

UDC 621.311

SCOPUS CODE 2102

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-1-163-172>

## ენერჯიის მაგროვებელი სისტემების მნიშვნელობა თანამედროვე ენერჯეტიკულ სისტემებში

- გელა ჯავახიშვილი** ელექტროენერჯეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: gela\_java@yahoo.com
- გიორგი ჯაბიშვილი** ელექტროენერჯეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: jabishviligio@gmail.com

### რეცენზენტები:

**გ. არაბიძე**, სტუ-ის ენერჯეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის პროფესორი, ტ.მ.დ.  
E-mail: power@gtu.ge

**თ. მუსელიანი**, სტუ-ის ენერჯეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის პროფესორი, ტ.მ.დ.  
E-mail: museliani@yahoo.com

**ანოტაცია.** ელექტროენერჯეტიკული სისტემის საერთო სტრუქტურის ცვლილების პროცესი თანდათანობით გადადის წიაღისეული საწვავიდან განახლებადი ენერჯიის რესურსებზე, რომლებიც ეკოლოგიურად უფრო სუფთა და მდგრადია. ტრადიციული ელექტროენერჯიის ღირებულების ჯაჭვი შედგება ხუთი რგოლისაგან: საწვავის/ენერჯიის წყარო, გამომუშავება, გადაცემა, განაწილება და მომხმარებლის ენერჯეტიკული მომსახურება, ენერჯიის მაგროვებელი სისტემები ზღვარზე შეიძლება გახდეს „მექვისე რგოლი“. შეუძლია დააგროვოს ენერჯია დაბალი მოთხოვნილების, გენერაციის დაბალი ღირებუ-

ლების დროს ან ენერჯიის წყვეტილი წყაროებიდან და გამოიყენოს მაღალი მოთხოვნილების, მაღალი ღირებულების დროს ან როდესაც არ არსებობს გენერაციის სხვა საშუალება. ენერჯიის მაგროვებელი სისტემების პოტენციური მომსახურების საშუალებები მრავალრიცხოვანია და შეიძლება მოიცავდეს სრულ სპექტრს, დაწყებული უფრო დიდი, გენერაციასა და გადაცემასთან დაკავშირებული სისტემებიდან შედარებით პატარა სადისტრიბუციო ქსელის სისტემებამდე და „მრიცხველს მიღმა“ მომხმარებელსაც. სერვისების მოცულობა, ბუნება და ხარისხი ძირითადად დამოკიდებულია მაგროვებლის სიმძლავრეზე/მოცულობაზე, მრავალმხრივობაზე, ტექ-

ნოლოგიასა და ავტომატიზაციაზე, აგრეთვე მდებარეობაზე, მომხმარებლის მოთხოვნებსა და მარგულირებელ შეზღუდვებზე. არსებული ტენდენციები მიუთითებს იმაზე, რომ ენერჯიის დაგროვების და შენახვის საჭიროება გაიზრდება მაღალი წარმოებისა და მოთხოვნილების ფონზე, რაც მომავალში მოითხოვს ენერჯიის შენახვას რამდენიმე დღის, კვირის ან თვის განმავლობაში.

**საკვანძო სიტყვები:** განახლებადი ენერჯიის წყარო; გენერაცია; ელექტროენერჯია; ენერჯიის მარგულირებელი; პიკური დატვირთვა.

## შესავალი

ენერჯიის სახეები და გამოყენება კაცობრიობის ისტორიაში დინამიკურად იცვლებოდა. ელექტროენერჯიის გამოგონებამ რევოლუცია მოახდინა ენერჯიის მოხმარებაში და, შესაბამისად, ინდუსტრიაში. ამჟამად ელექტროენერჯია ენერჯიის დომინანტური ფორმაა მთელ მსოფლიოში [1]. ელექტროენერჯეტიკული სისტემის საერთო სტრუქტურა ცვლილების პროცესშია. ის თანდათანობით გადადის წიაღისეული საწვავიდან განახლებადი ენერჯიის რესურსებზე, რომლებიც ეკოლოგიურად უფრო სუფთა და მდგრადია [2]. ამ საკითხებზე დაფიქრებას განაპირობებს შემდეგი ფაქტორები: მზარდი მოთხოვნა ელექტროენერჯიაზე; შეზღუდული რესურსები ელექტროსადგურების და ელექტროქსელების ასაშენებლად; ელექტროენერჯიის არასაკმარისი გამომუშავება; სათბურის აირების ემისია და

