

ტრანსპორტი და  
მანქანათმშენებლობა  
TRANSPORT AND  
MACHINEBUILDING

ISSN 1512-3537

N1 (59) 2024

სამეცნიერო-ტექნიკური  
ჟურნალი

თბილისი



საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
სატრანსპორტო სისტემებისა და მექანიკის ინჟინერიის ფაკულტეტი

ISSN 1512-3537

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-3537>

# ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა

№1 (59) 2024

სასწავლო-მეთოდური და სამეცნიერო-კვლევითი  
ნაშრომების კრებული

ჟურნალი რეგისტრირებულია Google Scholar-ში

ჟურნალი რეფერირდება ქრე-ში „ქართული რეფერატული  
ჟურნალი“



გამომცემლობა „ტრანსპორტი & მანქანათმშენებლობა“  
თბილისი  
2024

**სარედაქციო კოლეგია**

ასოც. პროფ. ბორის გიტოლენდია (მთავარი რედაქტორი); პროფ. ლავრენტი გუდავაძე (მთავარი რედაქტორის მოადგილე); პროფ. თეა ბარამაშვილი (ტექნიკური რედაქტორი); პროფ. გიორგი აბრამიშვილი; პროფ. დავით თავხელიძე; პროფ. თამაზ ნატრიაშვილი; პროფ. თამაზ მორჩაძე; პროფ. გიზო ფარცხალაძე; პროფ. ალექსანდერ სლადკოვსკი (პოლონეთი); პროფ. გეორგი ტობტარი (უკრაინა); პროფ. მიხაილ ბენ ხაიმ (ისრაელი); პროფ. კოლინ რიგბი (დიდი ბრიტანეთი); პროფ. მიროსლავ ბონეკი (პოლონეთი); პროფ. ასენ ასენოვი (ბულგარეთი); პროფ. ნია ნათბილაძე; პროფ. გივი გოლეთიანი; პროფ. რაულ თურმანიძე; პროფ. ნანა ნოზაძე; პროფ. ზაურ ჩიტაძე; პროფ. გოდერძი ტკეშელაშვილი; პროფ. ჯუმბერ იოსებაძე; პროფ. ავთანდილ შარვაშიძე; ასოც. პროფ. ხათუნი ამყოლაძე; პროფ. მანანა თალაკვაძე; პროფ. ნათია ბუთხუზი; პროფ. ნუგზარ რურუა; პროფ. ზურაბ ბოგველიშვილი; პროფ. დავით ბოჭენიძე; პროფ. თამარ კილაძე; ასოც. პროფ. ვალერი ჯაჯანიძე; ასოც. პროფ. რამაზი ტყემალაძე.

**EDITORIAL BOARD**

Assoc. Prof. **Boris Gitolendia** (editor-in-chief); Prof. **Lavrenti Gudavadze** (deputy editor-in-chief); Prof. **Tea Baramashvili** (Technical Editor); Prof. **Giorgi Abramishvili**; Prof. **Davit Tavkheldze**; Prof. **Tamaz Natriashvili**; Prof. **Tamaz Morchadze**; Prof. **Gizo Fartskhaladze**; Prof. **Aleksander Sladkovski** (Poland); Prof. **George Tokhtar** (Ukraine); Prof. **Michail Ben Chaim** (Israel); Prof. **Kolin Rigbi** (Great Britain); Prof. **Miroslav Boneki** (Poland); Prof. **Asen Asenovi** (Bulgaria); Prof. **Nia Natbiladze**; Prof. **Givi Goletiani**; Prof. **Raul Turmanidze**; Prof. **Nana Nozadze**; Prof. **Zaur Chitidze**; Prof. **Goderdzi Tkeshelashvili**; Prof. **Jumber Iosebidge**; Prof. **Avtandil Sharvashidze**; Assoc. Prof. **Khatuni Amkoladze**; Prof. **Manana Talakvadze**; Prof. **Natia Butkhuzi**; Prof. **Nugzar Rurua**; Prof. **Zurab Bogvelishvili**; Prof. **David Dzotsenidze**; Prof. **Tamar Kiladze**; Assoc. Prof. **Valeri Jajanidze**; Assoc. Prof. **Ramazi Tkemaladze**.

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

Асоц. Проф. **Борис Гитолендия** (главный редактор); Проф. **Лавренти Гудавадзе** (зам. главного редактора); Проф. **Теа Барамашвили** (Технический редактор); Проф. **Гиорги Абрамишвили**; Проф. **Давит Тавхелидзе**; Проф. **Тамаз Натриашвили**; Проф. **Тамаз Морчадзе**; Проф. **Гизо Фарцхаладзе**; Проф. **Александр Сладковски** (Польша); Проф. **Георг Тохтар** (Украина); Проф. **Михаил Бен-Хаим** (Израиль); Проф. **Коллин Ригби** (Великобритания); Проф. **Мирослав Бонеки** (Польша); Проф. **Асен Асенови** (Булгария); Проф. **Ниа Натбиладзе**; Проф. **Гиви Голетиани**; Проф. **Раул Турманидзе**; Проф. **Нана Нозадзе**; Проф. **Заур Читидзе**; Проф. **Годердзи Ткешелашвили**; Проф. **Джумбер Иосебидзе**; Проф. **Автандил Шарвашидзе**; Асоц. Проф. **Хатуни Амколадзе**; Проф. **Манана Талакवादзе**; Проф. **Натиа Бутхузи**; Проф. **Нугзар Руруа**; Проф. **Зураб Богвелишвили**; Проф. **Давид Дзоценидзе**; Проф. **Тамар Киладзе**; Асоц. Проф. **Валери Джаджанидзе**; Асоц. Проф. **Рамazi Ткемаладзе**.

ტექნიკური რედაქტორი: პროფ. თეა ბარამაშვილი  
Technical editor: Prof. Tea Baramashvili  
Технический редактор: Проф. Теа Барамашвили

რედაქციის მისამართი: თბილისი, მ. კოსტავას ქ. №71, I კორპუსი, ოთახი №710  
Address of the editorial office: Tbilisi, M. Kostava Str. №71, I корпус, room №710  
Адрес редакции: Тбилиси, М. Костава ул. №71, I корпус, комната №710; Tel: +995 551 611 611

ჟურნალი განთავსებულია ინტერნეტში შემდეგ მისამართებზე:

- ჟურნალის ვებ გვერდი  
<https://journaltm.gtu.ge/ka/>
- საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი - ცენტრალური ბიბლიოთეკა  
[https://gtu.ge/Library/transp\\_jur/](https://gtu.ge/Library/transp_jur/)
- საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი - სატრანსპორტო სისტემებისა და მექანიკის ინჟინერიის ფაკულტეტი  
<https://gtu.ge/stmm/research/journals.php>
- ციფრული ბიბლიოთეკა "ივერიელი" (საქართველოს პარლამენტის ეროვნული ბიბლიოთეკა)  
<http://dspace.nplg.gov.ge/handle/1234/248720>
- ქართული რეფერატული ჟურნალი (ქრჟ)  
<https://techinformi.ge/ge/?page=footer/qri>

შინაარსი

**I. ტრანსპორტი/Transport/Транспорт**

1. საგზაო უსაფრთხოება - გამოწვევა ქვეყნისთვის ზურაბ ზოგველიშვილი .....	5
2. Электровозы постоянного тока с бесконтактным плавным регулированием скорости Серго Карипидис, Автандил Шарვაшидзе, Мириан Цоцхალაშვილი, Реваз Молодини, Гиორგი Цхомელიдзе .....	10
3. საქართველოს რკინიგზაზე მატარებელთა მოძრაობის უსაფრთხოების სისტემის ფუნქციონალური ანალიზი ბაქარ გეწაძე .....	16
4. მოძრავი შემადგენლობის ქვეშ განლაგებულ მიწის ვაკისის ძირითად მოედანზე სამუშაო ზონის საზღვრების დადგენის შესახებ ნუგზარ რურუა, თენგიზ პაპუაშვილი, კახა იანქოშვილი, ვასილ ხორავა .....	24
5. ინტერმოდალური გადაზიდვების ეფექტიანობის კრიტერიუმები და გამოწვევები მანანა მოისწრაფიშვილი, კახაბერ გუდიაშვილი .....	31
6. Stable frequency and voltage sources for feeding rail circuits Merab Gotsadze, Natia Gogishvili .....	36

**II. მექანიკის ინჟინერია/Mechanical Engineering/Механическая инженерия**

7. საბრუნე ამწეების მოსაბრუნებელი მექანიზმის რედუქტორის ვიბროაქტიურობის შეფასება გაბრიელ მერაბიშვილი, გიორგი ჯაფარიძე, თენგიზ ჩხაიძე .....	41
8. საბრუნე ამწეების დინამიკური მოდელირება გიორგი ჯაფარიძე, გაბრიელ მერაბიშვილი .....	46

