეცია და სხვ., ერთ სულ მოსახლეზე მოსული წლიურად მოხმარებული ელექტროენერგია ბევრად აჭარბებს 10 000 კილოვატსაათს. ევროპის განვითარებული ქვეყნებისათვის ეს მაჩვენებელი $5\ 000 \div 10\ 000$ კილოვატსაათის ფარგლებშია;
2. უკანასკნელი ოთხი ათეული წლის განმავლობაში საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემა, როგორც ცნობილია, მკვეთრად დეფიციტური იყო, რაც განპირობებული იყო იმ არასწორი ენერგეტიკული პოლიტიკით, რომელიც ჩვენ ქვეყანაში წლების მანძილზე ტარდებოდა. მიუხედავად იმისა, რომ უკანასკნელ წლებში გარკვეულწილად გაუმჯობესდა ქვეყნის ელექტროენერგით მომარაგება, უმძიმესი კრიზისი, რომელიც გასული საუკუნის 90-იან წლებიდან დაიწყო, არ შეიძლება ჩაითვალოს დაძლეულად. ამის საილუსტრაციოდ საკმარისია აღინიშნოს, რომ ამჟამად საქართველოს მიერ ყოველწლიურად მოხმარებული ელექტროენერგია შეადგენს დაახლოებით 9 მილიარდ კილოვატსაათს, ხოლო ერთ სულ მოსახლეზე მოსული წლიურად მოხმარებული ენერგია - 1700 კილოვატსაათს წელიწადში.
3. დღეისათვის არსებული ტექნიკურ-ეკონომიკური მონაცემების საფუძველზე შემუშავებულია საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის სა-

ოპტიმიზაციო მათემატიკური მოდელი, რომელმაც საშუალება მოგვცა დაგვედგინა აღნიშნული სისტემის ოპტიმალური სტრუქტურა ანუ დაგვედგინა ელექტროგენერაციის ტიპი და სიმძლავრე იმ ელექტროსადგურებისა, რომელთა ექსპლუატაციაში შესვლიდან რენტაბელობაზე გადასვლის დროის მონაკვეთისათვის, კაპიტალური დაბანდებისა და საექსპლუატაციო ხარჯების ჯამი მინიმალურია და, ამასთან, უზრუნველყოფილია ელექტროენერგიის საერთო წლიური გამომუშავება 45 მილიარდი კილოვატსაათი, ხოლო მოსახლეობის ერთ სულზე მოსული ყოველწლიური ელექტროენერგია - დაახლოებით $7 \div 8$ ათასი კილოვატსაათი.

4. შემუშავებულია არაწრფივი ოპტიმიზაციის ცნობილი მეთოდის - სიმძიმის ცენტრების მეთოდის საუძველზე წრფივი დაპროგრამების ამოცანების გადაწყვეტის პირველი იტერაციული ალგორითმი და შესაბამისი პროგრამული რეალიზაცია, რომელიც ოპტიმიზაციის დიდი განზომილების ამოცანების საინჟინრო პრაქტიკაში დასაშვები სიზუსტით მარტივად და სწრაფად გადაწყვეტის საშუალებას იძლევა;
5. შემუშავებულია მუდმივბიჯიანი გრადიენტული მეთოდის საფუძველზე წრფივი დაპროგრამების ამოცანების გადაწყვეტის მეორე იტერაციული ალგორითმი და შესაბამისი პროგრამული რეალიზაცია, რომელიც ოპტიმიზაციის საშუალო და დიდი განზომილების ამოცანების საინჟინრო პრაქტიკაში დასაშვები სიზუსტით მარტივად და სწრაფად გადაწყვეტის საშუალებას იძლევა;
6. წრფივი დაპროგრამების ამოცანებში შემუშავებული იტერაციული ალგორითმების გამოყენების ეფექტურობა შეფასებულია სწრაფქმედების მიხედვით და ამ კრიტერიუმის მიხედვით ისინი შედარებულია ცნობილ სიმპლექს-ალგორითმთან. შედარების საფუძველზე სიბრტყეზე გამოყოფილია აღნიშნული ალგორითმების ეფექტური გამოყენების არეები, რომლებიც განსაზღვრულია ამოცანის განზომილებითა და შეზღუდვების რაოდენობით.

