

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპტიმალური სტრუქტურის განსაზღვრა

ელეა გაჩეჩილაძე, ნანა კურკუმული, სოფიო ბარნოვი, ლია ნონიკაშვილი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

ნაშრომში დასმული და გადაწყვეტილია საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის მათემატიკური მოდელის შემუშავებისა და მისი ოპტიმალური სტრუქტურის განსაზღვრის ამოცანა. ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპტიმალურ სტრუქტურაში იგულისხმება სხვადასხვა ტიპისა და სიმძლავრის ელექტროსადგურების ერთობლიობა, რომელიც უზრუნველყოფს ელექტროენერგიით ქვეყნის დაკმაყოფილებას, რისთვისაც აუცილებელია, რომ საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის მიერ ყოველწლიურად გამოშვებული ელექტროენერგია ერთ სულ

მოსახლეზე იყოს საშუალო ევროპული დონის (დაახლოებით 7 ± 8 ათასი კილოვატსაათი წელიწადში), ხოლო საერთო წლიური გამოშვება – 45 მილიარდი კილოვატსაათი.

საკვანძო სიტყვები: გრადიენტული მეთოდი. სიმძიმის ცენტრების მეთოდი. იტერაციული ალგორითმი. ელექტროენერგია. ბაზისური სიმძლავრე. პიკური ენერგია. პიკური სიმძლავრე.

1. შესავალი

ცნობილია, რომ ელექტროენერგიის წარმოება საქართველოში 1887 წ. დაიწყო. ისტორიულ წყაროებზე დაყრდნობით, თბილისში ელექტროგანათების გამოყენების პირველი ინიციატორი ქართველი მწერალი და საზოგადო მოღვაწე ილია ჭავჭავაძე გახლდათ. საქართველოს ჰიდროენერგეტიკული პოტენციალი მსოფლიოში ერთ-ერთ პირველ ადგილზეა ფართობის გათვალისწინებით.

სამწუხაროა, მაგრამ ფაქტია, საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემა უკანასკნელი ოთხი ათეული წლის განმავლობაში მკვეთრად დეფიციტური იყო, რაც განპირობებული გახლდათ არასწორი ენერგეტიკული პოლიტიკით, რომელიც წლების განმავლობაში ხორციელდებოდა საქართველოში. ასეთი პოლიტიკის შედეგად საქართველოს ელექტროენერგეტიკა დიდწილად დაფუძნებული იყო იმპორტულ ორგანულ სათბობებზე, ხოლო საქართველოს ჰიდროენერგორესურსების მხოლოდ მცირე ნაწილი იყო ათვისებული.

უკანასკნელ წლებში გარკვეულწილად გაუმჯობესდა ქვეყნის ელექტროენერგიით მომარაგება, თუმცა, უმძიმესი კრიზისი, რომელიც გასული საუკუნის 90-იან წლებიდან დაიწყო, არ შეიძლება ჩაითვალოს დაძლეულად. ორგანულ სათბობებზე ფასების ზრდის არნახული ტემპების პირობებში განსაკუთრებით დიდ მნიშვნელობას იძენს ჰიდროენერგორესურსების ათვისება. საქართველო, კი ცნობილია მდიდარი ჰიდროენერგეტიკული რესურსებით.

ენერგეტიკული პოლიტიკის შემუშავებაში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ეკონომიკურ საკითხებსაც, რომლის გარეშეც პრაქტიკულად შეუძლებელია ამა თუ იმ ენერგორესურსის კონკურენტუნარიანობის დადგენა. ამასთან დაკავშირებით, დღეისათვის აქტუალურია საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპტიმალური სტრუქტურის განსაზღვრა, რაც აღნიშნული სისტემის ყოველმხრივი ანალიზის, მათემატიკური მოდელირებისა და ოპტიმიზაციის რიცხვითი მეთოდების საშუალებით შეიძლება განხორციელდეს.

2. ძირითადი ნაწილი

ნაშრომის მიზანია განისაზღვროს, თუ რა ტიპის და რა სიმძლავრის ელექტროსადგურები უნდა აშენდეს საქართველოში, რომ კაპიტალური დაბანდებისა და საექსპლუატაციო ხარჯების ჯამი იყოს მინიმალური და ენერგიის საერთო წლიური გამოშვება შეადგენდეს 45 მლრდ. კვტ.სთ-ს. აღნიშნული ამოცანის გადასაწყვეტად მივმართავთ ოპტიმიზაციის წრფივი დაპროგრამების დიდი განზომილების ამოცანას, რომლის სარეალიზაციოდ შემოთავაზებულია ორი იტერაციული

ალგორითმის გამოყენება. პირველი ალგორითმი შემუშავებულია სიმძიმის ცენტრების მეთოდის ბაზაზე, ხოლო მეორე – მულტიპლიკატიური გრადიენტული მეთოდის ბაზაზე.

განვიხილოთ წრფივი დაპროგრამების სტანდარტული ამოცანა: [1,4].