**III. სამრეწველო ინჟინერია/Industrial Engineering/ Промышленная инженерия**

9. Creation of constructions (wall) in computer graphic program Revit Natela Djavakhishvili, Tea Baramashvili, Elene Khvistani .....	50
10. კომპიუტერულ გრაფიკულ პროგრამა Revit-ში ღერძების ბადის შექმნა ნანა ნოზაძე, ნათელა ჯავახიშვილი, ქეთევან ჭკუასელი, ნიკოლოზ დიაკონიძე .....	56
11. როტაციული ფრეზვის პროცესის ეკონომიკური სარგებლის განსაზღვრა ზაურ ჩიტაძე, იგორ გელაშვილი, ეკა სარიშვილი, მაკა ჟღენტი, ნინო ბჟალავა .....	62
12. თხევადი ფოლადის ხარისხის გაუმჯობესების და ლეგირების ზოგიერთი ასპექტი თამაზ ბუჩუკური, თამარ ცერცვაძე, თამარ წილოსანი, ნატო კანთელაძე .....	68

13.	მოკლედისტანციური მობილური საჰაერო საბაგირო მორსატრევი დანადგართი სხვადასხვა ტექნოლოგიური პროცესის ოპერაციებზე წინააღმდეგობის ჯამური ძალების განსაზღვრა რამაზი ტყემალაძე, ირაკლი გრძელიშვილი .....	74
14.	იონგაცვლით პრომატოგრაფიის მეთოდით ფილიფსიტზე ტყვიის სორბციის შესწავლა ნუცა გვაზავა, ირინა უგრეხელიძე, მანანა ქოჩიაშვილი .....	79
<b>IV. ტრანსპორტის და მანქანათმშენებლობის მენეჯმენტი/ Transport and Mechanical Engineering Management/Транспорт и машиностроение равление</b>		
15.	Comprehensive literature review on existing frameworks of Complementarity Between Human skills and AI Technologies in manufacturing industry Luka Kemoklidze, Otar Zumburidze, Colin Rigby, Boris Gitolendia .....	84
16.	ხელოვნური ინტელექტის როლი ლოგისტიკისა და სატრანსპორტო სისტემების განვითარებაში ვაჟა ზეიკიძე, გიორგი მაისურაძე, თამარ კილაძე, იულია თედევი, მარი პაპიძე .....	92
17.	შუა სატრანსპორტო დერეფანის განვითარების პერსპექტივები ვაჟა ზეიკიძე, გიორგი მაისურაძე, ცირა ელგენდარაშვილი, ნატალია ელგენდარაშვილი .....	97
18.	საქართველოს პოტენციალი და „შუა დერეფნის“ გამოწვევები ნათია ბუთხუზი, ნინო კოჭლამაზაშვილი .....	101
19.	ავტორთა საყურადღებოდ .....	107

უაკ 656.13.05

## საგზაო უსაფრთხოება - გამოწვევა ქვეყნისთვის

### ზურაბ ბოგველიშვილი\*

\*ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,

E-mail: z.bogvelishvili@gtu.ge

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, მ. კოსტავას ქ. №71, 0175,

თბილისი, საქართველო)

**რეზიუმე:** ავტომობილების რაოდენობა მსოფლიოში ყოველწლიურად სულ უფრო სწრაფი ტემპით მატულობს, ანალოგიური ვითარებაა საქართველოში. ავტომობილიზაციის დონის ზრდა უდავოდ დადებით გავლენის ახდენს ქვეყნის ეკონომიკურ და სოციალურ განვითარებაზე, მაგრამ მას აქვს თანმდევი უარყოფითი შედეგებიც, რაც პირველ რიგში ავტოსაგზაო შემთხვევების, დაღუპულ და დაშავებულ ადამიანთა რაოდენობაში აისახება. ქვეყნის საავტომობილო პარკის განუხრელი ზრდის ფონზე საგზაო უსაფრთხოების სათანადო დონეზე შენარჩუნება და გაუმჯობესება სახელმწიფოს მნიშვნელოვანი გამოწვევაა და დიდ ძალისხმევას მოითხოვს. საქართველო, გაეროს წევრ სხვა ქვეყნებთან ერთად, ჩართულია გაეროს 2030 წლის დღის წესრიგის განხორციელების პროცესში და მდგრადი განვითარების სხვა გლობალურ მიზნებთან და ამოცანებთან ერთად, პასუხისმგებელია ავტოსაგზაო შემთხვევების შედეგად დაღუპულთა და დაშავებულთა რაოდენობის შემცირებაზე.

**საკვანძო სიტყვები:** ავტომობილი, ავტოპარკი, საგზაო-სატრანსპორტო შემთხვევები, საგზაო უსაფრთხოება, სტატისტიკა.

### შესავალი

ავტომობილი მე-19 საუკუნის ბოლოს გამოჩნდა მსოფლიოს გზებზე და გახდა ყველაზე მასობრივი სატრანსპორტო საშუალება. ავტომობილების რაოდენობა მსოფლიოში ყოველწლიურად სულ უფრო სწრაფი ტემპით მატულობს. შედარებისთვის, თუ მე-20 საუკუნის დასაწყისში მთელ მსოფლიოში დაახლოებით 6 ათასი ავტომობილი იყო, მათ რაოდენობამ 21-ე საუკუნის დასაწყისში 700 მილიონს გადააჭარბა. ავტომწარმოებელთა საერთაშორისო ორგანიზაციის OICA (Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles) მონაცემებით, ამჟამად პლანეტაზე ავტომობილების რაოდენობა დაახლოებით 1,3 მილიარდი ერთეულია. იმის გავითვალისწინებთ, რომ მსოფლიოში 8 მილიარდ ადამიანზე ცოტა მეტი ცხოვრობს, ერთ ავტომობილზე დაახლოებით 5 ადამიანი მოდის. მსოფლიო ბანკის ექსპერტთა პროგნოზით 2035 წლისთვის ავტომობილების რაოდენობა მსოფლიოში 2 მილიარდს გადააჭარბებს. ბოლო წლებში ავტოპარკის მნიშვნელოვანი ზრდა პირდაპირ კავშირშია სწრაფად განვითარებადი ქვეყნების (ჩინეთი, ინდოეთი, ბრაზილია) ბაზრების ზრდასთან. 2022 წლისთვის მსოფლიო საავტომობილო მრეწველობამ 82,5 მლნ ავტომობილი აწარმოა, რომელთაგან დაახლოებით 75% მსუბუქი ავტომობილია [1].

ავტომობილიზაციის დონის ზრდა უდავოდ დადებით გავლენის ახდენს ქვეყნების ეკონომიკურ და სოციალურ განვითარებაზე, მაგრამ მას აქვს თანამდევი უარყოფითი

შედეგებიც, რაც ეკოლოგიური სიტუაციის გაუარესების გარდა, საგზაო-სატრანსპორტო შემთხვევებით გამოწვეულ დაღუპულ და დაშავებულ ადამიანთა რაოდენობასა და მიყენებულ მატერიალურ ზარალში აისახება. ამიტომ საგზაო უსაფრთხოების დონე ქვეყნის პროგრესისა და ეკონომიკური სიძლიერის მნიშვნელოვანი ფაქტორი და ერთ-ერთი მთავარი პრიორიტეტია.

