

UDC 621.311.24

SCOPUS CODE 2102

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2026-3-125-132>

მცირე ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ელექტროენერგიის ჭარბი გენერაციის მართვა ელექტროლიზის დანადგარების საშუალებით

დავით
ტყეშელაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის
დოქტორანტი, საქართველო
E-mail: davit.tkeshelashvili2000@gmail.com

რეცენზენტები:

თ. ჯიქია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: tamar.jikia@gse.com.ge

ი. გორდიაშვილი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: gordiashviliirakli02@gtu.ge

ანოტაცია. ნახევრად იზოლირებულ ელექტრო-ენერგეტიკულ სისტემებში, სხვა სიტყვებით ისეთ სისტემებში, სადაც სისტემათაშორისი გადადინება შეზღუდული და მკაცრად დაცული გეგმა-გრაფიკით არის გაწერილი, ენერგიის არადისპეტჩირებადი წყაროები დროთა განმავლობაში სისტემაში იწვევს გენერაციის სიჭარბეს, რა დროსაც მათი ათვისება ვერ ხერხდება იმ მომენტში ელექტროენერგიის მცირე მოხმარების ან ენერგიის დისპეტჩირებადი წყაროების ტექნიკურ მინიმუმზე მუშაობის გამო, როდესაც მათ საკუთარი ტვირთის შემცირების ხარჯზე აღარ შეუძლიათ სისტემის დაბალან-

სება. მსგავსი გამოწვევის წინაშე დადგება ახლო მომავალში საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემა, რომელიც არის ნახევრად იზოლირებული, აქვს გენერაციის შეზღუდული მოქნილობა და რომელშიც უახლოეს წლებში მნიშვნელოვანი მოცულობის ენერგიის არადისპეტჩირებადი წყაროების ინტეგრაცია იგეგმება (ძირითადად მზის და ქარის ელექტროსადგურები). ამ გამოწვევის დაძლევის ერთ-ერთი ინოვაციური და ეფექტური მეთოდი იქნება გადამცემ ქსელში ელექტროლიზის დანადგარების ინტეგრირება, რომლებსაც ნებისმიერ დროს შეეძლება ჭარბი ელექტროენერგიის მოხმარება და შემდგომში გამოყენება.

საკვანძო სიტყვები: განახლებადი ენერგია; გენერაციის ადეკვატურობა; ელექტროლიზი; მოქნილობა; მიწოდების უსაფრთხოება.

შესავალი

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემა ხასიათდება მცირე ზომით, გენერაციის მოუქნელობით და სიმძლავრის შეზღუდული სისტემათაშორისი მიმოცვლით [1]. ელექტროენერგეტიკული სისტემის მცირე ზომა განპირობებულია ჯამური დადგმული სიმძლავრით (დაახლოებით 4700 მგვტ), საიდანაც 1165 მგვტ-ს შეადგენს იმპორტირებულ გაზზე მომუშავე თბოელექტროსადგურები. საქართველოში გენერაციის ერთადერთი მოქნილი წყარო არის მარეგულირებელი ჰესები. მათი მოქნილობა შეზღუდულია სხვადასხვა მიზეზით, რაც განსკუთრებით თვალსაჩინოა ზაფხულში, როდესაც ექსპორტი დიდია, და ზამთარში, როდესაც წყალსაცავებზე წყლის შემოდინება მცირეა. ასევე მოუქნელი და ხისტი გრაფიკით არის გაწერილი ელექტროენერგიის სისტემათაშორისი მიმოცვლა. იმის გამო, რომ საქართველოს მეზობელ ყველა ქვეყანას ბაზრის ერთმანეთისგან განსხვავებული სტრუქტურა და პრინციპები აქვს, ელექტროენერგიისა და დამხმარე მომსახურებების საათური ვაჭრობა მათთან შეუძლებელია. ამის გამო, საქართველოში ელექტროენერგიის იმპორტ/ექსპორტის გრაფიკს თვის ჭრილში ფაქტობრივად ხისტი პროფილი აქვს, რომლის დარღვევა, გამონაკლისი შემთხვევების გარდა, დაუშვებელია.

