

UDC 004.7

SCOPUS CODE 1405

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-4-73-84>

ბიზნესის ციფრული ტრანსფორმაციის ტექნოლოგიური საფუძვლები

- არჩილ სამადაშვილი** საწარმოო ინოვაციებისა და ოპერაციათა მენეჯმენტის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75
E-mail: a.samadashvili@gtu.ge
- ქეთევან ილურიძე** საწარმოო ინოვაციებისა და ოპერაციათა მენეჯმენტის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75
E-mail: ke.iluridze@gtu.ge

რეცენზენტები:

ნ. ბებიაშვილი, სტუ-ის ენერგეტიკის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: n_bebiasvili@gtu.ge

გ. ნაჭყეპია, სტუ-ის ენერგეტიკის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: nachkepia@yahoo.com

ანოტაცია. ციფრული ტრანსფორმაცია თანამედროვე ბიზნესის წარმატების მნიშვნელოვანი ფაქტორია. ოთხი ძირითადი ტექნოლოგია — ღრუბლოვანი გამოთვლები (Cloud Computing, CC), დიდი მონაცემები (Big Data, BD), ხელოვნური ინტელექტი (Artificial Intelligence, AI) და ნივთების ინტერნეტი (Internet of Things, IoT) ქმნის პლატფორმას ბიზნეს-პროცესების არსებითი ცვლილებისთვის. CC ხელს უწყობს კომპანიათა ინფრასტრუქტურულ მოქნილობას, BD და AI – მონაცემების სწრაფ და ეფექტურ ანალიზს, IoT – სამრეწველო მოწყობილობებს შორის კავშირსა და მათი მუშაობის მონიტორინგს უზრუნველყოფს. ამ ტექნოლოგიების სხვადასხვა კომბინაცია

მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს ბიზნესის ოპერაციულ ეფექტურობას, პროცესების ავტომატიზაციის, ოპტიმიზაციისა და მოქმედების პროგნოზირების ხარჯზე. ენერგეტიკა ერთ-ერთი სფეროა, რომელშიც ციფრულმა ტრანსფორმაციამ, ENGIE-ს და Enel-ის მსგავსი მსხვილი კომპანიების ეფექტურობის გაზრდასთან ერთად, შესაძლებელი გახადა ახალი ბიზნესმოდელების განვითარებაც, როგორც კომუნალური მომსახურების მცირე კომპანიები.

საკვანძო სიტყვები: დიდი მონაცემები; ნივთების ინტერნეტი; ღრუბლოვანი გამოთვლები; კვვიანი ქსელი; ხელოვნური ინტელექტი.

შესავალი

დღეს კომპანიათა აღმასრულებელ ხელმძღვანელებს (CEO-ებს) აუცილებლად მოეთხოვება ციფრული ტრანსფორმაციის წარმართველი ტექნოლოგიების შესაძლებლობებში დეტალურად გარკვევა. აღნიშნულის მნიშვნელობა ჯერ არასდროს ყოფილა ესოდენ მაღალი: სხვადასხვა შეფასებით მსხვილ საწარმოში ხელოვნური ინტელექტისა (Artificial Intelligence, AI) და ნივთების ინტერნეტის (Internet of Things, IoT) აპლიკაციების დანერგვა წლიურად ასეულებიდან მილიარდ დოლარამდე ეკონომიკურ ღირებულებას შექმნის. მაგალითად, Royal Dutch Shell-ის ნავთობჭაბურღილების 500 000-ზე მეტ სარქველზე ხელოვნურ ინტელექტზე დაფუძნებული ტექნიკური პროგნოზირების აპლიკაციის დანერგვამ წელიწადში რამდენიმე ასეული მილიონი დოლარი მოუტანა, აღჭურვილობის მოვლის ხარჯების შემცირებისა და ოპერაციული ეფექტურობის გაზრდის მეშვეობით [1].

ციფრული ტრანსფორმაციის შედეგად ბიზნესის ძირითად პროცესებში ასობით ან ათასობით AI და IoT აპლიკაციების დანერგვა ხორციელდება. ამიტომ, კომპანიათა მენეჯერები უნდა მოემზადონ კომპეტენტური დისკუსიისთვის როგორც საკუთარ ტექნიკურ პერსონალთან, ისე ბიზნესპარტნიორების შერჩევასა. მხოლოდ ეს დაიცავს მათ გადაწყვეტილებებს არაკვალიფიციური თანამონაწილეებისგან და საწარმოთა ტექნიკურ გადაიარაღებას – ღირებულების არშემქმნელი პროექტებისგან.

აღნიშნულის უზრუნველსაყოფად, ბიზნესის ლიდერები უნდა გაერკვნენ იმ ოთხი ძირითადი ტექნოლოგიის სამეწარმეო და ტექნიკურ შესაძლებ-

ლობებში, რომლებიც ციფრული ტრანსფორმაციის ხერხემაღს ქმნის. ესენია: ღრუბლოვანი გამოთვლები (Cloud Computing, CC), დიდი მონაცემები (Big Data, BD), ხელოვნური ინტელექტი (AI) და ნივთების ინტერნეტი (IoT). დღეს ეს ტექნოლოგიები მკვეთრად ცვლის თამაშის წესებს ბიზნესში და უკვე დადასტურებულია, რომ ეს მხოლოდ დასაწყისია. McKinsey-ის შეფასებით, მათი დახმარებით 2030 წლისთვის 23 ტრილიონი დოლარის ჯამური ღირებულება შეიქმნება [2].