### ძირითადი ნაწილი

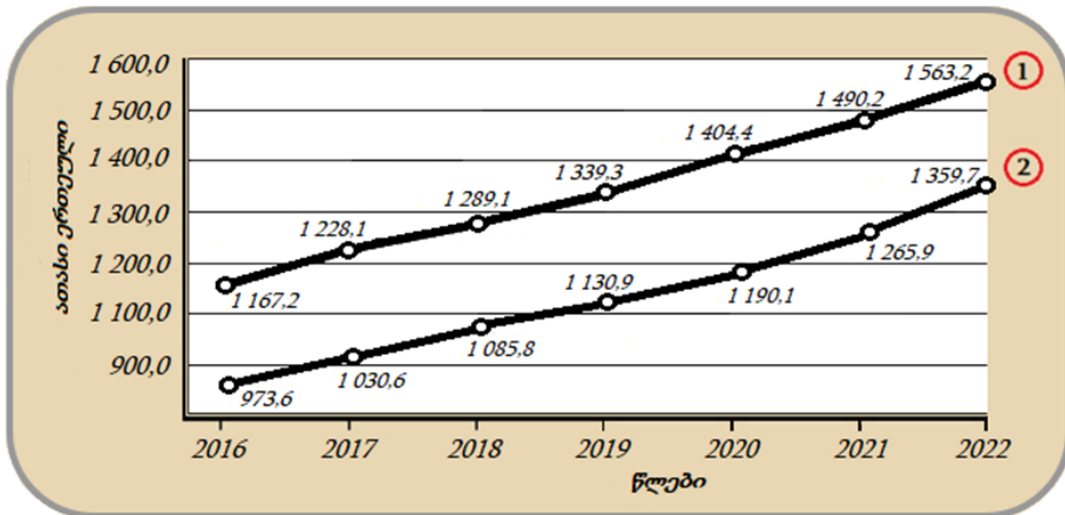
საგზაო მოძრაობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფა თანამედროვე მსოფლიოს ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანესი გლობალურ პრობლემაა. ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის მონაცემებით, ავტოსაგზაო შემთხვევებს ყოველწლიურად მსოფლიოში ეწირება 1,3 მილიონი ადამიანი და დაახლოებით 50 მილიონი სხვადასხვა სიმძიმის დაზიანებას ღებულობს. ეს ნიშნავს, საშუალოდ, საავტომობილო გზებზე ყოველდღიურად დაღუპულ 3600 ადამიანს ან ერთ ადამიანს ყოველ 24 წამში. ავტოსაგზაო შემთხვევები 5-დან 29 წლამდე ასაკის ბავშვებისა და ახალგაზრდების სიკვდილიანობის უმთავრესი მიზეზია და ადამიანთა გარდაცვალების გამომწვევ ფაქტორთა შორის მერვე ადგილზეა მსოფლიოში [2].

ამ პრობლემის მნიშვნელობის აღიარებით, გაერომ გენერალური ასამბლეის 31.08.2020 წლის A/RES/74/299 რეზოლუციით 2021–2030 წლები გამოაცხადა საგზაო უსაფრთხოების სამოქმედო ათწლეულად, რომლის მოთხოვნები გახდა საგზაო უსაფრთხოების ეროვნული სამოქმედო გეგმების შემუშავების ზოგადი კონცეპტუალური საფუძველი. საქართველო, გაეროს სხვა წევრ-ქვეყნებთან ერთად, მონაწილეობს გაეროს მიერ 2030 წლამდე პერიოდში დასახული დღის წესრიგის განხორციელებაში და მდგრადი განვითარების სხვა გლობალურ მიზნებთან და ამოცანებთან ერთად, პასუხისმგებელია ავტოსაგზაო შემთხვევების შედეგად დაღუპულთა და დაშავებულთა რაოდენობის შემცირებაზე.

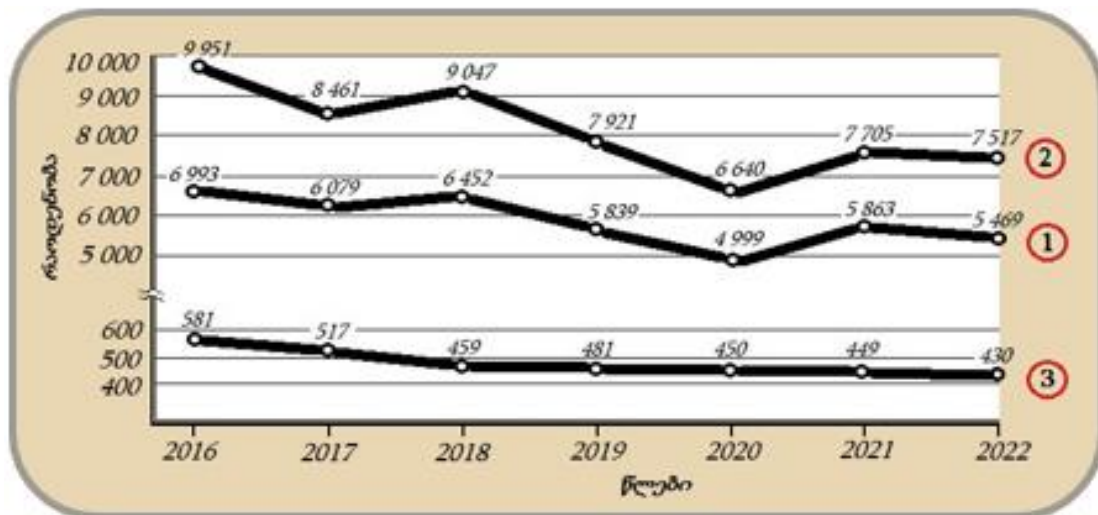
საქართველოს ეკონომიკის ზრდას თან სდევს მოსახლეობის შემოსავლების ზრდა, რაც ხელს უწყობს ქვეყანაში ავტომობილების რაოდენობის გაზრდას. 2023 წლის 1 იანვრის მდგომარეობით, ავტომობილების რაოდენობამ საქართველოში 1,5 მლნ-ს გადააჭარბა და აგრძელებს მატებას საშუალოდ 5,0%-ით წელიწადში. ნახ. 1-ზე წარმოდგენილია საქართველოში 2016-2022 წლებში დარეგისტრირებული ავტოსატრანსპორტო საშუალებების რაოდენობის ზრდის დინამიკა [3].

ქვეყნის ავტომობილებით გაჯერების ხარისხს ასახავს ავტომობილიზაციის დონის მაჩვენებელი, რომელიც განისაზღვრება ინდივიდუალური მსუბუქი ავტომობილების რაოდენობით 1000 მოსახლეზე. საქართველოსთვის ეს მაჩვენებელია 375 ავტ./1000 ადამ., რაც მაღალია რეგიონისთვის, მაგრამ ჩამორჩება ევროპულ საშუალო მაჩვენებელს, რომელიც შეადგენს დაახლოებით 600 ავტ./1000 ადამ.

საქართველოს შინაგან საქმეთა სამინისტროს სტატისტიკური მონაცემებით, ავტოსაგზაო შემთხვევების ყველაზე მაღალი დონე და ამ ინციდენტების შედეგად დაღუპულთა და დაშავებულთა რიცხვი 2016 წელს დაფიქსირდა, რის შემდეგაც ადგილი აქვს კლების ტენდენციას, რომელმაც 2022 წელს, 2016 წელთან შედარებით შეადგინა ავარიების რაოდენობის შემცირების კუთხით 21,8%, დაშავებულთა - 24,5% და დაღუპულთა რაოდენობის 26,0% (ნახ. 2) [4].



ნახ. 1. საქართველოს საავტომობილო პარკის განვითარების დინამიკა:  
1 - სულ; 2 - მსუბუქი ავტომობილები



ნახ. 2. საქართველოში ავტოსაგზაო შემთხვევების დინამიკა წლების მიხედვით: 1 - ავარიები; 2 - დასაჯებულები; 3 - გარდაცვლილები

გარკვეული პროგრესის მიუხედავად, საქართველოში საგზაო უსაფრთხოების მდგომარეობა კვლავ რთულია. ავტოსაგზაო შემთხვევების შედეგად სიკვდილიანობის მაჩვენებელი (100 ათას მოსახლეზე 12 სიკვდილი) 2,7-ჯერ აღემატება ევროკავშირის წევრი ქვეყნების გზებზე სიკვდილიანობის საშუალო მაჩვენებელს. ავტოსაგზაო შემთხვევებით გამოწვეული ქვეყნის ეკონომიკური ხარჯები მთლიანი შიდა პროდუქტის 4% შეადგინს, რაც უზარმაზარი ზარალია. ავტოსაგზაო შემთხვევები ძირითადად განპირობებულია ისეთი ფაქტორებით, როგორცაა მოძრაობის დადგენილი სიჩქარის გადაჭარბება, შემხვედრი მოძრაობის ზოლში გადასვლა ან გასწრების წესების დარღვევა, დისტანციის დაუცველობა, საგზაო ნიშნის ან მონიშვნის დაუმორჩილებლობა, სატრანსპორტო საშუალების მართვა ალკოჰოლური სიმთვრალის მდგომარეობაში და სხვ. [5].



აღნიშნულის გათვალისწინებით, გაეროსა და ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის რეკომენდაციებზე, აგრეთვე საგზაო უსაფრთხოების მიმართულებით ევროპის წამყვანი ქვეყნების გამოცდილებაზე დაყრდნობით, ადგილობრივი და საერთაშორისო ექსპერტების აქტიური ჩართულობით, მომზადდა და საქართველოს მთავრობის 2022 წლის 4 ივლისის № 353 დადგენილებით დამტკიცდა საქართველოს 2022-2025 წლების საგზაო უსაფრთხოების ეროვნული სტრატეგია და სამოქმედო გეგმა. სტრატეგია განსაზღვრავს ძირითად პრიორიტეტებს ქვეყანაში საგზაო უსაფრთხოების მდგომარეობის გაუმჯობესების მიმართულებით და ისახავს მიზანს 2025 წლისთვის საგზაო-სატრანსპორტო შემთხვევების შედეგად დაღუპულთა და დაშავებულთა რაოდენობა, საბაზისო მაჩვენებელ 2019 წელთან შედარებით (დაშავებული - 7 921, დაღუპული - 481 ადამიანი), შემცირდეს 25%-ით. ამ მიზნის მისაღწევად სტრატეგიის სამოქმედო გეგმაში გაწერილია რიგი ამოცანების შესრულება, როგორცაა: საგზაო უსაფრთხოების მართვის ეფექტურობის გაზრდა, უსაფრთხო საგზაო ინფრასტრუქტურის უზრუნველყოფა, ავტოსატრანსპორტო საშუალებების უსაფრთხოების ხარისხის ამაღლება, საგზაო მოძრაობის მონაწილეების უსაფრთხოებისა და ავტოსაგზაო შემთხვევის შემდგომი რეაგირების ხარისხის გაუმჯობესება [6].

