

ციფრული ტრანსფორმაცია და მისი გავლენა თანამედროვე საწარმოო პროცესებზე

ვანო ოთხოზორია, ნინო წიკლაური, ანა იმერლიშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

v.otkhozoria@gtu.ge, n.tsiklauri@gtu.ge, a.imerlishvili@gtu.ge

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია ციფრული ტრანსფორმაციის გავლენა თანამედროვე საწარმოო პროცესებზე და მისი მნიშვნელობა როგორც გლობალურ, ისე ქართულ კონტექსტში. ნაშრომი ეფუძნება ლიტერატურის მიმოხილვასა და შემთხვევის ანალიზს, რაც მოიცავს წამყვანი საერთაშორისო კომპანიების - Siemens, General Electric, Bosch-ის- ციფრული ინიციატივების შესწავლას. კვლევის შედეგები აჩვენებს, რომ ციფრული ტრანსფორმაცია ზრდის საწარმოთა ეფექტიანობას, მოქნილობასა და პროდუქციის ხარისხს, ამავდროულად ამცირებს ტექნიკურ და ოპერაციულ რისკებს. ქართულ კონტექსტში გამოვლენილია ძირითადი გამოწვევები, მათ შორის ფინანსური შეზღუდვები, კვალიფიციური კადრების დეფიციტი და კიბერუსაფრთხოების დაბალი დონე. დასკვნაში ხაზგასმულია, რომ ციფრული ტრანსფორმაცია საქართველოს საწარმოებისთვის წარმოადგენს სტრატეგიულ შესაძლებლობას, რომლის წარმატება დამოკიდებულია ტექნოლოგიურ ინვესტიციებზე, ადამიანურ რესურსებზე და ორგანიზაციულ მოქნილობაზე.

საკვანძო სიტყვები: ციფრული ტრანსფორმაცია, ინდუსტრია 4.0, ხელოვნური ინტელექტი, დიდი მონაცემები, საწარმოო ავტომატიზაცია

1.შესავალი.

თანამედროვე საწარმოო გარემოში კონკურენციის ზრდამ, ბაზრის დინამიკურმა ცვლილებებმა და მომხმარებლის მოთხოვნების მზარდმა დივერსიფიკაციამ საწარმოები აიძულა, ოპერაციებში ახალი მიდგომები შეიტანონ. ციფრული ტრანსფორმაცია სწორედ ამ საჭიროებიდან გამომდინარე იქცა არა არჩევით, არამედ აუცილებელ პროცესად მრეწველობისთვის. საწარმოთა უმრავლესობა უკვე ვეღარ კმაყოფილდება ტრადიციული მიდგომებით მიღწეულ შედეგებით, რადგან ამ გზით ვეღარ აკმაყოფილებს მომხმარებელთა საჭიროებებს. აქედან გამომდინარე, ტექნოლოგიური მოდერნიზაცია და პროცესების ავტომატიზაცია უფრო და უფრო მეტი საწარმოს სტრატეგიის ნაწილი ხდება.

ციფრული ტრანსფორმაცია წარმოადგენს ფართო კონცეფციას, რომელიც მოიცავს ციფრული ტექნოლოგიების ღრმა ინტეგრირებას ბიზნესის ყველა სფეროში. ეს იწვევს ფუნდამენტურ ცვლილებებს ორგანიზაციების ფუნქციონირებაში, ღირებულების შექმნასა და მომხმარებელთან ურთიერთობაში (Westerman et al., 2014). საწარმოო სექტორში ტრანსფორმაცია გამოიხატება ისეთი ტექნოლოგიების დანერგვით, როგორიცაა ინდუსტრიული საგნების ინტერნეტი (IIoT), ხელოვნური ინტელექტი (AI), დიდი მონაცემების ანალიტიკა, ღრუბლოვანი გამოთვლები და რობოტიზაცია. შედეგად, ტრადიციული საწარმოო პროცესები ხდება ავტომატიზებული, მონაცემებზე დაფუძნებული, მოქნილი და ეფექტური, რაც ძირეულად ცვლის კონკურენციის პრინციპებს ინდუსტრიაში [3].