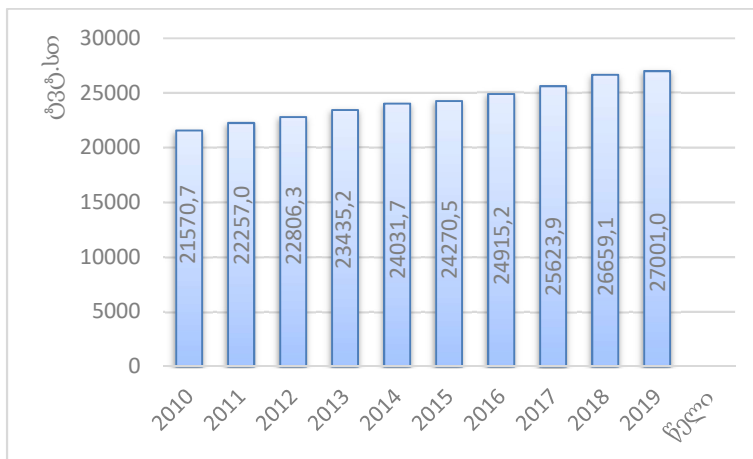
კლიმატის ცვლილების პრობლემები. განახლებადი ენერჯიის წყაროები, როგორცაა ქარის ტურბინები, მზის ელექტროენერჯეტიკული სისტემები, ბიომასასა და წყალბადზე მომუშავე ელექტროსადგურები, აგრეთვე ჰიბრიდული ენერჯის სისტემები მომავალი ელექტროენერჯიის გენერაციის სისტემების მნიშვნელოვანი ნაწილია [3].

## ძირითადი ნაწილი

მსოფლიოში ელექტროენერჯიის მოხმარება 2020 წელს შეადგენდა 26823.2 ტვტ.სთ, სადაც ნავთობის, გაზისა და ქვანახშირის გამოყენებით წარმოებული ელექტროენერჯიის წილი იყო, შესაბამისად, 758.0 ტვტ.სთ (2.83%), 6268.1 ტვტ.სთ (23.37%) და 9421.4 ტვტ.სთ (35.12%). როგორც ვხედავთ, ამ პერიოდში ენერჯიის ეს სამი ძირითადი წყარო აკმაყოფილებდა მსოფლიოში ელექტროენერჯიის მოთხოვნილების 61,32%-ს. ბირთვული ენერჯიის წილი იყო 2700.1 ტვტ.სთ (10.07%), ჰიდროენერჯიის – 4296.8 ტვტ.სთ (16.02%), განახლებადი ენერჯიის – 3147.0 ტვტ.სთ (11.73%) და სხვა წყაროების – 231.8 ტვტ.სთ (0.86%) [4]. მიუხედავად იმისა, რომ, სათბურის აირების ემისიის გამო, იზრდება მოთხოვნა ელექტროენერჯიის გამომუშავების წიაღისეული საწვავიდან განახლებადი ენერჯიის წყაროებზე გადასვლის ტემპი უფრო დაჩქარდეს, ეს შეუძლებელია მოკლევადიან პერსპექტივაში, რადგან ელექტროენერჯიაზე მოთხოვნა შეიძლება სამჯერ გაიზარდოს 2040 წლისთვის. მსოფლიო ენერჯეტიკის საბჭოს შეფასებით, სათბურის აირების ემისია შესაძლოა სტაბილიზდეს 2030 წლისთვის, ხოლო შემდგომში მოსალოდნელია შემცირება [5].

მოსახლეობის ზრდის, ახალი ტექნიკისა და ტექნოლოგიების გამოყენების, სოციალური და ეკონომიკური განვითარების, შორეულ რეგიონებში წვდომისა და ცხოვრების წესის დიდი ცვლილების

და სხვათა გამო, ენერჯიის მოხმარება საგრძნობლად იზრდება. პარალელურად, მნიშვნელოვნად იზრდება ენერჯიის, განსაკუთრებით ელექტროენერჯიის წარმოებაც სურ. 1 [4].