დღეისათვის ქვეყანაში სტრატეგიით გათვალისწინებული ღონისძიებების შესრულებაზე პასუხისმგებლობა 6 სამთავრობო უწყებას ეკისრება, ხოლო მაკოორდინებელ ორგანოდ განსაზღვრულია საქართველოს ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტრო, ფუნქციონირებს საგზაო უსაფრთხოების უწყებათაშორისი კომისია და სამუშაო ჯგუფი.

უცხოური საუკეთესო პრაქტიკის გათვალისწინებით, საგზაო უსაფრთხოების მართვის ეფექტურობის და მენეჯმენტის გაუმჯობესების ერთ-ერთ პირობად, ეროვნულ სტრატეგიაში, დასახულია საგზაო უსაფრთხოებაზე პასუხისმგებელი ერთი წამყვანი დამოუკიდებელი უწყების შექმნა, რომელიც აღჭურვილი იქნება სათანადო სამართლებრივი მანდატით, მატერიალურ-ტექნიკური, ადამიანური და ფინანსური რესურსებით. იგი იქნება პასუხისმგებელი საგზაო უსაფრთხოების ეროვნული სტრატეგიით და მისი სამოქმედო გეგმით გათვალისწინებული ღონისძიებების შესრულებაზე, იმუშავებს საგზაო უსაფრთხოების საკითხების სრულ სპექტრზე და ამ მიმართულებით არსებული პრობლემებისა და გამოწვევების აღმოფხვრაზე.

საგზაო უსაფრთხოების საკითხებზე მომუშავე უწყების შექმნა საშური საქმეა, მით უმეტეს რომ საქართველოში მსგავსი ორგანოს არსებობის გამოცდილება არსებობს, 70-იან - 90-იან წლებში საქართველოს შსს-ს საგზაო მოძრაობის უსაფრთხოების სამეცნიერო-კვლევითი ცენტრის სახით, რომლის ფუნქციონალური ანალოგი საბჭოთა კავშირში მხოლოდ კიევსა და მოსკოვში არსებობდა.

## დასკვნა

ქვეყანაში საგზაო უსაფრთხოების ღონის ამაღლება წარმოადგენს უმნიშვნელოვანეს სოციალურ-ეკონომიკურ პრობლემას. მიუხედავად გარკვეული პროგრესისა, საგზაო უსაფრთხოების მდგომარეობა ქვეყანაში კვლავ რთულია. საგზაო-სატრანსპორტო შემთხვევებით გამოწვეული ადამიანთა სიკვდილიანობა და დასახიჩრება, გარდა ადამიანური ტრაგედიებისა, ქვეყნის ეკონომიკისთვის მნიშვნელოვანი დანაკარგია. საავტომობილო პარკის განუხრელი ზრდის ფონზე საგზაო უსაფრთხოების სათანადო დონეზე შენარჩუნება და გაუმჯობესება ქვეყნისათვის მნიშვნელოვან გამოწვევად რჩება და

დიდ ძალისხმევას მოითხოვს, საჭიროებს მტკიცებულებებზე დაფუძნებულ და შედეგზე ორიენტირებულ საგზაო უსაფრთხოების პოლიტიკას.

**გამოყენებული წყაროები და ლიტერატურა:**

1. International Organization of Motor Vehicle Manufacturers - <https://www.oica.net>
2. Global Plan. Decade of Action for Road Safety 2021-2030. – Geneva: World Health Organization, 2021. – 36 p.;
3. საქართველოს სტატისტიკური წელიწდეული: 2023 - თბილისი: საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახური, 2023. – 291გვ.;
4. საგზაო-სატრანსპორტო შემთხვევების სტატისტიკა - <https://police.ge>
5. საგზაო უსაფრთხოების ეროვნული სტრატეგია 2022-2025. – თბილისი: საქართველოს საკანონმდებლო მაცნე, 2022. – 40 გვ.;
6. Bogvelishvili Z. About the National Road Safety Strategy of Georgia // Modern research in science and education. Proceedings of the 5th International scientific and practical conference. BoScience Publisher. Chicago, USA. 2024. Pp. 201-206.

**ROAD SAFETY - A CHALLENGE FOR THE COUNTRY**

**Zurab Bogvelishvili**

**Abstract**

The number of cars in the world is increasing at a faster rate every year, and a similar situation is observed in Georgia. The growing level of motorization undoubtedly has a positive impact on the economic and social development of the country, but it also has negative consequences, which are reflected, first off, in the number of road accidents, fatalities and injuries. Maintaining and improving road safety at an appropriate level against the background of inexorable growth of the country's car fleet is an important task for the state and requires a lot of effort. Georgia, along with other UN Member States, is participating in the implementation of the UN 2030 Agenda and, along with other global sustainable development goals and targets, is responsible for reducing the number of deaths and injuries on the roads.

**БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ – ВЫЗОВ ДЛЯ СТРАНЫ**

**Богвелишвили Зураб**

**Резюме**

Количество автомобилей в мире увеличивается с каждым годом более быстрыми темпами, аналогичная ситуация наблюдается и в Грузии. Рост уровня автомобилизации, несомненно, оказывает положительное влияние на экономическое и социальное развитие страны, но имеет и отрицательные последствия, которые отражаются, прежде всего, в количестве дорожно-транспортных происшествий, смертности и травматизма. Поддержание и повышение безопасности дорожного движения на должном уровне на фоне неумолимого роста автопарка страны является важной задачей для государства и требует немало усилий. Грузия, наряду с другими Государствами-Членами ООН, участвует в реализации Повестки дня ООН на период до 2030 года и, наряду с другими глобальными целями и задачами устойчивого развития, несет ответственность за снижение количества смертей и травм на дорогах.

УДК 656.224

# Электровозы постоянного тока с бесконтактным плавным регулированием скорости

Серго Карипидис\*, Автандил Шарвашидзе\*\*, Мириан

Цоцхалашвили\*\*\*, Реваз Молодини\*\*\*\*, Гиორგი Цхомелидзе\*\*\*\*\*

\*профессор, ГТУ, эл. почта: s.karipidisi-karibovi@gtu.ge;

\*\*профессор, ГТУ, эл. почта: a.sharvashidze@gtu.ge;

\*\*\*доктор инженерных наук, ГТУ, эл. почта: miriantsotskhalashvili05@gtu.ge;

\*\*\*\*кандидат технических наук, ГТУ, эл. почта: molodinirevazi03@gtu.ge;

\*\*\*\*\*студент магистратуры, ГТУ, эл. почта: tskhomelidze.giorgi22@gtu.ge

(Грузинский технический университет, ул. М. Костава №71,  
0175, Тбилиси, Грузия)

**Резюме:** На подавляющем большинстве действующего ЭПС (Электровозы, Электропоезда и т. п.) постоянного тока регулирование скорости осуществляется, таким образом, как это предложено более 200 лет тому назад, а именно, релейно-контакторным способом с использованием сопротивления. Опыт эксплуатации показал их низкую надежность и большие эксплуатационные расходы. В настоящей работе предложена надежная бесконтактная система регулирования скорости с использованием современных полупроводников транзисторов типа IGBT на 6500 В и 600 А, которые значительно повысят надежность и уменьшат эксплуатационные расходы. В работе произведен анализ способа регулирования скорости в существующей системе, где половина употребленной из сети энергии теряется на сопротивлениях. Особо отмечено применение бесконтактного регулирования скорости на электровозах с тяжеловесным составом, где время разгона длится минутами (5-10 минут) в течении которого по контактной сети протекает большой величины пусковой ток. При импульсном регулировании скорости этот ток изменяется с нулевого значения.