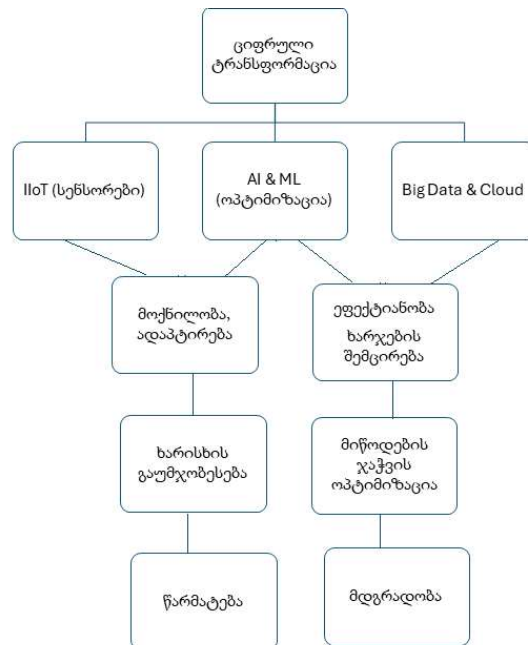
ლიტერატურის მიმოხილვა. ციფრული ტრანსფორმაციის კვლევა აქტიურად მიმდინარეობს როგორც აკადემიურ, ისე პრაქტიკულ სივრცეში. ციფრული ტრანსფორმაცია არა

მხოლოდ ტექნოლოგიური, არამედ სტრატეგიული პროცესია, რომელიც მოითხოვს ორგანიზაციულ ცვლილებებსაც [5]. კვლევებში ყურადღებას ამახვილებენ „ჰკვიანი, დაკავშირებული პროდუქტების“ როლზე და განმარტავენ, რომ მათი გამოყენება საწარმოო სექტორში ქმნის ახალ ბიზნეს-მოდელს [3].

კაგერმანმა და ვაჰლისტერმა ჩამოაყალიბეს **Industry 4.0-ის** კონცეფცია, რომელიც გულისხმობს კიბერ-ფიზიკური სისტემების, IIoT-ისა და მონაცემთა ანალიტიკის ინტეგრირებას საწარმოო პროცესებში [2]. დიდი მონაცემები უნდა განვიხილოთ, როგორც საწარმოთა კონკურენტუნარიანობის განმსაზღვრელი ფაქტორი. ამასთან, ხელოვნური ინტელექტისა და მანქანური სწავლების დანერგვა წარმოებაში არა მხოლოდ ეფექტიანობას ზრდის, არამედ ქმნის პროგნოზირებად და თვითორგანიზებად სისტემებს [2].

როგორც კვლევები აჩვენებს, ციფრული ტრანსფორმაციის წარმატება დამოკიდებულია კონკრეტული ტექნოლოგიების დანერგვაზე, რომელთაგან ძირითადი არის (ნახ.1):

- IIoT (Industrial Internet of Things): რეალურ დროში მონიტორინგი და პროგნოზირებადი მოვლა.
- ხელოვნური ინტელექტი და მანქანური სწავლება: პროცესების ოპტიმიზაცია და ხარისხის კონტროლი.
- დიდი მონაცემები და ანალიტიკა: მომხმარებელთა ქცევის პროგნოზირება და გადაწყვეტილებების მონაცემებზე დაყრდნობით მიღება.
- ღრუბლოვანი გამოთვლები: მოქნილი IT ინფრასტრუქტურა და მონაცემთა გაზიარების შესაძლებლობა.
- ციფრული ტყუპები (Digital Twins): საწარმოო პროცესების ვირტუალური სიმულაცია და ოპტიმიზაცია.