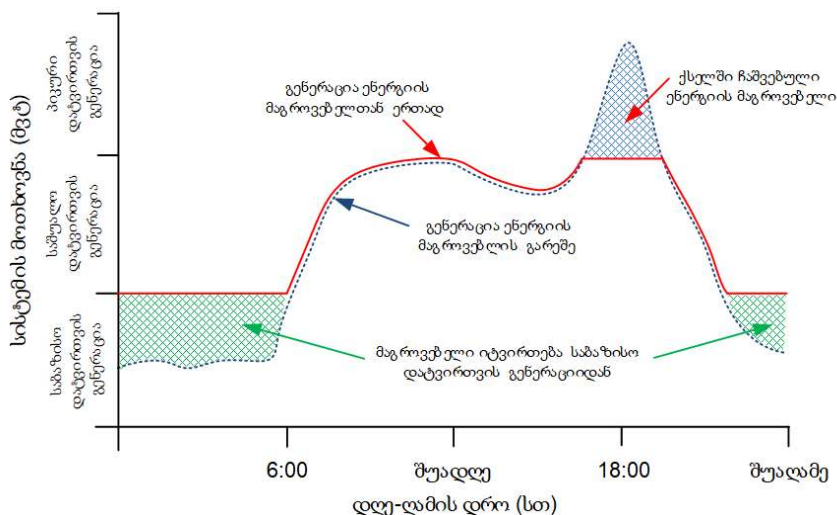
სურ. 1. მსოფლიოში 2010-2019 წლებში ელექტროენერჯიის (ტვტ.სთ) წარმოება

მსოფლიო ენერჯეტიკული საბჭო, სცენარების მოძიებისა და 2040 წლამდე ინოვაციური გზების შესწავლისას, ფიქრობს, რომ მსოფლიო სუფთა და მდგრადი ენერჯიით, ენერჯეტიკის ახალ, საკმარისად იმედის მომცემ ეპოქაში შევა, მოხმარებისა და მომხმარებლების მზარდი მაჩვენებლებით. სავარაუდოდ, 2040 წლისათვის ენერჯიაზე მოთხოვნა დაახლოებით 10%-ით გაიზრდება. მეტი აქცენტი გაკეთდება განახლებადი ენერჯიის წყაროებზე გარემოს დაცვის საკითხების გათვალისწინებით, მაგრამ წიაღისეული საწვავი (განსაკუთრებით გაზი, რომელიც ცვლის ქვანახშირის ძირითად ნაწილს) დარჩება დომინანტი, თუმცა შემცირდება როგორც ელექტროენერჯიის გამომუშავების წყარო [5].

ითვლება, რომ ტრადიციული ელექტროენერჯიის ღირებულების ჯაჭვი შედგება ხუთი რგოლისაგან: საწვავის/ენერჯიის წყარო, გამომუშავება, გა-

დაცემა, განაწილება და მომხმარებლის ენერჯეტიკული მომსახურება, ენერჯიის მაგროეკონომიკური სისტემები ზღვარზე შეიძლება გახდეს „მეექვსე რგოლი“, არსებული სემენტების ინტეგრაციით და უფრო მოქნილი და მგრძობიარე ბაზრის შექმნით [6].