**Ключевые слова:** Электровоз, сопротивление, время разгона, пройденный путь, энергия, потери мощности и т. д.

## Введение

Развитие технологии производства полупроводниковых приборов таких как, транзисторы IGBT на 6500 В 600 А, 3300 В 1200 А, управляемых тиристоров ГТО, IGCT на сотни тысяч Вольт и Ампер позволило создавать современные тяговые электроприводы для систем ЭПС (электроподвижной состав) постоянного и переменного тока с асинхронными тяговыми двигателями мощностью на ось более 1500 кВт, против 900 кВт для систем ЭПС с тяговыми двигателями постоянного тока (двигатели последовательного возбуждения постоянного тока).

Вместе тем, переход на новую систему не так просто из-за большого капиталовложения. Так, например, в этой системе цена одной оси равна 1 миллион \$. По этой причине на переходном периоде считаем целесообразным заниматься повышением энергетических и тяговых характеристик существующих в большом количестве электровозов постоянного тока.

### Основная часть

В качестве примера рассмотрим случай пуска электровозов типа ВЛ10 и ВЛ11. На рис. 1 а и г приведены упрощенная схема и диаграмма тока и скорости для этого случая.

Как это видно из диаграммы (рис. 1. г) во время пуска ток тяговых двигателей остается неизменным и, следовательно, и сила тяги  $F_0$  также остается постоянной. Треугольники  $\Delta OAB$  и  $\Delta OBC$  выражают соответственно, энергию, затраченную на сопротивление  $R$  и энергию, затраченную на повышение скорости  $V$ .

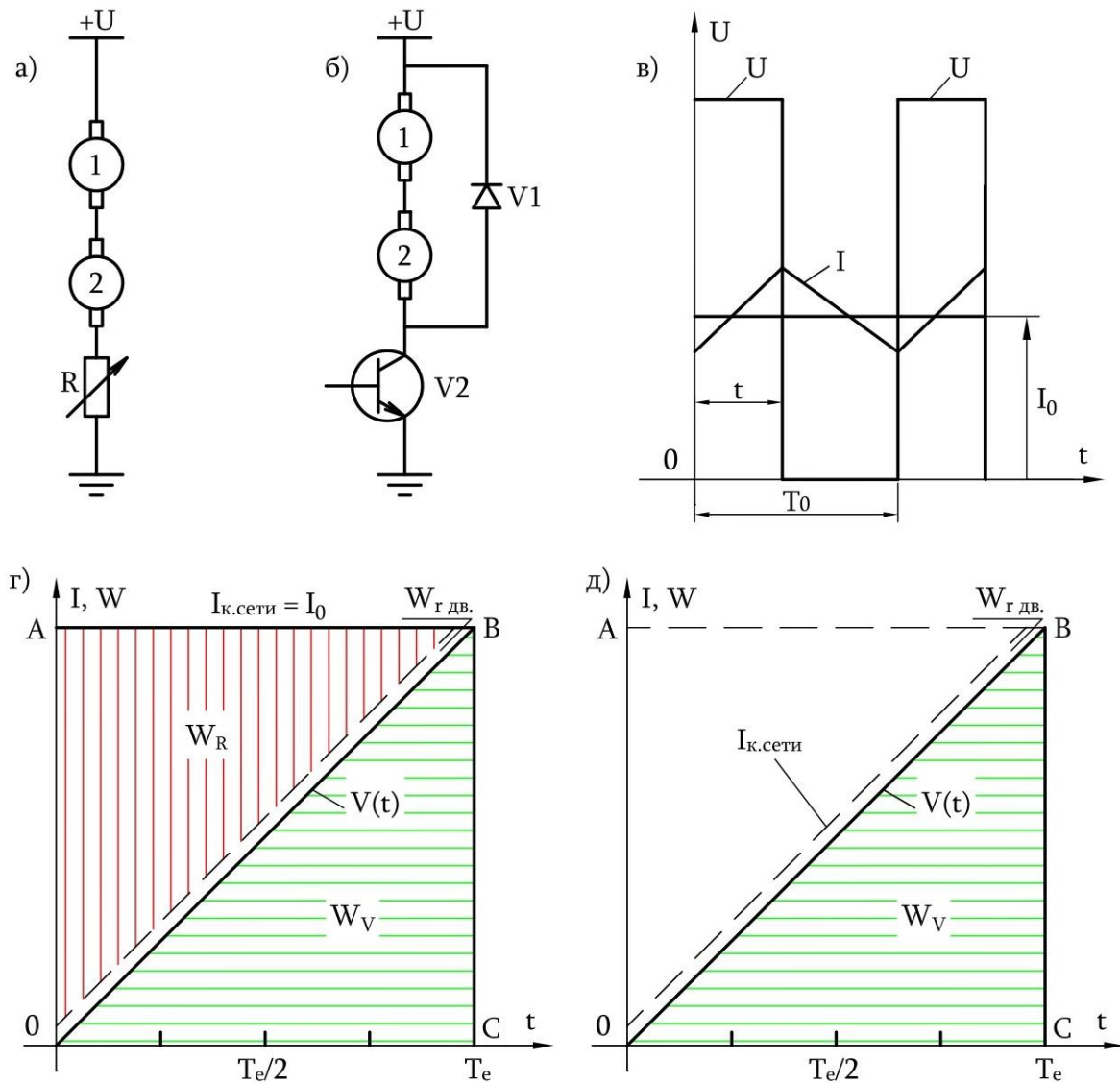


Рис. 1. Схемы регулирования скорости ЭПС с помощью сопротивления  $R$  и транзистора  $V$  и соответствующие диаграммы токов и скоростей

Как это видно из рис. 1. г эти энергии одинаковы, т. е. при таком способе регулирования скорости половина энергии теряется на сопротивлении R. Исходя из этого, можно написать:

$$U \cdot I_0 \cdot t = I_0^2 \cdot R \cdot t + C \cdot V \cdot \Phi \cdot I_0 \cdot t, \quad (1)$$

где  $UI_0t$  – является энергией, употребленной из сети;

$I_0^2Rt$  – энергия, которая теряется на сопротивлении R;

$CV\Phi I_0t$  – энергия, затраченная на повышение скорости.

Как это видно из вышеизложенного в течении времени разгона поезда из сети потребляется большой величины ток равный пусковому  $I_0$ . Это является вторым крупным недостатком этого способа регулирования скорости при котором контактная сеть нагревается и наблюдаются большие падения напряжения в ней 4000-2200 В. В связи с вышеизложенным представляет интерес определения длительности времени (пуска) разгона и пройденного пути.

Для этого напишем основные дифференциальные уравнения:

$$\frac{dV}{dt} = 2 \sum f(V), \quad (2)$$

$$V \frac{dV}{dS} = 120 \sum f(V), \quad (3)$$

где  $V$  – скорость движения в км/ч;

$t$  – время в минутах;

$S$  – путь в км;

$\sum f$  – суммарная относительная сила тяги  $\sum f(V) = \sum F(V)/(P + Q)$ ,  $P$  и  $Q$  соответственно веса электровоза и состава в тоннах или в кН.

Для электровоза ВЛ10 суммарная сила тяги 8 тяговых двигателей ТЛ2К равна:

$$\sum F = 8 \cdot 0,367C \Phi I_0 (\text{кг}) = 8 \cdot 3,67C \Phi I_0 (\text{Н}) = 8 \cdot 3,67 \cdot 300 \cdot 0,103 \cdot 500 = 453612 \text{ Н}$$

Округлим и возьмём 450000 Н.

Вес состава  $P + Q$  возьмём 5000 т = 50000 кН.

Тогда относительная сила  $f$  будет:

$$f = \frac{450000}{50000} = 9 \text{ Н/кН (кгс/т)},$$

Следует отметить, что для сравнительных расчетов любими сопротивлениями пренебрегаем.

В таком случае из уравнения (2) для времени разгона при постоянной силе тяги  $f_0$  до 90 км/ч будем иметь:

$$t(\text{мин}) = \frac{V}{2f_0} = \frac{90}{2 \cdot 9} = 5 \text{ мин.}$$

Расстояние, пройденное за это время из (3) будет:

$$S(\text{км}) = \frac{V^2}{2 \cdot 120f_0} = \frac{90^2}{2 \cdot 120 \cdot 9} = 3,75 \text{ км.}$$

Таким образом, в течении 5 мин. по контактной сети будет протекать пусковой ток  $I_0$  большой величины.

Ниже рассчитаем энергию, которая теряется на этом сопротивлении R. Суммарный ток, потребляемый 8-и тяговыми двигателями соединенными последовательно-параллельно в режиме (II) параллельного соединения будет:

$$\sum I = 4 \cdot 500 \text{ A} = 2000 \text{ A.}$$

Общая энергия употребленная из сети при этом будет:

$$W = W_R + W_V = \frac{U \cdot \sum I \cdot t}{1000 \cdot 60} \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}$$

$$W = \frac{3000 \cdot 2000 \cdot 5}{1000 \cdot 60} = 500 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

На сопротивления при этом теряется:

$$W_R = \frac{W}{2} = 250 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Если эту цифру умножить на количество пусков и электровозов, а также время их работы получится большая цифра. Для Грузии, где 45 ВЛ10 и 26 ВЛ11 потери будут значительными, во время их эксплуатации в реальных условиях. От всего этого можно избавиться, если применить широтно-импульсное регулирование напряжения на зажимах тяговых двигателей (Рис. 1, б). Формы напряжения и тока тягового двигателя приведены на рис. 1 в.