ცხადია, ზემოთ ნახსენები გამოწვევების პირობებში ენერგიის ცვალებადი და არადისპეტჩირებადი წყაროების ინტეგრირება, როგორც არის მზის და ქარის ელექტროსადგურები, მიზანშეწონილი არ იქნება, ვიდრე არ გაუმჯობესდება სისტემის მოქნილობა. განახლებადი ენერგიის დიდი რაოდენობით ინტეგრირების ერთ-ერთი გამოწვევა არის მათ მიერ გენერაციის პროფიციტის წარმოქმნა, რომელიც, ზემოთ ხსენებული მიზეზების გამო, ვერც ექსპორტზე გავა და ვერც დისპეტჩირებადი წყაროების ტვირთის შემცირების ხარჯზე მოხდება მათი ათვისება.

ამ პრობლემის გადაჭრა შესაძლებელია ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ელექტროლიზის დანადგარების საშუალებით. ამ მოწყობილობებით შესაძლებელია სისტემაში ელექტროენერგიის მოხმარების ხელოვნურად მართვა, რითაც მოხერხდება ჭარბი ელექტროენერგიის ათვისება. წყლის ელექტროლიზით მიღებულ წყალბადს როგორც ენერგეტიკის სექტორში, ისე მის გარეთ, მრავალი გამოყენება ექნება.

ძირითადი ნაწილი

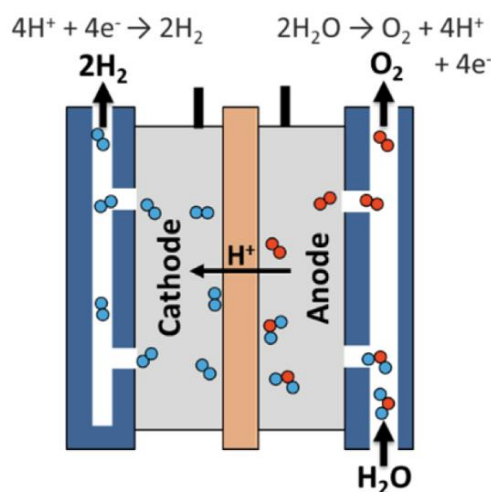
ენერგიის ცვალებადი განახლებადი წყაროების ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში საიმედოდ ინტეგრირების ერთ-ერთი უმთავრესი წინაპირობა არის სისტემის მოქნილობა, რომლის ერთ-ერთი საშუალება არის ენერგიის შემნახველი მოწყობილობები. მათი საშუალებით შესაძლებელი გახდება როგორც მზის და ქარის ელექტროსადგურების ცვალებადი გენერაციის მიერ წარმოქმნილი უზალანსობების დაფარვა, მათ შორის ისეთი ელექტროე-

ენერგიის შენახვა, რომელიც დროის გარკვეულ მონაკვეთებში ქსელში გენერაციის სიჭარბეს იწვევს. დაბალი მოქნილობის მქონე ელექტროენერგეტიკულ სისტემებში ჭარბი სიმძლავრის არსებობის თავიდან არიდების მიზნით კონკრეტული ელექტროსადგურების მიერ ელექტროენერგიის გამომუშავება იზღუდება. ეს ღონისძიება გენერაციის ადეკვატურობასა და მიწოდების უსაფრთხოებაზე უარყოფითად აისახება, ვინაიდან ელექტროენერგიის გამომუშავების ხშირად შეზღუდვის პირობებში ინვესტორებს გენერაციის ობიექტის აშენების ბევრად ნაკლები ფინანსური მოტივაცია ექნებათ. შესაბამისად, ელექტროენერგეტიკული სისტემა, გენერაციის ობიექტების განვითარების გარეშე, დარჩება მცირე და იმპორტზე დამოკიდებული.

ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ჭარბი ელექტროენერგიის შენახვის ერთ-ერთი ინოვაციური საშუალება არის წყლის ელექტროლიზის დანადგარები. იგი მწვანე წყალბადის ტექნოლოგიის ერთ-ერთი შემადგენელია და მისი საშუალებით შესაძლებელია ელექტროენერგიით წყლის დაშლა ჟანგბადისა და წყალბადის მოლეკულებად. ამ უკანასკნელს კი ინახავენ ენერგიის წყაროდ შემდგომი გამოყენებისთვის. მისი გამოყენება შეიძლება ენერგიის ტრადიციული წყაროების ეკოლოგიურად სუფთა ალტერნატივად ან შესაძლებელია სპეციალური მილსადენების საშუალებით გავიდეს ექსპორტზე ევროპის სახელმწიფოებში, სადაც მწვანე წყალბადზე მოთხოვნა მზარდია. გენერაციის ადეკვატურობის კუთხით, წყლის ელექტროლიზის დანადგარებით შესაძლებელი იქნება ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ჭარბი და სხვაგვარად შეზღუდული ელექტროენერგიის მოხმარება, რაც უზრუნ-

ველყოფს ქარისა და მზის ელექტროსადგურების შეუზღუდავ ოპერირებას.