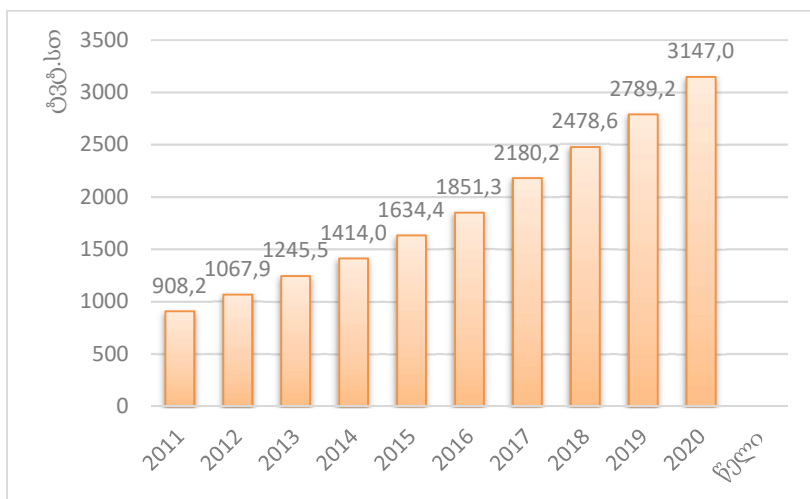
ენერჯიის დაგროვება მიეკუთვნება ელექტროენერჯიის გარდაქმნის და ისეთი ფორმის ენერჯიაში შენახვის პროცესს, რომელიც, საჭიროების შემთხვევაში, შეიძლება უკან, ელექტროენერჯიად გარდაიქმნას. ასეთი პროცესი საშუალებას იძლევა ენერჯიის მაგროეკონომიკა სისტემებმა დააგროვოს ენერჯია დაბალი მოთხოვნილების, გენერაციის დაბალი ღირებულების დროს ან ენერჯიის წყვეტილი წყაროებიდან და გამოიყენოს მაღალი მოთხოვნილების, მაღალი ღირებულების დროს ან როდესაც არ არსებობს გენერაციის სხვა საშუალება (სურ. 2) [7].



სურ. 2. ელექტროენერჯის დაგროვების და მოხმარების სქემა

ე.ი. ელექტროენერჯია, როცა მოთხოვნილზე ჭარბად იწარმოება, უნდა იყოს შენახული, წინააღმდეგ შემთხვევაში მისი შემდგომი გამოყენება შეუძლებელია და იმ ნაწილის წარმოება ფუჭი იქნება, რაც გაზრდის ელექტროენერჯის თვითღირებულებას. უფრო მეტიც, როდესაც ელექტროენერჯია იწარმოება ქარისა და მზის განახლებადი ენერჯის წყაროებიდან, ჭარბი ენერჯის შენახვა აუცილებელია, რადგან მზის ენერჯია ღამით და ქარის ენერჯია

არ იქნება ხელმისაწვდომი ყოველთვის. რა თქმა უნდა, გამომუშავებამ შესაძლოა გადააჭარბოს ელექტროენერჯის მთლიან მოთხოვნას არაპიკურ საათებში და საჭირო გახდეს ზედმეტი ელექტროენერჯის დაგროვების გადაუდებელი აუცილებლობა. ამასთან, მსოფლიოში ყოველწლიურად იზრდება განახლებადი ენერჯის წყაროებიდან ელექტროენერჯის წარმოება (სურ. 3) [4].



სურ. 3. მსოფლიოში 2011-2020 წლებში განახლებადი ენერჯის წყაროებიდან ელექტროენერჯის წარმოება (ტვტ. სთ)

ტექნოლოგიები და საშუალებები, რომლებიც მკვეთრად ამცირებს ელექტროენერჯიის მაგროვებელი სისტემების ხარჯებს, შეიძლება ელექტროენერგეტიკული სისტემების კონსტრუქციის და ექსპლუატაციის სერიოზული ცვლილებების მიზეზი გახდეს [8]. ენერჯიის მაგროვებელ სისტემას შეუძლია შეამციროს პიკური დატვირთვისა და გარემოს დაბინძურების პრობლემები, გააუმჯობესოს ელექტრული ენერჯიის მიწოდების სტაბილურობა და ელექტროენერჯიის ხარისხი. ენერჯიის მაგროვებელი სისტემები მოქნილ და მრავალფუნქციურ როლს ასრულებს ელექტრომომარაგების ქსელში, რაც უზრუნველყოფს ხელმისაწვდომი ენერჯიის უფრო ეფექტიან მართვას, ბალანსს წარმოებასა და მოხმარებას შორის, აუმჯობესებს ქსელის მენეჯმენტსა და საიმედოობას. ელექტრული ენერჯიის გამომუშავების სისტემებთან კომბინაცია, განახლებადი ენერჯიის გარდაქმნის გზით, ენერჯიის მაგროვებელ სისტემას ელექტროენერჯიის ღირებულების გაზრდის მთავარ მექანიზმად აქცევს [9, 10].