ძირითადი ნაწილი

ღრუბლოვანი გამოთვლები (CC) ერთ-ერთი ტექნოლოგიაა, რომლის გარეშე ციფრული ტრანსფორმაცია შეუძლებელი იქნებოდა. ღრუბლოვანი გამოთვლების მეშვეობით ბიზნესს უზნდება წვდომა ერთობლივი გამოყენების კონფიგურირებად ტექნიკასა და პროგრამულ უზრუნველყოფაზე: კომპიუტერულ ქსელებზე, სერვერებზე, მონაცემთა საცავებზე, აპლიკაციებსა და სხვა ინფორმაციულ სერვისებზე. სათანადო რესურსები შეიძლება ორგანიზაციის საკუთრებაში იყოს და მხოლოდ ის იყენებდეს („პირადი ღრუბელი“) ან მესამე მხარის საკუთრებას შეადგენდეს და ნებისმიერი მომხმარებლისთვის იყოს ხელმისაწვდომი გადახდით, მხოლოდ გამოყენებული მომსახურებისთვის („საჯარო ღრუბელი“).

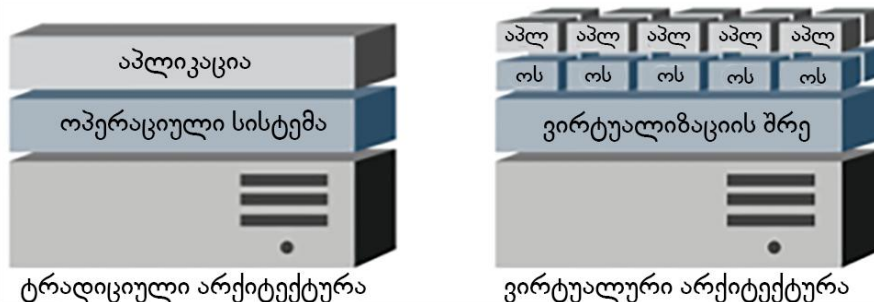
ვინაიდან შესაბამისი სერვისების მიმწოდებელ ღრუბლოვან პროვაიდერებს შეუძლია იაფად გაუმჯავს და საიმედოდ მართოს უზარმაზარი წარმადობის სერვერები და ინფორმაციის შესანახი მოწყობილობები, განთავსებული გლობალური ქსელების

უსაფრთხო და სანდო მონაცემთა ცენტრებში, სულ უფრო მეტ ორგანიზაციებს გადააქვს თავისი აპლიკაციები ("სამუშაო დატვირთვა") საკუთარი კორპორაციული მონაცემთა ბაზებიდან ღრუბლოვანი სისტემებში. Cisco-ს პროგნოზით, 2030-იანი წლების ბოლოსთვის სამუშაო დატვირთვის 94% ღრუბლოვანი მონაცემთა ცენტრებში დამუშავდება [3].

კომპანიებმა, რომლებმაც თავისი საინფორმაციო ტექნოლოგიებით ოპერირება მთლიანად თუ არა, მნიშვნელოვანწილად მაინც საჯარო ღრუბლებზე გადაიტანა, შეიძლება დასახელდეს Netflix, Uber, Deutsche Bank და სხვა მსხვილი საერთაშორისო კორპორაციები. მრავალი მათგანი ამისთვის კომპანია ამაზონის ღრუბელ AWS-ს (Amazon Web Services) იყენებს, რომელიც მონაცემთა დამუშავების 200-ზე მეტ სერვისს სთავაზობს კლიენტებს, მაღალი წარ-

მადობის მონაცემთა უსაფრთხოებისა და ოპერაციების ეფექტიანობის გარანტირებით.

ღრუბლოვანი გამოთვლების ეკონომიკური ეფექტიანობა ვირტუალიზაციის და ე.წ. „კონტეინერული“ ტექნოლოგიების გამოყენებაზეა დაფუძნებული (სურ.1). ტრადიციულ მონაცემთა ცენტრებში ტექნიკური რესურსების (hardware) უტილიზაცია დაბალია, რადგან ორგანიზაციები მათ სერვერებსა და საცავებს გამოთვლებზე მოთხოვნილებების პიკური, მეტად ხანმოკლე პერიოდებზე ორიენტირებით აინსტალირებს. ვირტუალიზაცია უქმნის რამდენიმე აპლიკაციას ერთი ფიზიკური სისტემით საგებლობის შესაძლებლობას, მკვეთრად აუმჯობესებს ინფრასტრუქტურული აღჭურვილობის გამოყენების ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.



სურ. 1

ვირტუალიზაციის მეშვეობით ერთი ტექნიკური სისტემით მრავალი სიმულაციური გარემო იქმნება, ხოლო „კონტეინერები“ კიდევ ერთი ინოვაციაა, რომელიც ფიზიკური რესურსების ეფექტურად გაზიარების შესაძლებლობას იძლევა. „კონტეინერი“ მსუბუქი, ავტონომიურად შესრულებადი პროგრამული პაკეტია, რომელიც მოიცავს ყველაფერს, რაც მისი გაშვებისთვისაა საჭირო – კოდს, შესრულების

გარემოს, სისტემურ ინსტრუმენტებს, ბიბლიოთეკებს და ა.შ.

CC დამოუკიდებელი და კორპორაციული პროგრამული დეველოპერების მიერაა ინიცირებული, მეტი კონცენტრირების მიზნით იაფად გამოყენებადი პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნაზე, ხოლო ღრუბლოვანი მიმწოდებლებისა – შესაბამისი ინფრასტრუქტურის, როგორც სერვისის (Infrastruc-

ture-as-a-Service, IaaS) მასშტაბირებისა და საიმედოობის განვითარებაზე. ღრუბლოვანი წინადადებები ამჟამად მნიშვნელოვნად გასცდა IaaS-ის საზღვრებს, კერძოდ პროგრამული აპლიკაციებით მომსახურების (Software-as-a-Service, SaaS) მიმართულებით (Infrastructure-as-a-Service, IaaS) მასშტაბირებისა და საიმედოობის განვითარებაზე.