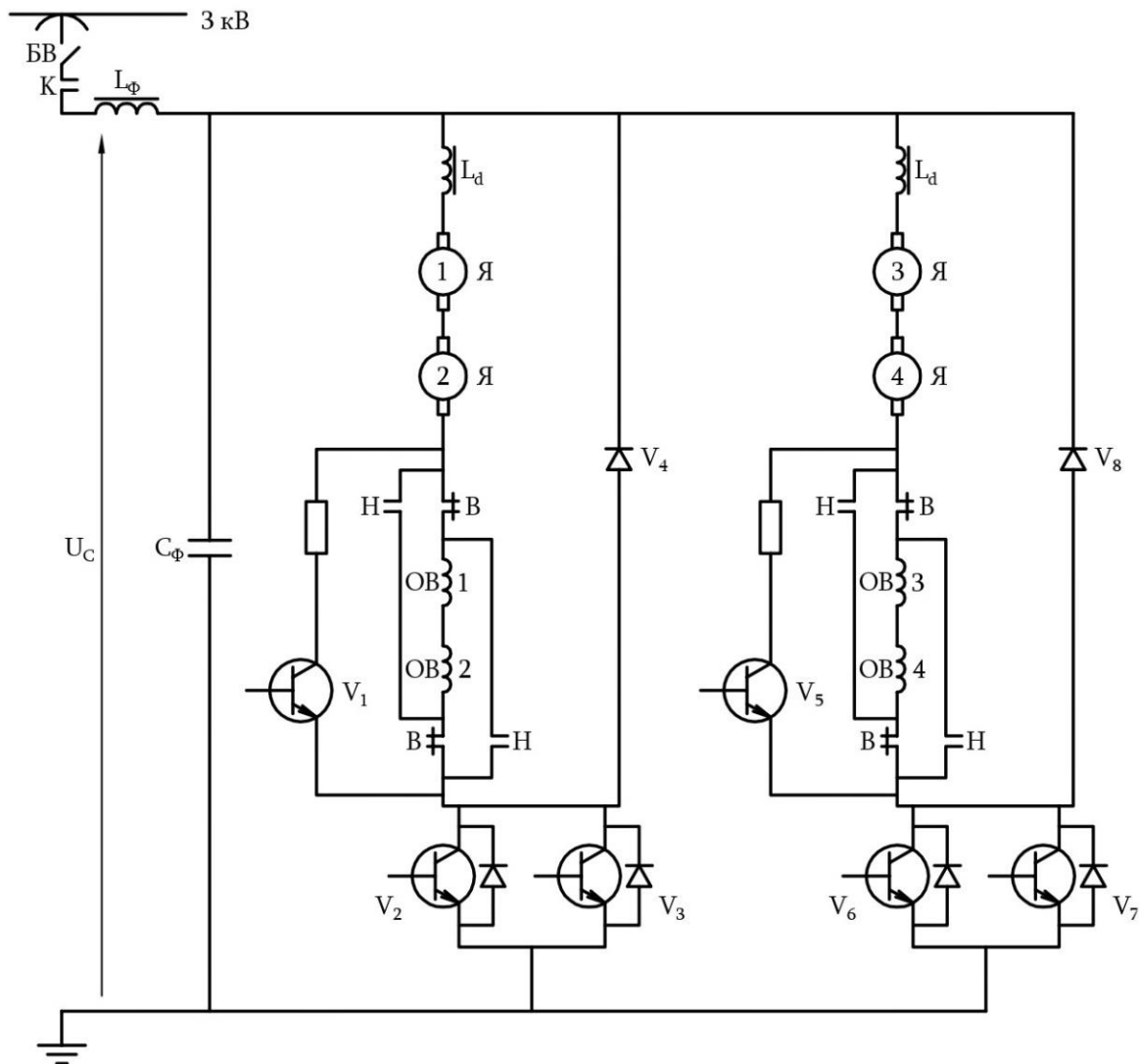


Рис. 2. Полная схема электровоза ВЛ10 с транзисторным регулированием напряжения тяговых двигателей

При этом, как это видно из рис. 1, д, ток контактной сети  $I$  (пунктирная линия), скорость  $V$  (жирная линия) увеличиваются пропорционально, при этом энергия, употребленная из сети, тратится только на повышение скорости  $V$ . Эта энергия равна:

$$W_V = \int_0^{T_0} U \cdot K \cdot t \cdot dt = \int_0^{T_0} U \cdot \frac{I_0}{T_0} \cdot t \cdot dt = \frac{U \cdot I_0 \cdot T_0}{2}, \quad (4)$$

где  $T_0$  - время разгона.

Эффективное значение тока при этом будет:

$$I_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} i^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} \left(\frac{I_0}{T_0} t\right)^2 dt} = \frac{\sqrt{3}}{3} I_0.$$

Это является важной положительной стороной этого способа регулирования скорости применительно к электровозам постоянного тока.

На рис. 2 приведена полная схема электровоза ВЛ10, где регулирование напряжения на зажимах тяговых двигателей и тока возбуждения осуществляются с помощью транзисторов типа IGBT широтно-импульсным способом.

#### Выводы:

1. В работе предложен аналитический метод расчета потерь электроэнергии на пусковых резисторах электровозов постоянного тока;
2. Произведен аналитический расчет времени разгона и пройденного пути грузового поезда;
3. Предложена бесконтактная (на транзисторах IGBT) схема регулирования скорости и тока возбуждения электровоза ВЛ10.

#### Литература:

1. ს. კარიპიდისი, ჯ. სანიკიძე - ელექტრული წევის საფუძვლები, თბილისი, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2014, 399 გვ;
2. Кариписидис С. И., «Статические преобразователи электроподвижного состава», Тбилиси 2015, Технический Университет, стр. 214;
3. Кариписидис С. И., «Динамика нелинейных систем тягового электропривода постоянного тока», Тбилиси 2012, Технический Университет, стр. 314.

**მუდმივი დენის ელექტრომაგვლები სიჩქარის მდოვრე უკონტაქტო რეგულირებით**  
**სერგო კარიპიდისი, ავთანდილ შარვაშიძე, მირიან ცოცხალაშვილი,**  
**რევაზ მოლოდინი, გიორგი ცხომელიძე**  
**რეზიუმე**

მოქმედი მუდმივი დენის ემშ-ების (ელექტრომაგვლები, ელექტრომატარებლები და ა.შ.) აბსოლუტურ უმრავლესობაზე, სიჩქარის რეგულირება ხორციელდება ისევე, როგორც ეს შემოთავაზებული იყო 200 წელზე მეტი ხნის წინ, კერძოდ, რელე-კონტაქტორული მეთოდით წინააღმდეგობის გამოყენებით. გამოცდილებამ აჩვენა მათი მუშაობის დაბალი საიმედოობა და დიდი საექსპლუატაციო ხარჯები. ნაშრომში შემოთავაზებულია სიჩქარის რეგულირების საიმედო უკონტაქტო სისტემა თანამედროვე ნახევარგამტარული IGBT ტრანზისტორების 6500 V და 600 A გამოყენებით, რაც მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს საიმედოობას და ამცირებს საექსპლუატაციო ხარჯებს. ნაშრომში გაანალიზებულია სიჩქარის რეგულირების მეთოდი არსებულ სისტემაში, სადაც ქსელიდან მოხმარებული ენერჯის ნახევარი იკარგება წინააღმდეგობებზე. განსაკუთრებით აღსანიშნავია უკონტაქტო სიჩქარის რეგულირების გამოყენების საჭიროება მძიმემასიანი შემადგენლობის მქონე მუდმივი დენის ელექტრომაგვლებზე, სადაც აჩქარების დრო გრძელდება წუთები (5-10 წუთი) და რომლის დროსაც დიდი გაშვების დენი გაედინება საკონტაქტო ქსელში. სიჩქარის იმპულსური რეგულირებისას გაშვების დენის საკონტაქტო ქსელში იცვლება ნულიდან.