ნახ. 3 ციფრული ტრანსფორმაციის კონცეფცია

2. კვლევის მეთოდოლოგია

ამ კვლევის მიზანია შეისწავლოს ციფრული ტრანსფორმაციის გავლენა თანამედროვე საწარმოო პროცესებზე. კვლევა განხორციელდა კონცეპტუალური და შემთხვევის ანალიზის

მეთოდით, რაც გულისხმობს არსებული აკადემიური ლიტერატურის, ინდუსტრიული ანგარიშებისა და კონკრეტული საწარმოების გამოცდილების შესწავლას.

კვლევის კითხვები:

- როგორ ახორციელებენ საწარმოები ციფრული ტექნოლოგიების (IIoT, AI, დიდი მონაცემები, დრუბლოვანი გამოთვლები) ინტეგრაციას?
- რა გავლენა აქვს ამ ტექნოლოგიების დანერგვას ეფექტიანობაზე, მოქნილობაზე და პროდუქციის ხარისხზე?
- რა სირთულეებსა და რისკებს აწყდებიან საწარმოები ციფრული ტრანსფორმაციის პროცესში?

კვლევის ძირითადი მონაცემთა წყაროები ჩვენთვის იყო სამეცნიერო პუბლიკაციები და ინდუსტრიული ანგარიშები, საწარმოთა ოფიციალური ანგარიშები და პრეს-რელიზები, საერთაშორისო კვლევები ციფრული ტრანსფორმაციის შესახებ.

კვლევა ეფუძნება მეორად მონაცემებს და არ მოიცავს პირველადი მონაცემების შეგროვებას (მაგ., საწარმოების წარმომადგენლებთან ინტერვიუებს ან კითხვარებს). ეს გარკვეულწილად ზღუდავს შედეგების გენერალიზებას ყველა საწარმოზე, თუმცა მრავალწარმოიანი ანალიზი იძლევა სანდო სურათს გლობალური ტენდენციების შესახებ.

3. კვლევის შედეგები.

კვლევის პირველ კითხვაზე - როგორ ახორციელებენ საწარმოები ციფრული ტექნოლოგიების ინტეგრაციას - ანალიზმა აჩვენა, რომ პროცესის მთავარი თავისებურება ეტაპობრივობაა. კომპანიები ცდილობენ ახალი სისტემების დანერგვა მოდულურად, მცირე სეგმენტებიდან დაიწყონ, რათა თავიდან აიცილონ სისტემური რისკები და ფინანსური გადახარჯვა. მაგალითად, IIoT ტექნოლოგიები ყველაზე ხშირად ინერგება სენსორების მეშვეობით, რომლებიც საწარმოო ხაზებზე რეალურ დროში აგროვებს მონაცემებს და უზრუნველყოფს პროცესების უწყვეტ მონიტორინგს. ხელოვნური ინტელექტი და მანქანური სწავლება გამოიყენება პროგნოზირებადი ანალიტიკისთვის, ხარისხის კონტროლის ავტომატიზაციისთვის და ოპტიმიზაციისთვის, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის პროცესების საიმედოობას. დიდი მონაცემების ანალიტიკა კომპანიებს აძლევს შესაძლებლობას, შეაგროვონ და გააანალიზონ მრავალფეროვანი ოპერაციული ინფორმაცია და მის საფუძველზე მიიღონ უკეთესი გადაწყვეტილებები, ხოლო დრუბლოვანი გამოთვლები უზრუნველყოფს მოქნილ IT ინფრასტრუქტურას, მონაცემთა ხელმისაწვდომობასა და გლობალური თანამშრომლობის შესაძლებლობას. ეს ინტეგრაცია არ არის მხოლოდ ტექნოლოგიური საკითხი - მას თან სდევს მენეჯმენტის მოდელების გადახედვა და თანამშრომელთა გადამზადება, რაც განსაზღვრავს სისტემის წარმატებას.