SaaS გულისხმობს წინასწარ შექმნილი და ინტერნეტით მისაწოდებელი პროგრამული პროდუქტების შეთავაზებას. მისი მიმწოდებელი განათავსებს და მართავს ყველაფერს ამისთვის საჭიროს: საბაზო ინფრასტრუქტურას, მონაცემთა დაცულობას, ოპერაციულ გარემოს და განახლებას. SaaS-ის წინადადებები ათავისუფლებს მომხმარებლებს აღჭურვილობის შეძენა-ინსტალაციის, მომსახურებისა და პროგრამული ნაწილის განახლების საჭიროებისგან, იგი მხოლოდ გამოყენებული რესურსებისთვის იხდის. SaaS შეთავაზებები, როგორც წესი, მომხმარებელს საშუალებას აძლევს დააკონფიგურიროს გამოყენებული აპლიკაციის პარამეტრები საჭიროების შესაბამისად, მაგალითად მოირგოს მონაცემთა ველები, სამუშაო ნაკადი და წვდომის პრიორიტეტულობა.

დიდი მონაცემები (BD) ციფრულ ტრანსფორმაციასთან დაკავშირებული მეორე ტექნოლოგიური ვექტორია, რომელიც ძალზე მნიშვნელოვანია, რადგან აუცილებელია ხელოვნური ინტელექტის ალგორითმების „გაწვრთნისთვის“.

ტრადიციულ ცენტრალიზებულ ე.წ. ვერტიკალური მასშტაბირების კომპიუტერულ არქიტექტურებში შეუძლებელია იაფად მონაცემთა მოცულობითი ნაკრების ეფექტური დამუშავება. ამისთვის

გამოსადეგია ე.წ. ჰორიზონტალური მასშტაბირების არქიტექტურები, რომლებიც ათასობით ან ათიათასობით პროცესორის პარალელური გამოყენებით, მონაცემთა იმ კოლოსალურ რაოდენობებს ამუშავებს, რომლებიც მოეთხოვება ციფრული ტრანსფორმაციის ინიციატივებს – პეტაბაიტების ($1 \text{ პბ} = 10^{15}$ ბაიტს) მასშტაბის დიდ მონაცემებს.

მონაცემების დიდი რაოდენობის შეგროვებისა და დამუშავების შრომატევადობის და სიძვირის გამო, ბიზნესორგანიზაციები მათგან მცირე ამონარჩევების (ასეულები ათეულ ათასებიდან) სტატისტიკას იყენებს, რომლის დასკვნებსაც შემდეგ მათ მთლიანობაზე – გენერალურ ერთობლიობაზე ავრცელებს ექსპერტული ჰიპოთეზების სახით. დღეს, როდესაც მათთვის ფასეული ინფორმაციის ნაკადები თითქმის ექსპონენციურად ყოველდღე მატულობს, სამეწარმეო ორგანიზაციებს მონაცემთა ანალიზი რეალურთან მიახლოებულ დროში ესაჭიროება. აღნიშნული განსაკუთრებით აქტუალურია AI-სთან მიმართებაში, რომლის ალგორითმები აღარ ყოფნის ექსპერტული ჰიპოთეზების გამოყენებას, არამედ რთული სისტემების ქცევის პროგნოზირებისთვის მონაცემების სრულ სპექტრზე დაყრდნობას მოითხოვს. სხვა სიტყვებით რომ ითქვას, ხელოვნური ინტელექტის ალგორითმები აღარ საჭიროებს ექსპერტული ჰიპოთეზების წამოწევას, სისტემების ქცევას გენერირებული მონაცემებიდან, თავად ადგენს მოვლენების გაჩენისა და განვითარების მიზეზებს. მაგალითად, ხელოვნური ინტელექტი სწრაფად და ზუსტად ადგენს იპოთეკური სესხის დაუბრუნებლობის ან მრავას გაუმართაობის წყაროებს, აპროგნოზირებს დიაბეტის გაჩენას და ა.შ.

ხელოვნური ინტელექტი (AI) ბიზნესის ციფრული ტრანსფორმაციის მამოძრავებელი მესამე ძირითადი ტექნოლოგიაა. იგი ისეთი ინტელექტუალური მანქანებისა და კომპიუტერული პროგრამების შექმნის საფუძველია, რომლებსაც შეუძლია დამოუკიდებლად ისწავლოს და გადაჭრას პრობლემები, ადამიანის ჩარევის გარეშე. მეწარმეობაში AI გამოიყენება ბუნებრივი ენის ვერბალური და ბეჭდური ტექსტების დამუშავებისთვის, გამოსახულებების ამოცნობისთვის, თაღლითობის გამოვლენისთვის, მმართველი გადაწყვეტილებების მიღების მხარდასაჭერად და ა.შ. შესაბამისი აპლიკაციების ბიზნესის მმართველობითი შესაძლებლობები გამუდმებით ფართოვდება და უკვე მოიცავს მიწოდების ჯაჭვების ოპტიმიზაციას, წარმოების ოპერირების გაუმჯობესებას, ტრანსპორტის, ფლოტის მართვას და სხვა მსგავსს.

ხელოვნური ინტელექტის გამოყენებას ბიზნესში მრავალი კატალიზატორი აჩქარებს, მათ შორისაა გამოთვლებისა და ინფორმაციის შენახვის ღირებულების მუდმივი კლება, აპარატურის შესაძლებლობების გამუდმებული გაუმჯობესება, „ჭკვიანი“ სენსორები და სხვა ტექნოლოგიური ინოვაციები. რამდენადაც გამოთვლები უფრო მძლავრი და იაფი ხდება, ხელოვნური ინტელექტის გამოყენება, მონაცემთა მოცულობით და მრავალფეროვანი ნაკრებისთვის, ხელმისაწვდომი ხდება, რათა მეტი პრობლემა გადაიჭრას შესაბამისი გადაწყვეტილების მიღებით რეალურ დროში.