წყლის ელექტროლიზის ტექნოლოგიებს შორის ყველაზე ეფექტურად მიიჩნევა მყარი ოქსიდის ელექტროლიზური. მისი მოქმედების პრინციპი ასეთია: მაღალ ტემპერატურაზე ($700^{\circ}\text{--}800^{\circ}\text{C}$) წყლის ორთქლი რეაქციაში შედის კათოდზე გარე წრედიდან მომდინარე ელექტრონებთან, რა დროსაც წარმოიქმნება წყალბადისა და ჟანგბადი იონები, ეს უკანასკნელი კი ელექტროლიტური მემბრანის (ამ შემთხვევაში კერამიკა) გავლით ანოდზე რეაქციისას წარმოქმნის ჟანგბადის აირს და ელექტრონებს გარე წრედისთვის[2].



სურ. 1. წყლის ელექტროლიზის პროცესი.

წყლის ელექტროლიზის დანადგარების მიერ შეზღუდული ელექტროენერგიის შემცირების უნარის თვალსაჩინოდ წარმოსაჩენად ჩატარდა საქართველოს პერსპექტიული ელექტროენერგეტიკული სისტემის მოდელირება. შეირჩა 2030 წლის ისეთი სცენარი, რა დროსაც ქვეყანაში 1100 მგვტ სიმძლავრის ქარისა და 1900 მგვტ მზის ელექტრო-

სადგური ინტეგრირდება. ქსელში ასევე მიერთებულია ჯამში 700 მგვტ და 1400 მგვტ. სთ ტევადობის ბატარეების სისტემები. საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის მოდელის ზოგადი მაჩვენებლები მოცემულია ქვემოთ ცხრილში.

ცხრილი 1

საქართველოს 2030 წლის პერსპექტიული ელექტროენერგეტიკული სისტემის აღწერა

ელექტროენერგიის მოხმარება	18.04 ტვტ.სთ
მარეგულირებელი ჰესების დადგმული სიმძლავრე	2283 მგვტ
მოდინებაზე მომუშავე ჰესების დადგმული სიმძლავრე	1575 მგვტ
ქარის ელექტროსადგურების დადგმული სიმძლავრე	1100 მგვტ
მზის ელექტროსადგურების დადგმული სიმძლავრე	1900 მგვტ
ენერგიის შემნახველი ბატარეების სიმძლავრე და ტევადობა	700 მგვტ / 1400 მგვტ.სთ

თბოელექტროსადგურებისა და იმპორტის ყოველსაათურ გამომუშავებას თვის განმავლობაში ერთი და იგივე მნიშვნელობა აქვს. ასევე უცვლელია თვის განმავლობაში ელექტროენერგიის მეზობელ ქვეყნებში ექსპორტის გადადინება. ამის მიზეზი საქართველოს მეზობელ ქვეყნებში ელექტროენერგიის ბაზრის განსხვავებული სტრუქტურა და პრინცი-

პებია. აქვე აღსანიშნავია, რომ სიმძლავრის მაქსიმალური შესაძლო გადადინება თურქეთისა და სომხეთის მიმართულებით, სადაც ელექტროენერგიის გაყიდვა ფინანსურად მიზანშეწონილია, არის 800 მგვტ, ხოლო რუსეთსა და აზერბაიჯანში ელექტროენერგიის ექსპორტი ხშირად მიზანშეწონილი არ არის დაბალი ფასის გამო.

მოდელირება ჩატარდა ენერგეტიკული ანალიზისა და დაგეგმვის PLEXOS პროგრამაში, ორჯერ. პირველ ჯერზე მოდელირება ჩატარდა ელექტროლიზის დანადგარების გარეშე, ხოლო მეორე ჯერზე – ჯამში 100 მგვტ ელექტროლიზის დანადგარების გათვალისწინებით.