მეორე კითხვაზე - რა გავლენა აქვს ამ ტექნოლოგიების დანერგვას ეფექტიანობაზე, მოქნილობაზე და პროდუქციის ხარისხზე - კვლევის მასალებმა ნათლად აჩვენა, რომ ციფრული ტრანსფორმაცია მრავალმხრივ დადებით შედეგებს იძლევა. პირველ რიგში, საწარმოები აღწევენ ეფექტიანობის ზრდას ხარჯების შემცირებისა და ენერგოეფექტიანობის გაუმჯობესების გზით. General Electric-ის გამოცდილებამ აჩვენა [8], რომ Predix პლატფორმის გამოყენებით კომპანიამ შეძლო ხარჯების დაახლოებით 15%-ით შემცირება. მოქნილობის თვალსაზრისით, Siemens-ის მაგალითზე ჩანს [6] [7], რომ ციფრული ტყუპების და IIoT სისტემების ინტეგრაცია საშუალებას აძლევს საწარმოებს წარმოების ხაზების სწრაფად გადართვას და ახალი პროდუქციის ბაზარზე რამდენიმე დღეში გამოშვებას. ეს ქმნის რეალურ

კონკურენტულ უპირატესობას სწრაფად ცვალებად ბაზრებზე. ხარისხის მიმართულებით, Bosch-ის სმარტ ქარხნების პრაქტიკამ ცხადყო, რომ მანქანური სწავლებისა და რეალურ დროში ანალიტიკის დანერგვამ მნიშვნელოვნად შეამცირა დეფექტური პროდუქციის რაოდენობა - დაახლოებით 30%-ით, რაც არა მხოლოდ ზრდის კლიენტთა კმაყოფილებას, არამედ ამცირებს გარანტიულ ხარჯებს.

მესამე კითხვაზე - რა სირთულეებსა და რისკებს აწყდებიან საწარმოები ციფრული ტრანსფორმაციის პროცესში - ლიტერატურისა და შემთხვევის ანალიზმა ცხადყო, რომ მიუხედავად სარგებლისა, რიგი პრობლემები კვლავაც აქტუალურია. ერთ-ერთი უმთავრესი გამოწვევა არის კიბერუსაფრთხოება: მონაცემთა მასშტაბური გენერირება და ციფრულ გარემოზე დამოკიდებულება ზრდის კიბერშეტევებისა და მონაცემთა გაჟონვის რისკს. ეს კომპანიებს აიძულებს, ინვესტიცია განახორციელონ არა მხოლოდ ტექნოლოგიაში, არამედ მონაცემთა დაცვის პოლიტიკასა და უსაფრთხოების სისტემებში. მეორე სირთულეა ფინანსური ბარიერი - თანამედროვე ტექნოლოგიების დანერგვა მოითხოვს დიდ ინვესტიციას, რაც განსაკუთრებით მცირე და საშუალო საწარმოებისთვის შეიძლება მძიმე ტვირთად იქცეს. ასევე მნიშვნელოვანი ფაქტორია ადამიანური კაპიტალი: თანამშრომლებს სჭირდებათ ახალი უნარების ათვისება, იქნება ეს AI სისტემების მართვა, მონაცემთა ანალიზი თუ IIoT პლატფორმებთან მუშაობა. საბოლოოდ, ორგანიზაციული წინააღმდეგობაც წარმოადგენს რისკს, რადგან კულტურული ბარიერები და ცვლილებებისადმი სკეპტიციზმი ხშირად აფერხებს ინოვაციური პროექტების წარმატებას.

ამრიგად, კვლევითი კითხვებზე მიღებული პასუხები ცხადყოფს, რომ ციფრული ტრანსფორმაცია ერთდროულად აერთიანებს როგორც შესაძლებლობებს, ასევე გამოწვევებს. ტექნოლოგიური ინტეგრაცია იძლევა ეკონომიკურ და სტრატეგიულ სარგებელს, თუმცა მისი სრული პოტენციალის რეალიზება შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, თუ კომპანიები გაათვალისწინებენ უსაფრთხოების, ფინანსურ და ადამიანურ ფაქტორებსაც.

ცხრილი 1 აღწერს საწარმოში ციფრული ტრანსფორმაციის პროცესის ეტაპებს და თითოეულ ეტაპის მნიშვნელოვან ასპექტს, ხოლო ნახ.2-ზე წარმოდგენილია “ჭკვიანი” ქარხნის მაგალითი.