ენერჯიის მაგროვებელი სისტემების პოტენციური მომსახურების საშუალებები მრავალრიცხოვანი და მრავალფეროვანია და შეიძლება მოიცავდეს სრულ სპექტრს, დაწყებული უფრო დიდი, გენერაციისა და გადაცემასთან დაკავშირებული სისტემებიდან შედარებით პატარა სადისტრიბუციო ქსელის სისტემებამდე და „მრიცხველს მიღმა“ მომხმარებელსაც [7]. სხვადასხვა სერვისის მოცულობა, ბუნება და ხარისხი დამოკიდებულია მაგროვებლის სიმძლავრეზე, მრავალმხრივობაზე, ტექნოლოგიურ ინოვაციებსა და ავტომატიზაციაზე, მდებარეობაზე, მომხმარებლის მოთხოვნებსა და მარეგულირებელ შეზღუდვებზე. გენერაცია სარგებლობს ენერჯიის

მაგროვებელი სისტემის მომსახურებით, ელექტროსადგურის მაქსიმალური სიმძლავრით მუშაობის გადადების გზით, პიკზე მიწოდებისთვის დაგროვილი ენერჯიის რეზერვით – ეს საშუალებას იძლევა განისაზღვროს წარმოების ფასი ორი პერიოდისათვის და დატვირთვის ერთგვაროვანი კოეფიციენტი გენერაციის, გადაცემისა და განაწილების სისტემებისთვის [11] სიხშირის რეგულირებით, მოქნილობით, წარმოების დროში წანაცვლებით და მეტი განახლებადი ენერჯიის წყაროს რესურსების გამოყენებით [12]. გენერირებისა და დატვირთვის მოკლევადიანი გადახრები ადვილად მართულია თუ სისტემაში ჩაშენებულია ენერჯიის გარკვეული მარაგი. შავი დაწყების (Black-Start) შესაძლებლობა, ქსელის გენერირების მხარეს, უზრუნველყოფს დარეზერვებულ ენერჯიას ქსელის თავიდან ჩართვისათვის მას შემდეგ, რაც მოხდება ელექტროენერჯიის გათიშვა რაიმე მიზეზით. აუცილებელია ეს ობიექტი უზრუნველყოფილი იყოს ელექტროენერჯიით, განმეორებით მაგენერირებელი რესურსების ხელახლა ჩართვისათვის [13]. ენერჯიის დაგროვება გადაცემისა და განაწილების სისტემაში უზრუნველყოფს სისტემის სტაბილურობას – სისტემის ყველა კომპონენტის შესაძლებლობა, შეინარჩუნოს გადამცემ ხაზზე სინქრონული მუშაობა ერთმანეთთან, რათა თავიდან აიცილოს სისტემის კოლაფსი [11], სიმძლავრის რხევების შემცირებას (სწრაფი ცვლილების გამო) რეალური სიმძლავრის მიწოდებისა და შთანთქმის ხარჯზე; ქსელის ძაბვის მხარდაჭერას – სიმძლავრის მიწოდება ელექტრომანაწილებელი ქსელისთვის, რათა შეინარჩუნოს ძაბვა დასაშვებ დიაპაზონში ყველა ელექტროგადამცემი ხაზის ბოლოებს შორის; აქტივების გადავადებას –

დამატებითი გადასაცემი სიმძლავრეების საჭიროების გადადება დამატებითი და არსებული გადაცემი საშუალებებით [14]. ენერჯიის მაგროვებელი სისტემის პოტენციური მომსახურების სხვა საშუალებაა ენერჯიის მენეჯმენტი (დატვირთვების გათანაბრება/პიკური დატვირთვების შემცირება) – დატვირთვის გათანაბრება არის გარკვეული დატვირთვების გრაფიკის ცვლილებები ელექტროენერჯიაზე მოთხოვნის შესამცირებლად ან ენერჯიის გამომუშავება არაკიკური დატვირთვების პერიოდში, შენახვისა და პიკური დატვირთვების პერიოდში გამოყენებისთვის. პიკური დატვირთვების შემცირება ამცირებს ელექტროენერჯიის გამოყენებას პიკის პერიოდში ან მოხმარების გადატანას პიკურიდან არაკიკური პერიოდში. ეს სტრატეგია მომხმარებელს საშუალებას აძლევს მიიღოს მაქსიმალური შედეგი დღე-ღამის ერთი დროიდან მეორეზე გადატანის ხარჯზე. ეს ძირითადად გამოიყენება გადასახადების შესამცირებლად (მოთხოვნამდე) [11]. ასიმეტრიული დატვირთვის კომპენსაცია – შეიძლება გაკეთდეს ოთხსადენიან ინვერტორთან ერთად და თითოეულ ფაზაში ენერჯიის ინდივიდუალური ინექციით და შთანთქმით. ელექტროენერჯიის ხარისხის გაუმჯობესება – ელექტროენერჯიის ხარისხი ძირითადად დაკავშირებულია ძაბვისა და დენის სიდიდის და ფორმის ცვლილებებთან. ეს იწვევს სხვადასხვა პრობლემას, მათ შორის: ჰარმონიკებს, სიმძლავრის კოეფიციენტის შემცირებას, გარდამავალ პროცესებს, ციმციმს და ა.შ. ენერჯიის მაგროვებელ მანაწილებულ სისტემებს შეუძლია შეამსუბუქოს ეს პრობლემები და უზრუნველყოს ელექტრომომსახურება მომხმარებლისთვის მეორადი რხევების ან დენის/ძაბვის „ფორმის“ დარღვევის