მოდელირების ძირითადი შედეგი ამ შემთხვევაში არის შეზღუდული ელექტროენერგიის მოცულობა.

$$E_{\text{შეზღუდული}} = \sum_{t=1}^T E_t * P(G_t > D_t) \text{ (მგვტ. სთ)}, (1)$$

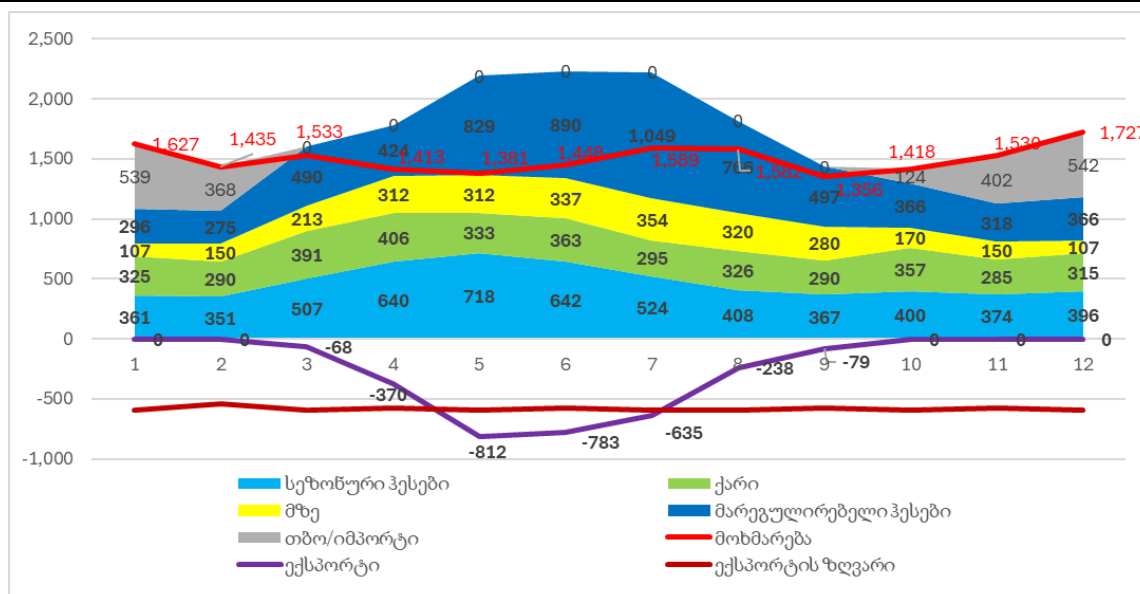
სადაც:

E_t – არის დროის t მონაკვეთში შეზღუდული ენერგიის მოცულობა (მგვტ.სთ);

D_t – დროის t მონაკვეთში ენერგოსისტემის მოხმარება;

G_t – დროის t მონაკვეთში ენერგოსისტემაში ხელმისაწვდომი გენერაცია.

ვინაიდან სიმულაცია ერთი წლით, საათური გრანულირებით ჩატარდა, დროის t მონაკვეთი ამ შემთხვევაში ერთი საათია, ხოლო T – ერთი წელიწადი.