ცხრილი 1 საწარმოს ციფრული ტრანსფორმაციის პროცესის ეტაპები და შეფასებები

ეტაპი / ასპექტი	ძირითადი ტექნოლოგიები / მეთოდები	ეფექტი	გამოწვევები
ინტეგრაცია	IIoT სენსორები, AI/ML, დიდი მონაცემები, ღრუბლოვანი პლატფორმები	-	-
ეფექტი	-	ეფექტიანობა: ხარჯების შემცირება, ენერგოეფექტიანობა; მოქნილობა: სწრაფი გადართვა; ხარისხი: დეფექტების შემცირება	-
სირთულეები	-	-	კიბერუსაფრთხოება, ფინანსური ბარიერი, ადამიანური კაპიტალი, ორგანიზაციული წინააღმდეგობა



ნახ. 4 ციფრული ტრანსფორმაცია და მონაცემებზე დაფუძნებული გადაწყვეტილების მიღება თანამედროვე საწარმოში

4. ციფრული ტრანსფორმაცია ქართულ საწარმოო სექტორში.

ციფრული ტრანსფორმაცია ქართულ საწარმოო სექტორში თანდათანობით ვითარდება და დღეს უკვე აღიქმება არა როგორც არჩევითი ინოვაციური ნაბიჯი, არამედ როგორც სტრატეგიული აუცილებლობა. საქართველოს ეკონომიკური პოლიტიკის ფარგლებში ციფრული ტექნოლოგიების განვითარება ერთ-ერთ პრიორიტეტად არის განსაზღვრული. ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტროს სტრატეგიულ დოკუმენტებში აღნიშნულია, რომ ქვეყნის კონკურენტუნარიანობის ამაღლებისთვის აუცილებელია ბიზნესსექტორში ინფორმაციული ტექნოლოგიების, ავტომატიზაციისა და მონაცემთა ანალიტიკის ინტეგრირება. ამ მიზნის მიღწევას ხელს უწყობს როგორც სახელმწიფო ინიციატივები, ასევე კერძო სექტორის მზარდი ინტერესი ინოვაციებისა და ეფექტიანობის მიმართულებით.

ბოლო წლებში რამდენიმე ქართული საწარმო უკვე გადავიდა ციფრული მოდერნიზაციის ეტაპზე. ერთ-ერთი ცნობილი მაგალითია კომპანია „საქკაბელი“, რომელმაც პარტნიორობით კომპანია BDO Digital-თან დაიწყო თანამედროვე ERP სისტემის დანერგვა. ამ ნაბიჯის მიზანი იყო ბიზნეს პროცესების ოპტიმიზაცია, ოპერაციული ეფექტიანობის გაზრდა და რესურსების მართვის გაუმჯობესება. ციფრული სისტემამ კომპანიას მისცა შესაძლებლობა, რეალურ დროში გაეკონტროლებინა წარმოების ძირითადი პროცესები, შეემცირებინა ადამიანური შეცდომების რისკი და გაეზარდა მოქნილობა ბაზრის მოთხოვნების მიმართ.

განსაკუთრებით საინტერესოა ფინანსური სექტორის მაგალითი - „საქართველოს ბანკი“, რომელმაც ჯერ კიდევ 2017 წლიდან დაიწყო ციფრული ტრანსფორმაციის სტრატეგიის განხორციელება. ბანკის მიზანი იყო ტრადიციული საფინანსო ინსტიტუტიდან ტექნოლოგიურ პლატფორმად გარდაქმნა. შედეგად, შეიქმნა ეკოსისტემა, რომელიც აერთიანებს მობილურ ბანკინგს, ავტომატიზებულ მომსახურებასა და მონაცემებზე დაფუძნებულ გადაწყვეტილებებს. ეს შემთხვევა ნათლად აჩვენებს, რომ ციფრული ტრანსფორმაცია მხოლოდ ტექნოლოგიური ინვესტიცია კი არ არის, არამედ მოიცავს მენეჯმენტის სტილის,

კორპორაციული კულტურისა და მომხმარებელთან ურთიერთობის მოდელის სრულად გადახედვას.