გარეშე [15]. ელექტრომომარაგების საიმედოობა – შეიძლება წარმოდგენილი იყოს, როგორც პროცენტი/ელექტროენერჯიის მიწოდების შეფერხების დამოკიდებულება (შეიძლება მოიცავდეს ზღვრის გადაჭარბებას და არა მხოლოდ სიმძლავრის სრულ დაკარგვას) მუშაობის მთლიან დროსთან მიმართებაში. ენერჯიის მაგროვებელ მანაწილებელ სისტემებს შეუძლია დახმარება მომხმარებლების საიმედო ელექტრომომარაგების უზრუნველყოფაში, რათა თავიდან იქნეს აცილებული ელექტროენერჯიის მიწოდების შეფერხება. ენერჯიის მაგროვებელი სისტემის მენეჯმენტთან ერთად ეს დისტანციური მუშაობის საშუალებას იძლევა [12, 16].

ამჟამინდელი მდგომარეობა აჩვენებს, რომ ენერჯიის მაგროვებელ სისტემებზე მოთხოვნის ზრდას ხელს უწყობს რამდენიმე ფაქტორი, ესენია: ელექტროენერჯიის განახლებადი ენერჯიის წყაროებიდან წარმოების ზრდა, მოთხოვნისა და მიწოდების დაბალანსება და შეთანხმება, სულ უფრო დამატებული ელექტროგადამცემი ინფრასტრუქტურა, რადგან გადამცემი ხაზები ჩამორჩება მოთხოვნებს; მანაწილებელი ქსელის არქიტექტურის ნაწილად მიკროქსელის გაჩენა; ელექტროენერჯიის მიწოდებაში საიმედოობისა და უსაფრთხოების გაზრდილი საჭიროება.

არსებული ტენდენციები მიუთითებს იმაზეც, რომ ენერჯიის დაგროვებისა და შენახვის საჭიროება გაიზრდება მაღალი წარმოებისა და მოთხოვნილების ფონზე, რაც მომავალში მოითხოვს ენერჯიის შენახვას რამდენიმე დღის, კვირის ან თვის განმავლობაში. ამასთან, ენერჯიის შესანახად მოთხოვნილება 2030 წლისთვის სამჯერ გაიზრდება, არსებულ მაჩვენებელთან შედარებით [17]. თუმცა ელექტროქსელში ახალი ენერჯიის დაგროვების ტექნოლო-

გიების აქტიური ინტეგრაციის შესახებ ბევრი საკითხი (ოპერაციული, ტექნიკური და საბაზრო) ჯერ კიდევ არ არის დამუშავებული და საჭიროებს შესწავლას, ტესტირებასა და სტანდარტიზაციას. ენერჯიის მაგროვებელი სისტემების ინტეგრაცია და ენერჯიის გარდაქმნის მოწყობილობების შემდგომი განვითარება, მათ შორის განახლებადი ენერჯიების, უნდა ეფუძნებოდეს არსებული ელექტრომომარაგების სისტემის ინფრასტრუქტურას.