7. ოპტიმიზაციის იტერაციული ალგორითმის გამოყენებით განსაზღვრულია საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპტიმალური სტრუქტურა, რომლის პრაქტიკული რეალიზაცია შესაძლებელია ადგილობრივი რესურსებით.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი ასახულია შემდეგ გამოქვეყნებულ ნაშრომებში:

1. თ. მაგრაქველიძე, ვ. ჭიჭინაძე, ხ. ლომიძე, მ. ჯანიკაშვილი, ი. არჩუაძე, ნ. კურკუმული. საქართველოს ენერგეტიკული რესურსების ოპტიმალურად გამოყენებისა და ენერგეტიკული უსაფრთხოების პრობლემების შესახებ. ა. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, 14, 2010. გვ. 131–136.
2. ნ. ჯიბლაძე, ლ. გაჩეჩილაძე, ნ. კურკუმული. ალგორითმიზაციის საფუძვლები. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2004.
3. ნ. ჯიბლაძე, ნ. კურკუმული. წრფივი დაპროგრამების ამოცანების მიახლოებითი გადაწყვეტის ალგორითმის შესახებ. ა. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, 15, 2011. გვ. 67–72.
4. ნ. ჯიბლაძე, ნ. კურკუმული, ვ. ასკურავა. ოპტიმიზაციის მეთოდების ლაბორატორიული სამუშაოები. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2012.
5. თ. მაგრაქველიძე, ხ. ლომიძე, ა. მიქაშაძე, მ. ჯანიკაშვილი, ი. არჩუაძე, ნ. კურკუმული. საქართველოს ენერგეტიკული უსაფრთხოებისა და ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპტიმიზაციის ზოგიერთი საკითხის შესახებ. საერთაშორისო სამეცნიერო-მეთოდური კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები.“ მოხსენებების კრებული. ა. წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქ. ქუთაისი, 21-22 მაისი, 2010.

Summary

Electrical energy is the vital term of the country economics for its healthy functioning. It is main bases for economical development of the country. One of the characteristics of the level of economical development in the country is considered the energy consumed by a person in a year, For the developed countries as USA, Canada, Norway, Switzerland and so far the energy consumed in a year by a person exceeds vastly 10 000 KWh. Moreover, for the developed countries in Europe this index is within 5 000-10 000 KWh.

The energy system of Georgia foe the last four decades as it is well known was sharply deficit that was conditioned by the wrong energy policy, which was carried out for years. Because of such a policy, Georgian energy was majorly based on organic imported fuel, and little part of hydro resources was used from the local energy resources. All of these was considered economically justified due to the prices of the organically fuel in the former Soviet Union terms which was reduced artificially.

Despite the fact that in the last year provision with the energy was improved significantly, the heaviest crises, which started in 90s of the last century, cannot be considered as overcome. To illustrate this it is enough to mention that nowadays the energy consumed by Georgia annually amounts to about 9 billion KWh, and annual consumed energy by a person amounts to 1700 KWh. It is worth mentioning that at the end of 80s of 20ieth century the energy stations in Georgia annually produced about 15 billion KWh.

Nowadays when the prices on the organic fuel increases dramatically and storage of the world's organic fuel under the data of the council of world's energy decreases significantly it is vivid that the energetic based on imported fuel is very unjustified from an economical as well as independent country' point of view.

In consideration of the mentioned fact at present, the application of hydro energy resources is given great significance.

Actuality of the theme. Georgia as it is known is rich of hydro energy resources. The hydro energetic potential of Georgian rivers amounts to about 320 billion KWh in a year. From this technical potential is approximately 90 billion KWh in a year and annual potential justified economically is 45-50 billion KWh. We shall mention that at present only 12% of technical hydro energetic potential is applied.

There in Georgia we have also quite storage of coal and brown coal. In addition, the country has so called not traditional resources – wind, the sun, geothermic waters, bio energy and so far. It is obvious that in the energy point of view it is necessary to be elaborated such an energy policy the realization of which will provide rational application of the local energy resources and country's satisfaction by the energy.

The great significance is awarded to economic issues in the elaboration of energy policy without which it is practically impossible to ascertain competitiveness of this or that energy resources.

In reference to this presently, it is urgent to ascertain the optimal system of electrical energy of Georgia, which may be carried out with total analyses, mathematical modeling and optimization of the mentioned system.

The objective of the work. The theses work objective is to elaborate the mathematical model of the electro energy system of Georgia and to define its optimal structure through the optimization figural methods. The unity of different types and capacity of electrical energy stations, which provides with energy the country, is meant in the optimal structure of the electro energy system, for which it is necessary that Georgian electrical system averagely elaborated annually for a person equally to European level (about 7-8 KWh annually), and generally 45 billion KWh annually.

The main results of the theses and scientific news. The mathematical optimization model of Georgian energy system is elaborated the resolution of which gave us opportunity to ascertain its optimal structure, namely to ascertain the type and capacity of the energy stations. The sum of the expenses of exploitation and capital

storage in the gap of the time of shift of their exploitation to their profitability is minimal. In addition, they provide the resources in a year, which amounts to 45 billion KWh.

The Georgia mathematical system optimization model is resolved with the iteration algorithms of optimization, which is elaborated on the bases of the known methods of gravity center and constant step gradient methods. The mentioned algorithms manage to solve the great linear tasks simply and swiftly in the engineering practice with the feasible precision.

Affectivity of the application of the elaborated iterative algorithms according to the swift action and criteria also are compared with the simplex method. On the bases of comparisons, the areas of the effective application of the mentioned methods are noted on the flat surface, which is defined with the measurement of the tasks and limitation numbers.