მიუხედავად პოზიტიური ტენდენციებისა, ციფრული ტრანსფორმაცია ქართულ საწარმოო სივრცეში ჯერ კიდევ აწყდება მრავალ გამოწვევას. ყველაზე მნიშვნელოვანი დაბრკოლებაა ფინანსური რესურსების სიმწირე, განსაკუთრებით მცირე და საშუალო საწარმოებისთვის, რომლებსაც არ აქვთ საკმარისი ბიუჯეტი თანამედროვე ტექნოლოგიების შესაძენად ან ღრუბლოვანი პლატფორმებზე გადასასვლელად. ტექნიკური არქიტექტურის მოუმზადებლობაც ხშირად აფერხებს პროცესს, რადგან მრავალი კომპანია ჯერ კიდევ იყენებს მოძველებულ ინფრასტრუქტურას და მემკვიდრეობით დარჩენილ IT სისტემებს, რომლებიც რთულად ინტეგრირდება ახალ ციფრულ გარემოსთან.

ცალკე გამოწვევად რჩება ადამიანური კაპიტალის დეფიციტი - კომპეტენციების ნაკლებობა, განსაკუთრებით რეგიონულ საწარმოებში, სადაც ციფრული უნარების მქონე პერსონალის მოძიება რთულია. თანამშრომელთა გადამზადება და ახალი ტექნოლოგიების ათვისება საჭიროებს დროისა და რესურსის მნიშვნელოვან ინვესტიციას. ამას ემატება ორგანიზაციული ინერცია და ცვლილებებისადმი სკეპტიციზმი, რაც ზოგჯერ აფერხებს ახალ სისტემებზე გადასვლას.

გარდა შიდა ფაქტორებისა, პრობლემას წარმოადგენს კიბერუსაფრთხოების დაბალი ცნობიერებაც. ციფრულ გარემოში მონაცემთა მასობრივი გადამუშავება ზრდის უსაფრთხოების რისკებს, რის გამოც აუცილებელია ძლიერი დაცვის პოლიტიკის შემუშავება. იმ პირობებში, როცა მონაცემთა დაცვა რეგულაციების დონეზეც ჯერ კიდევ ფორმირების პროცესშია, კომპანიები ხშირად იძულებულნი არიან თავად შექმნან უსაფრთხოების სტანდარტები.

თუმცა, მიუხედავად სირთულეებისა, საქართველოს საწარმოო სექტორი თანდათანობით მოძრაობს ტრანსფორმაციის გზაზე. იზრდება პარტნიორობა ადგილობრივ ბიზნესსა და საერთაშორისო IT კომპანიებს შორის, ვითარდება ინოვაციური ეკოსისტემები, რომლებიც აერთიანებენ სახელმწიფოს, კერძო სექტორს და აკადემიურ წრეებს. ეს თანამშრომლობა ქმნის პირობებს იმისთვის, რომ მომდევნო წლებში ციფრული ტრანსფორმაცია არა მხოლოდ ცალკეული კომპანიების სტრატეგია, არამედ ქვეყნის მასშტაბით ეკონომიკური განვითარების ერთ-ერთი ძირითადი მამოძრავებელი გახდეს.

ამრიგად, საერთაშორისო და ადგილობრივი გამოცდილების ანალიზი ცხადყოფს, რომ ციფრული ტრანსფორმაცია საქართველოსთვის წარმოადგენს არა მხოლოდ ტექნოლოგიურ, არამედ ეკონომიკურ და სოციალურ შესაძლებლობას.

5. დასკვნები და რეკომენდაციები.