### დასკვნა

მაგროვებელი სისტემების საჭიროებას თანამედროვე ენერჯეტიკულ სისტემებში ალტერნატივა არ

გააჩნია, რადგან მათი გამოყენებით შესაძლებელია ელექტროენერჯიის განახლებადი ენერჯიის წყვეტილი წყაროებიდან წარმოებული მზარდი ელექტროენერჯიის ელექტროენერჯეტიკულ სისტემებში შეღწევის სიჩქარის გაზრდა, პიკური დატვირთვის შემცირება, ელექტროენერჯიის მიწოდებაში საიმედოობისა და უსაფრთხოების მაღალი მოთხოვნების დაკმაყოფილება, ენერჯიის მენეჯმენტი, სისტემის სტაბილურობა და სხვა. არსებული ტენდენციები მიუთითებს, რომ უახლოეს მომავალში გაიზრდება მოთხოვნილება ენერჯიის დაგროვებასა და შენახვაზე რამდენიმე დღის, კვირის ან თვის განმავლობაში.

### ლიტერატურა

1. King, H.M. (2019). History of energy use in the United States. Retrieved on December 15, 2021, from <https://geology.com/articles/history-of-energyuse/>
2. Smith, S.C., Sen, P., & Kroposki, B. (2008). Advancement of energy storage devices and applications in electrical power system. *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, pp. 22-24. <https://doi.org/10.1109/pes.2008.4596436>
3. Ghosh, P.C., Emonts, B., Janßen, H., Mergel, J., Stolten, D. (2003). Ten years of operational experience with a hydrogen-based renewable energy supply system. *Solar Energy*, 75, pp. 469–478.
4. BP. (2021). BP Statistical Review of World Energy 2021, 70th edition. Retrieved on December 23, 2021, from <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>
5. World Energy Council (2019); Retrieved on December 21, 2021, from <https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-scenarios-2019-exploring-innovation-pathways-to-2040>
6. Makansi, J. Abboud, J. (2002). Energy storage: the missing link in the electricity value chain. *An ESC White Paper. Energy storage Council*, pp. 1-23.
7. DTI. (2004). Status of electrical energy storage systems. DG/DTI/00050/00/00, URN NUMBER 04/1878. UK Department of Trade and Industry, p. 1–24.
8. Dobie, W. C. (1998). Electrical energy storage. *Power Engineering Journal*, 12, pp. 177–81.
9. Ibrahim, H., Ilinca, A., Younès, R., Perron, J., Basbous, T. (2007, October 25-26). Study of a Hybrid Wind-Diesel System with Compressed Air Energy Storage. Canada, Montreal: *IEEE Canada Electrical Power Conference*.

10. Loveless, M. (2012). Energy Storage: The Key to a Reliable, Clean Electricity Supply. What Is the Potential Impact? *Energy.Gov*. Retrieved on December 27, 2021 from <https://www.energy.gov/articles/energy-storage-key-reliableclean-electricity-supply>
11. Makansi, J., Abboud, J. (2002). Energy storage: the missing link in the electricity value chain. *An ESC White Paper. Energy storage Council*, p. 1-23.
12. NC State University. (2018). Literature Review of Energy Storage Services for the NC Energy Storage Study Stakeholder Input Meeting. [https://energy.ncsu.edu/storage/wp-content/uploads/sites/2/2018/03/2018Feb15\\_Lit-Review\\_Energy-Storage-Services.pdf](https://energy.ncsu.edu/storage/wp-content/uploads/sites/2/2018/03/2018Feb15_Lit-Review_Energy-Storage-Services.pdf)
13. Pearre, N.S., Swan, L.G. (2014). Techno-economic feasibility of grid storage: Mapping electrical services and energy storage technologies. *Applied Energy*, 137, pp. 501–510.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261914004036>.
14. Chen, H., Cong, T. N., Yang, W., Tan, C., Li, Y., & Ding, Y. (2009). Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Progress in Natural Science*, 19(3), pp. 291–312. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.07.014>
15. Rebours, Y., & Kirschen, D. (2005, January 1). *What is spinning reserve?* ResearchGate.  
[https://www.researchgate.net/publication/228364081\\_What\\_is\\_spinning\\_reserve](https://www.researchgate.net/publication/228364081_What_is_spinning_reserve)
16. Zakeri, B., & Syri, S. (2015). Electrical energy storage systems: A comparative life cycle cost analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, pp. 569–596. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.011>
17. IRENA. (2017). Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets To 2030. Abu Dhabi: *International Renewable Energy Agency*.