**DC ELECTRIC LOCOMOTIVES WITH CONTACTLESS SMOOTH SPEED CONTROL**

**Karipidis Sergo, Sharvashidze Avtandil, Tsotskhalashvili Mirian,**  
**Molodini Revaz, Tskhomelidze Giorgi**

**Abstract**

On the vast majority of operating DC ERS (Electric Locomotives, Electric Trains, etc.), speed control is carried out in the same way as was proposed more than 200 years ago, namely, by a relay-contactor method using resistance. Operating experience has shown their low reliability and high operating costs. This paper proposes a reliable non-contact speed control system using modern 6500 V and 600 A semiconductor IGBT transistors, which will significantly improve reliability and reduce operating costs. The work analyzes the method of speed control in the existing system, where half of the energy consumed from the network is lost on resistances. Particularly noted is the use of contactless speed control on electric locomotives with heavy trains, where the acceleration time lasts minutes (5-10 minutes) during which a large starting current flows through the contact network. With pulse speed control, this current changes from zero.



უაკ 656.224

## საქართველოს რკინიგზაზე მატარებელთა მოძრაობის უსაფრთხოების სისტემის ფუნქციონალური ანალიზი

ბაქარ გეჭაძე\*

\*დოქტორანტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: bakar.getsadze@railway.ge

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, მ. კოსტავას №71, 0175, თბილისი, საქართველო)

**რეზიუმე:** სტატიაში განხილულია საქართველოს რკინიგზაზე მატარებელთა მოძრაობის უსაფრთხოების მიმართულებით უსაფრთხოების დონის განსაზღვრის მეთოდოლოგია დარგში შემავალ სტრუქტურულ ერთეულებში, წარმოდგენილია მონაცემთა და ინციდენტების სტრუქტურა, ფუნქციონალური მაჩვენებლის შეფასების პარამეტრები და შეფასების მოდელი. მიღებულია ამ მაჩვენებლის შესაფასებელი ფორმულა, განხილულია ფუნქციონალური მაჩვენებლის დათვლის მაგალითი, რისთვისაც შემუშავებულია სათანადო დათვლებისათვის საჭირო ფორმულა.

**საკვანძო სიტყვები:** მოძრაობის უსაფრთხოება, მატარებელი, ფუნქციონალური, დარღვევა, ინციდენტი, რევიზია, მოდელი, მაჩვენებელი, უწყისიერობა.

### შესავალი

რკინიგზის ტრანსპორტი გადაჯაჭვულია სამრეწველო დაწესებულებებთან, აგრარულ მეურნეობებთან და მთელ რიგ ქვეყნის ეროვნული მეურნეობის სხვადასხვა ორგანიზაციებთან, რომლის მეშვეობითაც ხორციელდება ფართო ნომენკლატურის ტვირთის ტრანსპორტირება ადგილობრივ და საერთაშორისო მიმოსვლაში. ასევე მასთან მჭიდრო კავშირშია კერძო კლიენტურა, მთელი რიგი საექსპედიტორო ფირმები და კომპანიები, რომლებიც რკინიგზით ხელმისაწვდომი ტარიფებით ახორციელებენ ნებისმიერი სახეობის ტვირთის გადაზიდვას უდანაკარგოდ, უსაფრთხოდ და მაქსიმალურად სწრაფად. შესაბამისად საქართველოს რკინიგზით სატვირთო გადაზიდვების მოცულობის ზრდის მაჩვენებელი თვალში საცემია და ბოლო წლების დინამიკა ტვირთის მოზიდვის მიმართულებით იძლევა დიდ სამომავლო პერსპექტივას. ყოველივე აღნიშნულის წარმატებით განხორციელების უმთავრეს ქვაკუთხედს წარმოადგენს ისეთი ინოვაციური სისტემის შემუშავება საქართველოს რკინიგზისთვის, რომელიც უზრუნველყოფს გადაზიდვითი პროცესის განხორციელებას მაქსიმალურად უსაფრთხოდ და საიმედოდ.

ისევე, როგორც ნებისმიერი სხვა სახის ტრანსპორტის დაარსებას და ექსპლუატაციაში შესვლას, სარკინიგზო ტრანსპორტსაც თავისთავად თან სდევდა მთელი რიგი შემაფერხებელი მოვლენები და დარღვევები სხვადასხვა მიმართულებებით, რაც ეხება მომსახურე პერსონალს და სხვადასხვა სახის ტექნიკურ მიზეზებს, რასაც მოყვებოდა სარკინიგზო გამწვევი და მისაბმელი მოძრავი შემადგენლობების და სალიანდაგო ინფრასტრუქტურის მწყობრიდან გამოსვლა, მატარებლის მოძრაობის შეფერხებები და ასევე ყველაზე უმძიმესი შედეგები, რაც იწვევდა ადამიანების მსხვერპლს და დაზიანებებს რკინიგზაზე ავარიებისა და მთელი რიგი არასასურველი შემთხვევების დროს. აღნიშნული შემთხვევები თავისთავად მოითხოვდა სხვადასხვაგვარი საგამომიებო სამუშაოების წარმოებას, მათ გაანალიზებას, სათანადო ზომების შემუშავებას, ნორმატიული დოკუმენტაციის დაზუსტებას და მასში ცვლილებების შეტანას. საკითხი პირდაპირ უკავშირდება ასევე სარკინიგზო ტექნიკური საშუალებების შენახვის ნორმების გადახედვას

და თავისთავად მთლიანობაში გადაზიდვითი პროცესის მართვის მაღალ დონეზე ორგანიზებას. ანუ სარკინიგზო ტრანსპორტის შექმნისა და მისი განვითარების სხვადასხვა ეტაპებზე შეიქმნა ამ სახის ტრანსპორტზე აღრიცხული შეფერხებებისა და დარღვევების რეაგირების ერთიანი სისტემა.

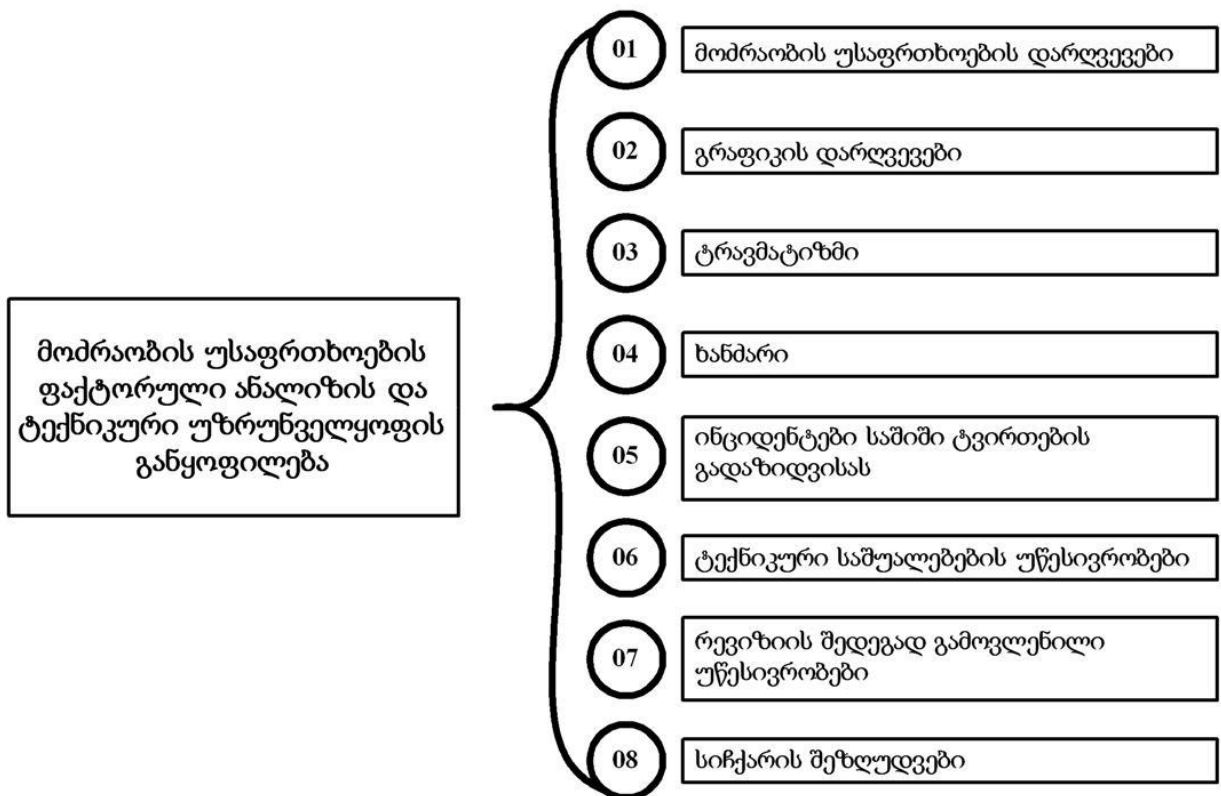
### ძირითადი ნაწილი

საქართველოს რკინიგზაზე მატარებელთა მოძრაობის უსაფრთხოების მიმართულებით ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ გამოვლენილ ინციდენტებზე სრულფასოვანი რეაგირებისა და მოძრაობის უსაფრთხოების უფრო მაღალ საფეხურზე გადასასვლელად აუცილებელია შეიქმნას ერთიანი ცენტრალური მოძრაობის უსაფრთხოების ფუნქციონალური ანალიზის სისტემა.