ნივთების ინტერნეტი (IoT) ციფრული ტრანსფორმაციის ხელშემწყობი კიდევ ერთი ტექნოლოგიაა. მის საფუძველშია ინფორმაციის დამუშავებისა და კომუნიკაციის ადეკვატური შესაძლებ-

ლობებით აღჭურვილი ნებისმიერი მოწყობილობების, ადამიანის გარეშე, ერთმანეთთან დაკავშირების იდეა, მათ შორის მონაცემების გაცვლის მიზნით. IoT-ის გავრცელებას ხელს უწყობს ორი გარემოება. პირველია ის, რომ მიკროპროცესორებისა და სენსორების სტაბილური გაიაფების და მათი ენერგოეფექტურობის მატების ფონზე, სამრეწველო და ინფრასტრუქტურული აღჭურვილობის მონიტორინგისა და მართვისთვის საჭირო გამოთვლები უფრო ხშირად უშუალოდ იმ მოწყობილობებში მიმდინარეობს, რომლებშიც იქმნება და მოიხმარება ინფორმაცია. მეორე გარემოებაა ღრუბლოვანი გამოთვლების ეფექტურობის და ეკონომიკური ეფექტიანობის მკვეთრი ზრდა, ინფორმაციული ქსელების გაფართოების და დაჩქარების კვალდაკვალ.

ნივთების ინტერნეტის ხელშემწყობია ე.წ. „ჭკვიანი“ საწარმოების გავრცელება, რომელთა სათანადო სენსორებით და კომუნიკაციის საშუალებებით აღჭურვილი და ღრუბლოვან მონაცემთა ცენტრებით ერთმანეთთან დაკავშირებული კიბერფიზიკური სამრეწველო სისტემები მუდმივად აკონტროლებს მათ ირგვლივ მიმდინარე ცვლილებებს და მათზე სათანადოდ რეაგირებს.

ავტომატჩანებს, თვითმფრინავებს, კომერციულ შენობებს, ქარხნებს, საცხოვრებელ სახლებს და ისეთ ინფრასტრუქტურულ ობიექტებს, როგორიცაა ელექტროგადამცემი ქსელები, ხიდები, პორტები და გვირაბები, უკვე ათასობით ჭკვიანი სენსორი და კამერა აქვს. ხელოვნური ინტელექტი სულ უფრო მეტად ერთვება მათ გამოყენებაში, ვინაიდან ყველა ისინი ფაქტობრივად გამოთვლითი მოწყობილობებია.

მაგალითად, აშშ-ის საჰაერო ფლოტში ხელოვნურ ინტელექტზე დაფუძნებული საპროგნოზო

ტექნიკური აპლიკაციები ფართოდ გამოიყენება იმისთვის, რომ თვითმფრინავების სხვადასხვა სისტემისა და ქვესისტემისთვის წინასწარ განისაზღვროს გაუმართაობის გაჩენის შესაძლებლობა, რათა უზრუნველყოფილ იქნეს მათი პროაქტიური ექსპლუატაცია და შემცირდეს დაუგეგმავი ტექნიკური მომსახურების საჭიროება. ამის შესაბამისი აპლიკაციები ანალიზებს თითოეულ თვითმფრინავზე არსებულ მრავალ სენსორისგან მიღებულ ინფორმაციას, ისევე როგორც სხვა ოპერაციულ მონაცემებს. მოელიან, რომ მთლიანად საჰაერო ფლოტში ამ სისტემის დაწერვის შედეგად თვითმფრინავების ექსპლუატაციისთვის მზადყოფნა 40% გაიზრდება.

ვნახეთ, რომ ციფრული ტრანსფორმაციის მამოძრავებელი ოთხი ტექნოლოგია – ღრუბლოვანი გამოთვლები, დიდი მონაცემები, ხელოვნური ინტელექტი და ნივთების ინტერნეტი უმძლავრეს ახალ შესაძლებლობებს სთავაზობს ბიზნესს. ამასთან, მნიშვნელოვანი ახალი გამოწვევებისა და სირთულეების წინაშე აყენებს სამეწარმეო ორგანიზაციებს, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც საჭიროა მათი გაერთიანება საერთო ტექნოლოგიური პლატფორმით. დღეს უამრავი ორგანიზაცია იღწვის AI და IoT აპლიკაციების მასშტაბური განვითარებისა და დანერგვისთვის, მაგრამ მათგან ცოტა თუ ახერხებს ექსპერიმენტებისა და პროტოტიპირების ეტაპების მიღმა დამოუკიდებლად გასვლას. ეს გარემოება ახალ ასპარეზს უქმნის მაღალტექნოლოგიურ მცირე ბიზნესს, რომლის სპეციალიზაციაა დამკვეთი კომპანიის ორგანიზაციული გარდაქმნა. ციფრულ მოდელზე ორიენტირებული ორგანიზაციული არქიტექტურის პრინციპების დაცვით.

პროგრამისტებისა და მონაცემთა მეცნიერების მცირე გუნდის გამოყენებით, მათ შეუძლიათ საწარმოო AI და IoT აპლიკაციების განვითარება არაუმეტეს 10 კვირაში, ფართომასშტაბიანი პროექტების დამთავრების სრული დროით 12-დან 16 კვირამდე, დაწყებული ბიზნესის ახალი მოდელის დიზაინიდან და დამთავრებული საბოლოო შედეგის ტესტირებით. შედეგად დამკვეთი საწარმო სრულად აქტიურდება ციფრულ პლატფორმაზე, რომელიც ღრუბლოვან გამოთვლებს, დიდ მონაცემებს, AI-სა და IoT-ს აერთიანებს.