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

როგორც ცნობილია, წრფივი დაპროგრამების ამოცანებში სიმძიმის ცენტრების მეთოდის გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ დამოუკიდებელი x ცვლადების შემთხვევითი წესით გამოშუშავება დასაშვებ ამონახსნთა სიმრავლეში განხორციელდება. მაგრამ ცვლადების დასაშვები მნიშვნელობების ასეთი წესით განსაზღვრა დიდი რაოდენობით სტატისტიკური ცდების ჩატარებას ითვალისწინებს, რაც კომპიუტერული დროის მნიშვნელოვან დანაკარგებს უკავშირდება. მეთოდის ეფექტურობის გაზრდის მიზნით შევიშუშავებთ დასაშვებ ამონახსნთა განსაზღვრის დამხმარე ალგორითმი, რომლის იდეა შემდეგში მდგომარეობს. R^n სივრცის ნებისმიერი $x^{(0)}$ წერტილიდან, რომელიც i -ურ უტოლობას არ აკმაყოფილებს, განხორციელდება ორთოგონალური დაშვება ამ უტოლობის შესაბამის ჰიპერსიბრტყეზე შემდეგი რეკურენტული ფორმულის საშუალებით:

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

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 თანმიმდევრულად ხორციელდება თითოეული დაუკმაყოფილებელი უტოლობის მიმართ.

დასაშვები 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 [2].

წრფივი დაპროგრამების დიდი განზომილების ამოცანების გადასაწყვეტად შემუშავებულია, აგრეთვე, მეორე იტერაციული ალგორითმი, რომლის 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 შემდეგი სახით წარმოვადგინოთ:

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

ალგორითმის მიხედვით, გადაადგილების ყოველ ბიჯზე მიღებული წერტილი შემოწმდება შეზღუდვებზე [3].

სწორედ, ზემოთ წარმოდგენილი ალგორითმების საფუძველზე გადაწყვეტილ იქნა ნაშრომში დასმული ამოცანა, რომლის მიზნის ფუნქციას აქვს შემდეგი სახე:

$$L = \sum_{i=1}^n (Ea_i + C_i)P_i \rightarrow \min \quad (6)$$

სადაც, P_i არის i -ური ტიპის სადგურების ჯამური სიმძლავრე, a_i კი i -ური ტიპის სადგურის ერთეული სიმძლავრის ასაშენებლად საჭირო კაპიტალური დაბანდებები, დოლ/კვტ; C_i - i -ური ტიპის სადგურის ერთეულ სიმძლავრეზე გაწეული წლიური საექსპლუატაციო დანახარჯები, დოლ/კვტ.წ; ხოლო E - ნორმატიული კოეფიციენტი და იგი ნორმატიული ვადის შებრუნებული სიდიდეა $T = \frac{1}{E}$. ელექტროენერგეტიკაში $E = 0.12$.

ამოცანის შეზღუდვები კი წარმოდგენილია შემდეგი სახით:

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

$$P_4 + \bar{P}_4 \geq P_{op}, \quad \text{ანუ } P_4 \geq P_{op} - \bar{P}_4 \quad (7)$$

სადაც P_{op} არის მოთხოვნილი პიკური სიმძლავრე, ხოლო \bar{P}_4 - არსებული პიკური სადგურების ჯამური სიმძლავრე.

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

$$t_4 P_4 \geq W_{op} - \bar{W}_p \quad (8)$$

სადაც W_{op} არის მოთხოვნილი პიკური ენერგია, ხოლო \bar{W}_p - არსებული პიკური სადგურების მიერ გამოძუშავებული ენერგია.

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

$$\sum_{\substack{i=4 \\ i \neq 4}}^n P_i \geq P_{ob} - \bar{P}_b, \quad n=13 \quad (9)$$

სადაც P_{ob} არის მოთხოვნილი ბაზისური სიმძლავრე, ხოლო \bar{P}_b - არსებული ბაზისური სადგურების ჯამური სიმძლავრე.

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

$$\sum_{\substack{i=4 \\ i \neq 4}}^n t_i P_i \geq W_{ob} - \bar{W}_b, \quad n=13 \quad (10)$$

სადაც W_{02} არის მოთხოვნილი ბაზისური ენერგია, ხოლო \overline{W}_b – არსებული ბაზისური სადგურების მიერ გამოძევაზე ენერგია.

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

$$P_2 \leq P_{02} \quad (11)$$

დღევანდელი მონაცემებით $P_{02} \approx (2 \div 2.5) 10^6$ კვტ.

6. ადგილობრივ ქვანახშირზე მოძევაზე თეს-ების მიერ გამოძევაზე ენერგია ვერ გადააჭარბებს იმ ენერგიას, რომლის გამოძევაზეც შესაძლებელია საქართველოში მოპოვებული ქვანახშირით:

$$t_5 P_5 \leq W_{05} \quad (12)$$

ექსპერტთა შეფასებით, არცთუ შორეულ მომავალში, შესაძლებელი იქნება საქართველოში ქვანახშირის მოპოვება გაუტოლდეს 3 მლნ ტონას წელიწადში. ტყიბულის ქვანახშირის თბოუნარიანობის მიხედვით 1 კვტ.სთ ენერგიის გამოძევაზე სჭირდება ~ 0.6 კგ. ეს ნიშნავს, რომ $W_{05} \approx 5 \cdot 10^9$ კვტ სთ/წ.