სურ. 2. ელექტროენერგიის თვიური ბალანსი 2030 წელს

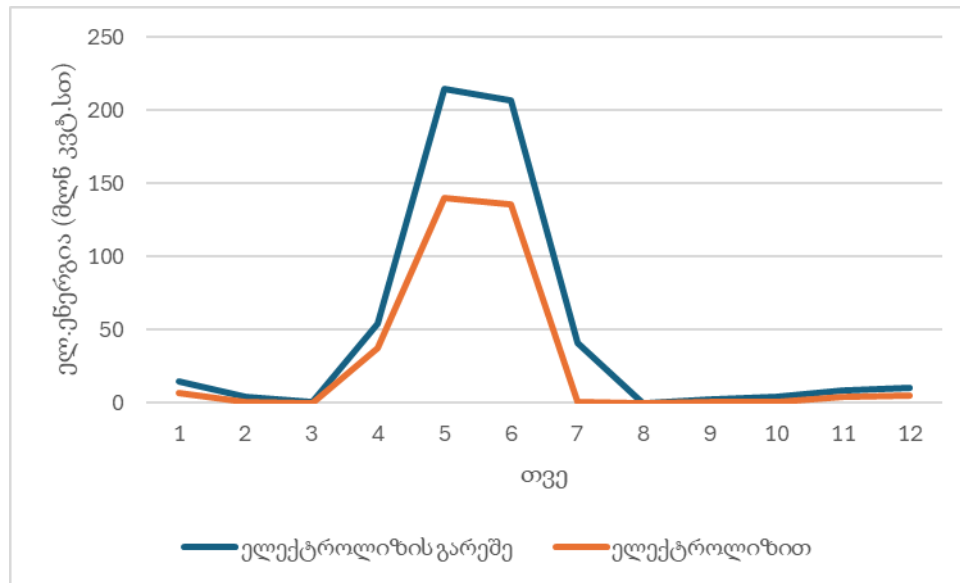
ცხრილი 2

ელექტროენერგიის წლიური ბალანსი 2030 წელს

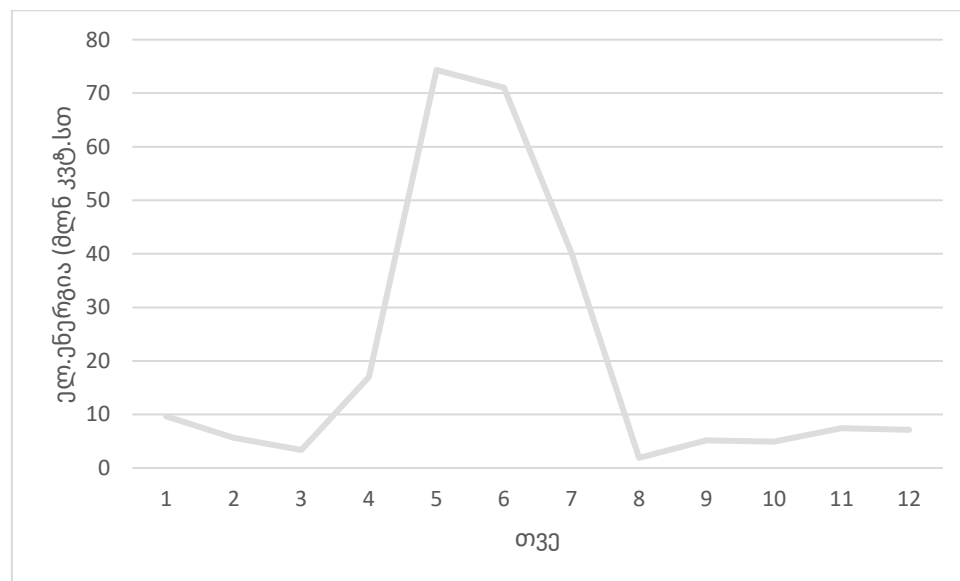
	მლნ კვტ.სთ
მოხმარება	18040
სეზონური ჰესები	5690
ქარი	3975
მზე	2811
მარეგულირებელი ჰესები	6566
თბო/იმპორტი	1975
ექსპორტი	2985

მე-2 სურათზე მუქი წითელი მრუდით აღნიშნულია ექსპორტის ფინანსურად მიზანშეწონილი მაქსიმალური თვიური მოცულობა. მაისი-ივლისის პერიოდში ელექტროენერგიის ექსპორტის მოცულობა ამ მაჩვენებელს აჭარბებს, რა დროსაც ეს ელექტროენერგია ან უნდა გაიყიდოს დაბალ ფასად რუსეთში ან აზერბაიჯანში, ან უნდა დაიღვაროს. ჯამში ასეთი ელექტროენერგიის მოცულობა 464

მლნ კვტ.სთ-ია. ელექტროლიზის დანადგარების საშუალებით შესაძლებელი იქნება ამ ელექტროენერგიის შეძლებისდაგვარად მოხმარება და მწვანე წყალბადად გარდაქმნა. მე-3 და მე-4 სურათებზე ნაჩვენებია 2030 წელს საქართველოში ჭარბი და დაღვრილი ელექტროენერგიის მოცულობები სისტემაში ელექტროლიზის დანადგარების ინტეგრირებით და მის გარეშე.



სურ. 3. შეზღუდული ელექტროენერგიის (ექსპორტის ჩათვლით) მოცულობები 2030 წელს სცენარების მიხედვით.



სურ. 4. ელექტროლიზის დანადგარების მიერ მოხმარებული ელექტროენერგია თვეების მიხედვით.