UDC 621.311

SCOPUS CODE 2102

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-1-163-172>

## The Importance of Energy Storage Systems in Modern Energy Systems

**Gela Javakhishvili** Department of Electric Power and Electromechanics, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava str.

E-mail: [gela\\_java@yahoo.com](mailto:gela_java@yahoo.com)

**Giorgi Jabishvili** Department of Electric Power and Electromechanics, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava str.

E-mail: [jabishviligio@gmail.com](mailto:jabishviligio@gmail.com)

### Reviewers:

**G. Arabidze**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Faculty of Energy and Telecommunications, GTU

E-mail: [power@gtu.ge](mailto:power@gtu.ge)

**T. Museliani**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Faculty of Energy and Telecommunications, GTU

E-mail: [museliani@yahoo.com](mailto:museliani@yahoo.com)

**Abstract.** The process of changing the overall structure of the power system is gradually shifting from fossil fuels to renewable energy sources that are more environmentally friendly and sustainable. The traditional electricity value chain consists of five links: fuel/energy source, generation, transmission, distribution and customer service. Energy storage systems are on the verge of becoming the "sixth link". They can store energy at low demand, low cost of generation, or from intermittent sources of energy, and to use it at high demand, high cost, or when there is no other means of generation. The potential services of energy storage systems are numerous and diverse and can cover a wide range, from larger, generation and transmission systems to relatively small distribution network systems and "beyond the meter" customers. The volume, nature, and quality of different services depend mainly on the power/capacity of the storage, versatility, technology, and automation, as well as location, user requirements, and regulatory constraints. Existing trends also indicate that the need for energy storage will increase amid high production and demand, which will require energy storage for several days, weeks or months in the future.

**Keywords:** electric power; energy storage; generation; peak load; renewable energy source.

UDC 621.311

SCOPUS CODE 2102

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-1-163-172>

## Значение систем накопления энергии в современных энергосистемах

**Гела Джавахишвили**      Департамент электроэнергетики и электромеханики, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава 75  
E-mail: gela\_java@yahoo.com

**გიორგი Джаბიშვილი**      Департамент электроэнергетики и электромеханики, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава 75  
E-mail: jabishviligio@gmail.com

### Рецензенты:

**Г. Арабидзе**, доктор технических наук, профессор факультета энергетики и телекоммуникаций ГТУ  
E-mail: power@gtu.ge

**Т. Муселиани**, доктор технических наук, профессор факультета энергетики и телекоммуникаций ГТУ  
E-mail: museliani@yahoo.com

**Аннотация.** Процесс изменения общей структуры энергосистемы постепенно переходит от ископаемого топлива к возобновляемым источникам энергии, которые являются более экологически чистыми и устойчивыми. Традиционная цепочка создания стоимости электроэнергии состоит из пяти звеньев: источник топлива/энергии, генерация, передача, распределение и обслуживание потребителей энергии. Системы хранения энергии вот-вот станут «шестым звеном». Они могут накапливать энергию при низком спросе, низкой стоимости производства или из непостоянных источников энергии и использовать ее при высоком спросе, высокой стоимости или когда нет других средств генерации. Потенциальные услуги систем энергосбережения многочисленны и могут охватывать широкий диапазон, от более крупных систем генерации и передачи до относительно небольших систем распределительных сетей и потребителей «за счетчиком». Объем, характер и качество различных услуг зависят в основном от мощности/ёмкости накопителя, универсальности, технологии и автоматизации, а также от местоположения, требований пользователей и нормативных ограничений. Существующие тенденции также указывают на то, что потребность в накоплении и хранении энергии будет увеличиваться на фоне высокого производства и спроса, что в будущем потребует хранения энергии в течение нескольких дней, недель или месяцев.

**Ключевые слова:** возобновляемый источник энергии; генерация; пиковая нагрузка; хранилище энергии; электроэнергия.

*განხილვის თარიღი 23.01.2022*

*შემოსვლის თარიღი 25.01.2022*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 25.03.2022*