7. ანალოგიური შეზღუდვა გვაქვს მურა ნახშირზე მოძევაზე თეს-ებისთვის:

$$t_6 P_6 \leq W_{06} \quad (13)$$

ასევე, ექსპერტთა შეფასებით, ახალციხის მურა ნახშირის მოპოვებამ შეიძლება შეადგინოს 1მლნტ/წ. ამ მურა ნახშირის საშუალო თბოუნარიანობიდან გამომდინარე, 1 კვტ.სთ ელექტროენერგიის მისაღებად საჭიროა 0.95 კგ მურანახშირი. რაც იმას ნიშნავს, რომ $W_{06} \approx 10^9$ კვტ სთ/წ.

8. ასევე ანალოგიური შეზღუდვა გვექნება მაზუთზე მოძევაზე თეს-ებისათვის:

$$t_7 P_7 \leq W_{07} \quad (14)$$

საქართველოს ნავთობგადამამუშავებელ ქარხნებში ახლო მომავალში შეიძლება გადაამუშავდეს როგორც ადგილობრივი, ისე ბაქო-სუფსა, ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის მაგისტრალებით გამავალი ნავთობის ნაწილი $\sim 4 \div 5$ მლნტ წელიწადში. თანამედროვე ტექნოლოგიებით ამ რაოდენობის ნავთობის გადამამუშავების შედეგად შეიძლება მივიღოთ დაახლოებით 1 მლნ.ტ მაზუთი წელიწადში. 1 კვტ.სთ ელექტროენერგიის მისაღებად საჭიროა ~ 0.25 კგ მაზუთი. აქედან გამომდინარე, 10^9 კგ მაზუთის დაწვით მივიღებთ $4 \cdot 10^9$ კვტ.სთ/წ, ანუ $W_{07} \approx 4 \cdot 10^9$ კვტ სთ/წ.

9. ადგილობრივ აირზე მოძევაზე თეს-ებში გამოძევაზე ელექტროენერგია ვერ გადააჭარბებს იმას, რის შესაძლებლობასაც მოგვცემს მოპოვებული აირი:

$$t_8 P_8 \leq W_{08} \quad (15)$$

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

$$P_9 \leq P_{09} \quad (16)$$

ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნით მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ქვემოთ. წრფივი დაპროგრამების (6)-(16) ამოცანა დაწვეტილ იქნა, ხოლო არსებული შედეგი სიმძლავრეების გათვალისწინებით შემდეგია:

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

იტერაციული ალგორითმებით მიღებულ იქნა შემდეგი ოპტიმალური ამონახსნი:

$$P_1^* = 0, \quad P_2^* = 0.24 \cdot 10^6, \quad P_3^* = 0.67 \cdot 10^6, \quad P_4^* = 0.53 \cdot 10^6,$$

$$P_5^* = 2.00 \cdot 10^6, \quad P_6^* = 2.28 \cdot 10^6, \quad P_7^* = 0, \quad P_8^* = 0, \quad P_9^* = 0,$$

$$P_{10}^* = 0.67 \cdot 10^6, \quad P_{11}^* = 0.50 \cdot 10^6, \quad P_{12}^* = 0, \quad P_{13}^* = 0, \quad F^* = 31416.93 \cdot 10^6.$$

3. დასკვნა

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

ლიტერატურა:

1. ჯიბლაძე ნ., გაბელაია ა., ნარიშანაშვილი ნ. წრფივი დაპროგრამება. სტუ, თბ., 2004
2. ჯიბლაძე ნ., კურკუმული ნ. წრფივი დაპროგრამების ამოცანების მიახლოებითი გადაწყვეტის ალგორითმის შესახებ. ა. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტ. შრ.კრ., 15, თბ., 2011
3. ჯიბლაძე ნ., კურკუმული ნ., ასკურავა ვ. ოპტიმიზაციის მეთოდების ლაბორატორიული სამუშაოები. სტუ, თბ., 2012
4. Topchishvili A. Introduction into Static Linear Optimization. Tbilisi, 2000.

DETERMINATION OF THE OPTIMAL STRUCTURE OF THE ELECTRO ENERGY SYSTEM OF GEORGIA

Gachechiladze Lela, Kurkumuli Nana, Barnovi Sophio, Nonikashvili Lia
Georgian Technical University

Summary

The paper posed and solved a mathematical model of the electro energy system of Georgia and the optimal structure of the task. 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.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГРУЗИИ

Гачечиладзе Л., Куркумули Н., Барнови С., Ноникашвили Л.
Грузинский Технический Университет

Резюме

Поставлена и решена задача разработки математической модели электроэнергетической системы Грузии и определения её оптимальной структуры. Под оптимальной структурой электроэнергетической системы подразумевается совокупность электростанций различных типов и мощностей, которые обеспечивают потребность республики электроэнергий. Для этого необходимо, чтобы электроэнергетической системой Грузии была выработана годовая электроэнергия на душу населения, равная в среднем европейскому уровню (около 7000÷ 8000 кВт-ч в год), а общая годовая выработка - 45 млрд кВтч.