კვლევამ აჩვენა, რომ ციფრული ტრანსფორმაცია თანამედროვე საწარმოო სექტორში წარმოადგენს არა არჩევით, არამედ გარდაუვალ პროცესს, რომელიც ფუნდამენტურად ცვლის საწარმოო სისტემებსა და კონკურენციის წესებს. ლიტერატურისა და შემთხვევის ანალიზმა ცხადყო, რომ ტექნოლოგიების ინტეგრაცია (IIoT, AI, დიდი მონაცემები, ღრუბლოვანი გამოთვლები და ციფრული ტყუპები) მნიშვნელოვნად ზრდის საწარმოთა ეფექტიანობას, მოქნილობასა და პროდუქტების ხარისხს.

რეკომენდაციები საწარმოებისთვის ეფუძნება კვლევის შედეგად გამოვლენილ ტენდენციებსა და პრაქტიკულ მაგალითებს. ციფრული ტრანსფორმაცია უნდა განხორციელდეს სტრატეგიულად - Industry 4.0-ის ჩარჩოებზე დაყრდნობით, ხოლო გრძელვადიან პერსპექტივაში მიზნად უნდა დაისახოს Industry 5.0-ის მიმართულებით სვლა, სადაც

ადამიანისა და ტექნოლოგიის თანამშრომლობა წამყვან როლს თამაშობს. აუცილებელია ტექნოლოგიურ მოდერნიზაციასთან ერთად ინვესტიცია ადამიანურ კაპიტალში: თანამშრომელთა გადამზადება, ციფრული უნარების განვითარება და ორგანიზაციული კულტურის ცვლილება განსაზღვრავს ტრანსფორმაციის წარმატებას. ამასთან, საწარმოებმა უნდა შეიმუშაონ კიბერუსაფრთხოების ძლიერი პოლიტიკა, რადგან მონაცემთა დაცვა ციფრული ეპოქის ერთ-ერთ ყველაზე დიდ გამოწვევად რჩება. ციფრული ინიციატივების მდგრადი განვითარებისთვის სასურველია მრავალდონიანი თანამშრომლობა - კერძო სექტორს, აკადემიურ ინსტიტუტებსა და სახელმწიფო სტრუქტურებს შორის, რაც ხელი შეუწყობს ინოვაციური ეკოსისტემის ჩამოყალიბებას.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Davenport, T. H. (2018). *The AI advantage: How to put the artificial intelligence revolution to work*. MIT Press.
2. Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Acatech – National Academy of Science and Engineering.
3. Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*, 92(11), 64–88.
4. Sarker, I. H., Kayes, A. S. M., Badsha, S., Alqahtani, H., Watters, P., & Ng, A. (2021). Cybersecurity data science: An overview from machine learning perspective. *Journal of Big Data*, 8(1), 1–29. <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00418-8>
5. Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2014). *Leading digital: Turning technology into business transformation*. Harvard Business Review Press.
6. Siemens AG. (2018). *Digitalization in Machine Building: Digital Twin for Machine Tools*. Siemens White Paper. <https://new.siemens.com/global/en.html>
7. Siemens AG. (2020). *Digital Industries: Digital Twin – Driving Innovation*. Company Report.
8. General Electric. (2016). *Predix: The Industrial Internet Platform*. GE Digital White Paper. <https://www.ge.com/digital>

Digital Transformation and Its Impact on Modern Manufacturing Processes

Vano Otkhзорia, Nino Tsiklauri, Ana Imerlishvili

Georgian Technical University

v.otkhזורia@gtu.ge, tsiklauri@gtu.ge, a.imerlishvili@gtu.ge

Abstract

The article explores the impact of digital transformation on modern industrial processes and its significance in both global and Georgian contexts. The study is based on a literature review and case analysis, examining digital initiatives implemented by leading international companies such as Siemens, General Electric, and Bosch. The findings demonstrate that digital transformation enhances efficiency, flexibility, and product quality in enterprises while reducing technical and operational risks. In the Georgian context, the main challenges identified include limited financial resources, a shortage of qualified personnel, and low levels of cybersecurity awareness. The paper concludes that digital transformation represents a strategic opportunity for Georgian enterprises, whose success depends on technological investment, human capital development, and organizational adaptability.

Keywords: Digital transformation, Industry 4.0, Artificial Intelligence, Big Data, Industrial automation.