ზემოთქმულის საილუსტრაციოდ, განვიხილოთ ენერგეტიკის სფეროში მოქმედი კომპანიების წარმატებული ციფრული ტრანსფორმაციის რამდენიმე მაგალითი. პირველი შეეხება ENGIE-ს – ინტეგრირებულ ფრანგულ ენერგეტიკულ კომპანიას, რომელიც მრავალი თვალსაზრისით ციფრული ტრანსფორმაციის მომხრე მსხვილი საწარმოა [4]. 150 000-ზე მეტი თანამშრომლით 70 ქვეყანაში მოქმედმა ამ კომპანიამ 2018 წელს 60,6 მილიარდი ევროს შემოსავალი მიიღო. ENGIE დიდი რაოდენობით მონაცემებს აგროვებს როგორც საკუთარი 22 მილიონი IoT მოწყობილობიდან, ისე ასობით კორპორატიული და ოპერაციული საწარმოო სისტემებიდან.

ციფრული ტრანსფორმაციის საკუთარ მცდელობაში ENGIE-ის პირველი ნაბიჯი იყო მაღალი ღირებულების შექმნის პოტენციალის მქონე შესაძლებლობების იდენტიფიცირება და ერთგვარი „საგზაო რუკის“ შედგენა, მათი განვითარების ხელშეწყობის მიზნით. ამისთვის კომპანიის „ციფრულ წარმოებაში“ – მის შვილობილ ENGIE Digital-ში, პროგრამული უზრუნველყოფის დეველოპერ პარ-

ტნიორებთან ერთად, შექმნეს ინოვაციური IT ინსტრუმენტები და შემდეგ ENGIE-ში შემავალ ყველა ორგანიზაციაში დანერგეს მათი გამოყენება. რამდენიმე შესაბამისი მაგალითია:

- გაზზე მომუშავე თავისი თბოსადგურების აქტივების სამართავად, ENGIE იყენებს პროგნოზირების ანალიტიკას და AI ალგორითმებს, რაც ამარტივებს მათზე პროფილაქტიკური სამუშაოების ჩატარებას. დანაკარგების გამომწვევი ფაქტორების იდენტიფიცირების შედეგად, ავარიების რაოდენობის შემცირებამ და აღჭურვილობის ექსპლუატაციის გახანგრძლივებამ, საგრძნობლად გაზარდა ელექტროენერგიის გამომუშავების ეფექტურობა.
- მომხმარებელთა მენეჯმენტის მიმართულებით ENGIE-მ დანერგა საკუთარი კლიენტებისთვის განკუთვნილი და თვითმომსახურების აპლიკაციებით აღჭურვილი ონლაინმომსახურების მთელი კომპლექსი, რომლის გამოყენებით თავად შეუძლია მართოს ენერგიის საკუთარი მოხმარება. ამისთვის ENGIE-მ შეიმუშავა აპლიკაცია, განკუთვნილი შენობა-ნაგებობების ინდივიდუალური მეპატრონეებისა და ექსპლუატაციის მენეჯერთათვის, რომელიც აანალიზებს „ჰკვიანი“ სენსორებიდან მიღებულ სათანადო მონაცემებს, ზუსტად განსაზღვრავს და იყენებს ენერგიის დაზოგვის შესაძლებლობებს.
- განახლებადი ელექტროენერგიის გამომუშავების ოპტიმიზაციისთვის ENGIE-მ შექმნა ციფრული პლატფორმა „განახლებადი წყაროები“. პროგნოზირების ანალიტიკის და AI-ს მონაცემების გამოყენებით მოქმედი მისი აპლიკაციები ახდენს აქტივების არასრულფასოვანი მუშაობის იდენტი-

ფიცირებას და ავლენს მოთხოვნილებებს ტექნიკურ მომსახურებაზე, ხოლო სავსე ოპერატორებს რეალურ დროში უქმნის ადეკვატურ ხედვას აქტივების მდგომარეობისა და ტექნიკურ საჭიროებებთან მიმართებაში. პლატფორმა 2020 წლისთვის უკვე ფარავდა 25 გიგავატზე მეტი დადგმული სიმძლავრის მოწყობილობებს, რაც მსოფლიოში განახლებადი ენერგიის მართვის განკუთვნილ ერთ-ერთ უმსხვილეს ხელოვნურ ინტელექტად აქცევდა. დღეს მანქანურ სწავლებაში შემავალი 1000-ზე მეტი მოდელი მუდმივად ხვეწს ცვალებად საოპერაციო პირობებთან ადაპტირების უნარს, რაც უზრუნველყოფს მთელ მსოფლიოში დღეში 140000 პროგნოზის 10-წუთიანი ინტერვალით მიწოდებას ქარის 350-ზე მეტი ტურბინისთვის. უახლოეს მომავალში ეს ციფრული პლატფორმა მანქანური სწავლის ოც-ზე მეტი ახალი აპლიკაციით გაფართოვდება, რაც მნიშვნელოვან დამატებით ეკონომიკურ ღირებულების მიღების შესაძლებლობას შექმნის.

- „ჰკვიანი“ ქალაქებში ENGIE მრავალი აპლიკაციის განვითარებასა და განთავსებას გეგმავს, მათ შორის ენერგოეფექტური უბნების გათბობა-გაგრილების, ტრანსპორტის მოძრაობის, მწვანე მობილურობის, ნარჩენების მართვის და უსაფრთხოების კონტროლისთვის. მისი მიზანია მდგრადი ენერგოეფექტურობის მქონე ქალაქების შექმნა, რაც მომავალში მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს გვპირდება, ქალაქებში მცხოვრებთა რაოდენობის დღევანდელი 50%-დან პროგნოზირებულ 70%-მდე მატების ფონზე.