შეზღუდული ელ.ენერგიის, ელექტროლიზის და მისი საშუალებით წარმოებული მწვანე
წყალბადის მოცულობები 2030 წელს

შეზღუდული ელ.ენერგია (ელექტროლიზის დანადგარების გარეშე)	შეზღუდული ელ.ენერგია (ელექტროლიზის დანადგარებით)	ელექტროლიზი	მწვანე წყალბადის წარმოება
561 მლნ კვტ.სთ	333 მლნ კვტ.სთ	248 მლნ კვტ.სთ	198.4 მლნ კვტ.სთ-ის ეკვივალენტი

ანგარიშებმა ცხადყო, რომ 100 მგვტ ელექტროლიზის დანადგარების საშუალებით შესაძლებელი გახდა საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში სხვა შემთხვევაში დაღვრილი ელექტროენერგიის დიდი ნაწილის ენერგიის ალტერნატიულ წყაროდ გარდაქმნა, რომლის გამოყენების სფერო შესაძლოა იყოს როგორც ელექტროენერგიის მიღება, ისე მისი საწვავად გამოყენება ან განვითარებული ქვეყნების წყალბადის ბაზრებზე გაყიდვა.

დასკვნა

ენერგიის ცვალებადი განახლებადი წყაროების მცირე ზომისა და მოქნილობის მქონე ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ინტეგრირება არაერთ

გამოწვევასთან არის დაკავშირებული, მათ შორის არის ამ წყაროების მიერ გამომუშავებული ელექტროენერგიის შეზღუდვის რისკი. წყლის ელექტროლიზის დანადგარების საშუალებით ეს პრობლემა გარკვეულწილად არათუ აღმოიფხვრება, არამედ გასაქანი მიეცემა ენერგეტიკის სხვადასხვა სექტორის ერთმანეთთან დაკავშირებას. შედეგად, ქვეყანაში მზისა და ქარის ელექტროსადგურების აშენება ინვესტორებისთვის უფრო საიმედო და მიმზიდველი გახდება, ხოლო ელექტროენერგეტიკის სექტორი ეტაპობრივად დაუკავშირდება ენერგეტიკის სხვა სექტორებს ელექტროლიზით მიღებული მწვანე წყალბადის საშუალებით.

ლიტერატურა

1. Georgian State Electrosystem, *Medium- and Long-Term Generation Adequacy Assessment of Georgia 2027–2050*, Tbilisi, Georgia, 2025. [Online]. Available: <https://www.gse.com.ge/sw/static/file/adekvaturobis-angarishi-2027-2050ww.pdf>
2. Hydrogen and Fuel Cell Technology Office, U.S. Department of Energy, *Hydrogen Production: Electrolysis*, 2025. [Online]. Available: <https://www.energy.gov/cmei/fuels/hydrogen-production-electrolysis>

UDC 621.311.24

SCOPUS CODE 2102

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2026-3-125-132>

Managing Excess Power Generation In A Semi-Isolated Power System Using Electrolysers

David Tkeshelashvili Georgian Technical University, Faculty of Power Engineering, Doctoral Student, Georgia
E-mail: davit.tkeshelashvili2000@gmail.com

Reviewers:

T. Jikia, Georgian Technical University Faculty of Power Engineering, Associate Professor

E-mail: tamar.jikia@gse.com.ge

I. Gordiashvili, Georgian Technical University Faculty of Power Engineering, Associate Professor

E-mail: gordiashviliirakli02@gtu.ge

Abstract. In semi-isolated power systems, in other words, power systems, which have limited and strictly scheduled interconnection capabilities, non-dispatchable energy sources occasionally cause excess generation in the system, in case of which, it is impossible to acquire it due to either low electricity demand or dispatchable energy sources already operating at minimum load, when they are unable to lower their generation for system balancing. Georgian power system will face a similar challenge in the near future. The power system of Georgia is semi-isolated, has limited generation flexibility and is expected to integrate significant amount of non-dispatchable energy sources (Mostly wind and solar power plants). One innovative and effective way of overcoming above-mentioned challenges is the integration of electrolysers into the transmission network.

Keywords: Electrolysis; Flexibility; Generation Adequacy; Renewable energy; Security of Supply.

განხილვის თარიღი 23.12.2025

შემოსვლის თარიღი 23.03.2026

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 25.09.2026