ENGIE-ს შეფასებით, ციფრული ტრანსფორმაციისგან მიღებული ეკონომიკური სარგებელი, მე-

ტად მაღალია. მაგალითად, მხოლოდ ორი: აღჭურვილობის გაუმართაობის პროგნოზირების და პროფილაქტიკის ოპერაციების დისპეტჩერიზაციის აპლიკაციის დანერგვის შედეგად, ყოველწლიურად 100 მილიონი ევროს ღირებულება იქმნება.

კიდევ ერთი მაგალითია Enel – იტალიური ენერგეტიკული კომპანია, რომელიც მსოფლიოში ელექტროენერგიის მეორე მწარმოებელია, 95 გიგავატზე მეტი დადგმული სიმძლავრით და 69000 თანამშრომლით [5]. სხვადასხვა ქვეყანაში მცხოვრებმა მისმა 70 მილიონზე მეტმა აბონენტმა 2018 წელს 75,7 მილიარდ ევროზე მეტი შემოსავალი მოუტანა კომპანიას. ჰკვიანი ქსელების ენთუზიასტი Enel პირველი ენერგეტიკული კომპანია იყო მსოფლიოში, რომელმაც ტრადიციული ელექტრომექანიკური მრიცხველები ციფრული მრიცხველებით ჩაანაცვლა. 2006 წლისთვის Enel-მა იტალიაში 32 მილიონი „ჰკვიანი“ ელექტრომრიცხველი დაამონტაჟა, რასაც მალევე მოჰყვა ევროპაში 40 მილიონზე მეტი ასეთივე მრიცხველის განათავსება, რაც იმ დროისთვის კონტინენტზე „ჰკვიანი“ მრიცხველების მთლიანი რაოდენობის 80 %-ზე მეტს შეადგენდა.

Enel-ის ციფრული ტრანსფორმაცია AI-სა და IoT-ის მასშტაბურ გამოყენებას უკავშირდება. კომპანიამ 5,3 მილიარდი ევროს აქტივები გამოყო საკუთარი ოპერაციებისა და პროცესების ციფრულ ფორმატზე გადაყვანისთვის, რასაც ძირითადად ორი მიმართულებით ახორციელებდა:

1. **ქსელის პროგნოზირებადი მოვლა** – AI-ს და მანქანური სწავლის მეშვეობით, Enel ახდენს საკუთარი სადისტრიბუციო ელექტროქსელის სენსორებიდან და ჰკვიანი მრიცხველებიდან მიღებული მონაცემების ანალიზს რეალურ დროში, რათა წინასწარ განსაზღვროს გაუმართაობის გაჩენის შესაძლებლობა და შეამციროს მისი სალიკვიდაციო ოპერაციული ხარჯები;

2. **შემოსავლების დაცვა** – Enel-მა შექმნა AI-ზე დაფუძნებული სისტემა, რომელიც ეფექტურად ამოიცნობს ელექტროენერგიის დატაცების შემთხვევებს და გააუმჯობესებს შემოსავლების ზრდის პროცესს.

პირველი მიმართულება Enel-ის მთელ პერიმეტრზე სენსორებით აღჭურვილი და 1,2 მილიონ კილომეტრიანი სადისტრიბუციო ქსელის პრევენციულ მოვლას უკავშირდება, რომელიც უამრავ ტექნიკურ აქტივს აერთიანებს: ქვესადგურებს, მანაწილებელ ხაზებს, ტრანსფორმატორებს და ჰკვიან მრიცხველებს. ქსელის საიმედოობის გაუმჯობესებისა და აქტივების უკმარისობით გამოწვეული გათიშვებისა და შეფერხებების რაოდენობის შესამცირებლად, Enel-მა გამოიყენა AI-ს ბაზაზე შექმნილი პროაქტიური ტექნიკური მომსახურების აპლიკაცია. ეყრდნობა რა მოწინავე მანქანურ სწავლას რეალურ დროში, ტექნიკური აქტივების მდგომარეობის და ამინდის ამსახველ ინფორმაციასთან ერთად, იგი ქსელის სენსორებისა და „ჰკვიანი“ მრიცხველებისგან მიღებულ მონაცემებს ანალიზებს, რათა წინასწარ განსაზღვროს გაუმართაობის გაჩენის შესაძლებლობა, საკუთარი მანაწილებელი ქსელის ფიდერების მიხედვით.

ამ პროექტის ძირითადი ინოვაციები მოიცავს: (ა) Enel-ის ოპერაციული სისტემის აწყობა-გადაწყობას დროის ნებისმიერ მომენტში, გრაფული ქსელების

გეგმარებისადმი გაფართოებული მიდგომის გამოყენებით; (ბ) მოწინავე მანქანურ სწავლაზე დაფუძნებული პლატფორმით სარგებლობას, რომელიც სწავლის მეშვეობით მუდმივად იუმჯობესებს აქტივების მუშაობაში ხარვეზების გაჩენის წინასწარი განჭვრეტის უნარს. ღრუბლოვანი გამოთვლების გამოყენებით, ამ პლატფორმაზე რეალიზებულ პროფილაქტიკური ტექნიკური მოვლის კომპიუტერულ პროგრამას შეუძლია Enel-ის ქსელის სენსორებიდან და ჰკვიანი მრიცხველებიდან რეალურ დროში თავმოყრილ პეტაბაიტის მასშტაბის მონაცემების შედარება მართვის სისტემებიდან მიღებულ ინფორმაციასთან და, რაც მთავარია, ოპერაციული ხედვის გაფართოება ენერგეტიკული ანალიტიკისა და მანქანური სწავლის კომპლექსში ამ მონაცემების დამუშავების შედეგებით.

ციფრული ტრანსფორმაციის გამოყენების მეორე მიმართულება, როგორც ზემოთ აღინიშნა, კომპანიის შემოსავლების დაცვაა. Enel-მა შეცვალა თავისი მიდგომა ელექტროენერგიის დატაცების ფაქტების ე.წ. „არატექნიკური“ დანაკარგების იდენტიფიცირების მიმართ და დღეს პრიორიტეტულად მიიჩნევს საკუთარი შემოსავლის გაუმჯობესებას, მომხმარებლის მიერ ადრე აღურიცხავი ენერგიისთვის გადახდების მიღწევის მეშვეობით.

კომპანიამ მიზნად დაისახა ელექტროენერგიის დატაცების გამოვლენის მაჩვენებლის გაორმაგება: ძირითადი ინოვაცია, რომელმაც ამის შესაძლებლობა მისცა, „არატექნიკური“ დანაკარგების იდენტიფიკაციის ტრადიციული პროცესის ახლით ჩანაცვლება გახდა. ამისთვის კომპანია ფოკუსირდა ადგილებზე ინსპექტირების გაუმჯობესებაზე, ხელოვნური ინტელექტის მოწინავე ალგორითმების გამოყენებით.

Enel-ში დამუშავდა SaaS-ის მეშვეობით გამოყენებადი AI – IoT აპლიკაცია, რომლის განვითარებამ Enel-ის ექსპერტების მიერ 30 წლის განმავლობაში დახვეწილი „ხელით შესასრულებელი“ პროცესი ჩანაცვლა მანქანური სწავლის შესაბამისი ალგორითმით. მომსახურების პუნქტებში ენერგიის უტილიზაციისა და თაღლითობის აღბათობის ამსახველი მონაცემების ნაზავიდან, ამ ალგორითმის მარეალიზებული პროცესი არატექნიკური დანაკარგების პოტენციურ შემთხვევებს გამოარჩევს.

Enel-ის ციფრულმა ტრანსფორმაციამ მნიშვნელოვანი ეკონომიკური შედეგი მოგვცა, მისი მეწვეურების შეფასებით ციფრული ტრანსფორმაციისგან მიღებული წლიური სარგებელი 600 მილიონ ევროს აჭარბებს.

ციფრული პლატფორმების დამკვიდრებით ენერგეტიკულ ბაზრებზე იქმნება პირობები ბიზნესის ახალი მოდელების განვითარებისთვის. ასეთების მაგალითია ე.წ. "პროსუმერები" (ინგლისურიდან produce+consume ანუ აწარმოე+მოიხმარე). ეს ისეთი მომხმარებლებია, რომლებსაც თავადაც შეუძლიათ გამოიმუშაონ, მოითხოვონ, შეინახონ და მიაწოდონ ენერგია სხვა მომხმარებლებს. ენერგიის საბოლოო მომხმარებლებისთვის „ჰკვიანი“ ქსელებით მიწოდებას მზარდი რაოდენობით ემსახურებიან ე.წ. „აგრეგირების აგენტები“ – ენერგომომარაგების სქემებში ჩართული ახალი ტიპის შუამავლები, რომლებიც აკონტროლებენ და არეგულირებენ როგორც ელექტროენერგიის მოხმარებას, ისე გაყიდვას, „პროსუმერების“ მიერ მისი ჭარბი რაოდენობით გამოიმუშავების შემთხვევაში.

ამ და სხვა ბიზნესმოდელების გავრცელებას ენერგოსექტორში ხელს უწყობს ახალი პარადიგმის

„ენერგია, როგორც სერვისი“ (Energy as a Service, EaaS) გაჩენა, რომელიც დეცენტრალიზებული ციფრული ენერგეტიკული სისტემის შექმნის სტიმულირებაზეა მიმართული. EaaS თავადაც ინოვაციური ბიზნესმოდელია, რომელიც ენერგომომარაგების სფეროსთვის ე.წ. პაკეტური მომსახურების მიწოდებას ითვალისწინებს, ტექნოლოგიური, მმართველობითი და ფინანსური ციფრული სერვისების სახით.

მრავალი ორგანიზაცია-ენერგომომხმარებლისთვის ნაკადების მართვა სულაც არ არის მისი ძირითადი კომპეტენცია. გარდა ამისა, მიკროქსელებისა და ენერგიის განაწილებული წყაროებისთვის საჭირო მაღალტექნოლოგიური აღჭურვილობა ძვირად ღირებულია, ხოლო მისი ინსტალაცია-გამოყენება – რთული და შესაბამისი კვალიფიკაციის მომთხოვნი. EaaS-ს მიმწოდებელთან კონტრაქტის დადებით ასეთი მომხმარებელი თავისუფლდება სათანადო ტექნიკური საშუალებების ფლობის და მისი მუშაობის მართვის საჭიროებისგან, რითაც მას სათანადო სერვისის პროვაიდერი უზრუნველყოფს.

ამჟამად, სტუ-ის ენერგეტიკის ფაკულტეტზე მუშავდება EaaS პლატფორმის კონცეფცია, რომლის მეშვეობით სპეციალიზებული კომპანიები შესთავაზებენ განახლებადი ენერგიის წყაროების მიკრომეპატრონე „პროსუმერებს“, მცირე ენერგომომხმარებლებს, ქალაქებისა და უბნების ენერგოეფექტურობის მმართველ კომუნალურ კომპანიებს სამი სახის მომსახურებას: საკონსულტაციო, ინსტალაცია-მონტაჟის და ენერგომიწოდების მართვის [6].

ტექნიკური სისტემებით აღჭურვა ლიზინგის წესით დაფინანსდება, პლატფორმის კონსულტანტები დაეხმარებიან კლიენტებს საკუთარ ენერგეტიკულ

საჭიროებებზე მორგებული მოხმარების სტრატეგიების ჩამოყალიბებასა და ენერგოუსაფრთხოების სისტემების ოპტიმიზაციაში. რაც შეეხება EaaS პლატფორმის სერვისებს ენერგომენეჯმენტის მიმართულებით, ისინი უზრუნველყოფენ ენერგონაკადების მართვის გადაწყვეტილებების მიღებას და რეალიზებას სამი ასპექტით: ენერგომომხმარებლის მონიტორინგის, დისტანციური დისპეტჩერიზაციის და დატა-ვირთვის ოპტიმიზაციის. მაგალითად, ეს შეიძლება იყოს ე.წ. „ჭკვიანი“ სახლის ენერგომომარაგების გადაწყვეტილებები.

დასკვნა

ციფრული ტრანსფორმაცია დღეს აუცილებელი გახდა ყველა ტიპის ორგანიზაციისთვის, რათა უზრუნველყოს მათი კონკურენტუნარიანობა და ოპერაციების ეფექტურობა თანამედროვე სამყაროში. ხელოვნური ინტელექტი (AI), ნივთების ინტერნეტი (IoT), დიდი მონაცემები (BD) და ღრუბლოვანი გამოთვლები (CC) ის ტექნოლოგიებია, რომლებიც ოპერაციული პროცესების ორგანიზებისა და მართვის ახალი შესაძლებლობების შეთავაზებით უზარმაზარ ეკონომიკურ სარგებელს სთავაზობენ ბიზნესს.

ENGIE-ს და Enel-ის ციფრული ტრანსფორმაციის მაგალითები აჩვენებს, რომ ენერგეტიკა ერთ-ერთია იმ სფეროთაგან, რომლებშიც განსაკუთრებით მიმზიდველია ამ ტექნოლოგიათა კომპლექსების გამოყენება. მომხმარებელთა მოთხოვნილებების და ტექნიკური აღჭურვილობის მდგომარეობის მაღალი სიზუსტის პროგნოზირების მეშვეობით, შესაძლებელი ხდება არა მხოლოდ სამუშაო პროცესების, არამედ სამეწარმეო ორგანიზაციის მდგრადობისა

და კონკურენტუნარიანობის მკვეთრი და სწრაფი ზიგ ხელს უწყობს დეცენტრალიზებული ციფრული გაუმჯობესება. ენერგეტიკული სისტემების ჩამოყალიბებას პაკე-
ციფრული ტრანსფორმაცია ღირსეულ ასპარეზს ტურ-საკონსულტაციო, საინსტალაციო და ენერგო-
უქმნის ახალი ორგანიზაციული მოდელების დამკ- ნაკადების მართვის მომსახურების შეთავაზებით
ვიდრებას მცირე ბიზნესში. ენერგეტიკაში ასეთებია ენერგიის როგორც მიმწოდებლებისთვის, ისე მომხ-
EaaS სერვისის მიმწოდებელი კომპანიები, რომლე- მარებლებისთვის.

ლიტერატურა

1. Press, G. (2015, December 27). *A very short history of digitization*. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/gilpress/2015/12/27/a-very-short-history-of-digitization/>
2. Catlin, T., LaBerge, L., & Varney, S. (2017, March). *A roadmap for a digital transformation*. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/financial-services/our-insights/a-roadmap-for-a-digital-transformation>
3. Carter, L. (2001, April). *Cisco's virtual close*. Harvard Business Review. <https://hbr.org/2001/04/ciscos-virtual-close>
4. ENGIE. (n.d.). *The digital transformation by ENGIE*. <https://www.engie.com/en/group/strategy/digital-transformation/>
5. ENEL. (2024). *Solid results in 2024*. <https://www.enel.com/>
6. Samadashvili, A., & Iluridze, K. (2021). *New business models in the energy sector*. *Energy*, 2(98), Part II, 179–184. Tbilisi. (Original work published in Georgian)

UDC 004.7

SCOPUS CODE 1405

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-4-73-84>

The Technological Foundations of Business Digital Transformation

Archil Samadashvili Department of Industrial Innovations and Operations Management, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava str.

E-mail: a.samadashvili@gtu.ge

Ketevan Iluridze Department of Industrial Innovations and Operations Management, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava str.

E-mail: ke.iluridze@gtu.ge

Reviewers:

N. Bebiashvili, Associate Professor, Faculty of Energy, GTU

E-mail: n_bebiashvili@gtu.ge

G. Nachkebia, Associate Professor, Faculty of Energy, GTU

E-mail: nachkepia@yahoo.com

Abstract. Digital transformation is a critical factor for the success of modern businesses. Four key technologies — Cloud Computing (CC), Big Data (BD), Artificial Intelligence (AI), and the Internet of Things (IoT) — provide a platform for significant changes in business processes. CC enhances the infrastructural flexibility of companies, BD and AI enable rapid and efficient data analysis, and IoT ensures connectivity between industrial devices and monitors their performance. Various combinations of these technologies substantially improve business operational efficiency through process automation, optimization, and cost-effective decision-making. The energy sector is one area where digital transformation has not only increased the efficiency of large companies like ENGIE and Enel but also enabled the development of new business models, such as small utility service providers.

Keywords: Artificial Intelligence; Big Data; Cloud Computing; Internet of Things.

განხილვის თარიღი 14.05.2025

შემოსვლის თარიღი 16.05.2025

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.12.2025