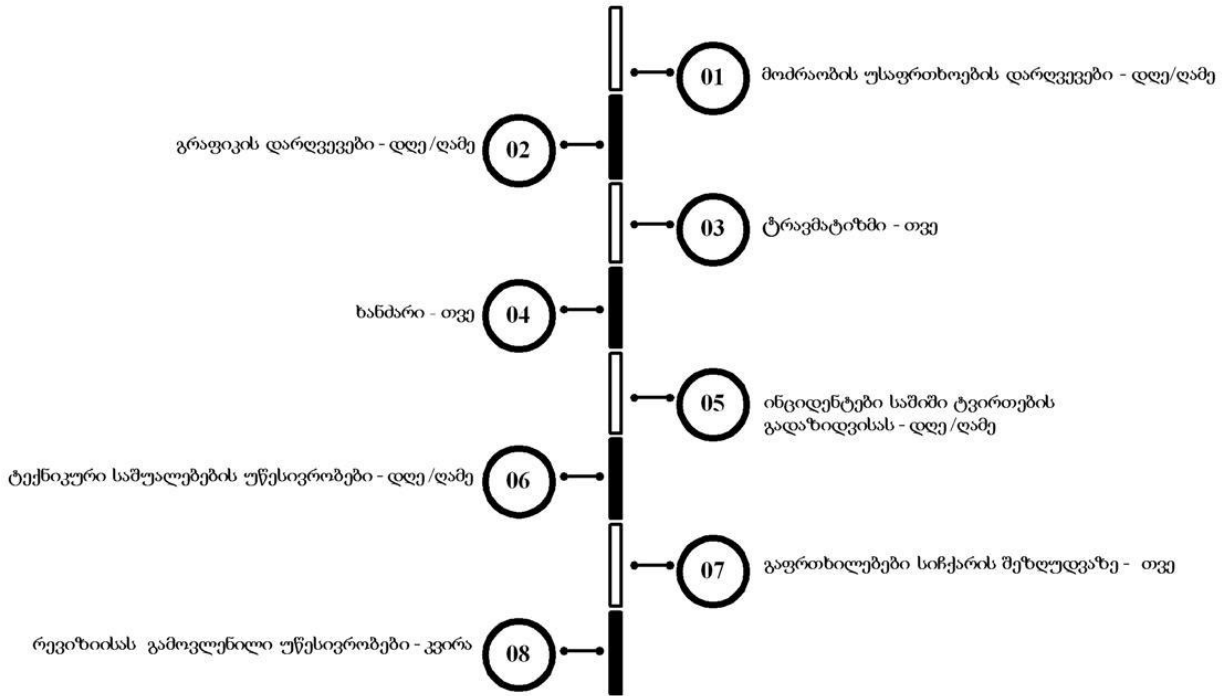
მოძრაობის უსაფრთხოების ფუნქციონალური მაჩვენებელი საშუალებას მოგვცემს კომპლექსურად ყველა ინციდენტების ერთობლიობის გაანალიზებისა და მაჩვენებლის (ბალის) მინიჭების საფუძველზე რაოდენობრივად და ხარისხობრივად განისაზღვროს მოძრაობის უსაფრთხოების დონე კომპანიაში შემავალ თითოეულ სტრუქტურულ ერთეულში. კერძოდ:

- სატვირთო გადაზიდვების დეპარტამენტში (სგდ);
- სალოკომოტივო დაპარტამენტში (ლკდ);
- სავაგონო დეპარტამენტში (ვგდ);
- სალიანდაგო დეპარტამენტში (ლდ);
- ელექტრომომარაგების დეპარტამენტში (ელდ);
- სიგნალიზაციის, ცენტრალიზაციისა და ბლოკირების დეპარტამენტში (სცბდ);
- ფილიალი მგზავრთა გადაყვანა (ფმგ);
- სხვა დანარჩენი.

### მონაცემთა სტრუქტურა



ინციდენტების სტრუქტურა



ფუნქციონალური მაჩვენებლის შეფასების პარამეტრები და უსაფრთხოების დონე

დასახელება	უსაფრთხოების დონე	დაყვანილ ქულათა დიაპაზონი	ინდიკატორი
კრიტიკული	მეხუთე	3001 და მეტი	წითელი
მაღალი	მეოთხე	2001-3000	ნარინჯისფერი
საგრძნობი	მესამე	1001-2000	ყვითელი
ზომიერი	მეორე	501-1000	მწვანე
უმნიშვნელო	პირველი	0-500	უფერო

შეფასების მოდელი

ფუნქციონალური მაჩვენებლების შეფასებისათვის შემუშავებულია შემდეგი ფორმულა:

$$F_m = (((M_v * C_v) C_n + C_a) * C_r) * C_f \quad (1)$$

სადაც:

- **F<sub>m</sub>** - არის მოძრაობის უსაფრთხოების ფუნქციონალური მაჩვენებელი;
- **M<sub>v</sub>** - დაშავებულთა რაოდენობა;
- **C<sub>v</sub>** - დაშავებულთა კლასიფიკაციის კოეფიციენტი (ცხრილი 1);
- **C<sub>n</sub>** - დაშავებულთა ოდენობის კოეფიციენტი (ცხრილი 2);
- **C<sub>a</sub>** - უსაფრთხოების დარღვევის კლასიფიკაციის კოეფიციენტი (ცხრილი 3);
- **C<sub>r</sub>** - უსაფრთხოების დარღვევის კონტურის კოეფიციენტი (ცხრილი 4);
- **C<sub>f</sub>** - უსაფრთხოების დარღვევის ადამიანური ფაქტორის კოეფიციენტი (ცხრილი 5);

ცხრილი 1.

დაშვებულის კლასიფიკაცია (Cv)	მდგომარეობა	ბალი/წონა
მგზავრი	გარდაცვალება	12
	ტრამვირება	6
პერსონალი	გარდაცვალება	12
	ტრამვირება	6
მესამე პირები	გარდაცვალება	4
	ტრამვირება	2

ცხრილი 2.

კლასიფიკაცია დაშვებულთა ოდენობით (Cn)	დაშვებულთა რაოდენობა	ბალი/წონა
ადამიანი	არა	0
	1	1
	2-დან 5-მდე	2
	მეტია 5	3

ცხრილი 3.

კლასიფიკაცია	პუნქტი	დასახელება	ბალი
სატრანსპორტო შემთხვევები	3.2.3.1	„სერიოზული ავარია“ - გადასარბენზე, სადგურში ან მისასვლელ ლიანდაგში სამატარებლო ან სამანევრო მუშაობისას, ეკიპირებისას ან სხვა გადაადგილებისას სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის შეჯახება სხვა სარკინიგზო მოძრავ შემადგენლობასთან, სატრანსპორტო საშუალებასთან ან სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის რელს(ებ)იდან აცდენა, რომელის შედეგად: ა) დაიღუპა ერთი და მეტი ადამიანი; ბ) დაზიანდა სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობა ინვენტარიდან ამორიცხვის მოცულობით	12
სატრანსპორტო შემთხვევები	3.2.3.2	„ავარია“ - გადასარბენზე, სადგურში ან მისასვლელ ლიანდაგში სამატარებლო ან სამანევრო მუშაობისას, ეკიპირებისას ან სხვა გადაადგილებისას სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის შეჯახება სხვა სარკინიგზო მოძრავ შემადგენლობასთან, სატრანსპორტო საშუალებასთან ან სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის რელს(ებ)იდან აცდენა, რომლის შედეგად: ა) ერთ და მეტ ადამიანის ჯანმრთელობას მიაღდა მძიმე ზიანი; ბ) დაზიანდა სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობა კაპიტალური შეკეთების მოცულობით.	10
სატრანსპორტო ინციდენტები	3.2.4.1	გადასარბენზე ან სადგურში სამატარებლო მუშაობისას, სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის შეჯახება სხვა სარკინიგზო მოძრავ შემადგენლობასთან ან სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის რელს(ებ)იდან აცდენა, რომელსაც არ მოჰყოლია წინამდებარე კლასიფიკატორის 3.2.3.1. და 3.2.3.2. პუნქტებით განსაზღვრული შედეგები;	8

ქურნალი „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“ №1 (59) 2024წ.

სატრანსპორტო ინციდენტები	3.2.4.1	გადასარბენზე ან სადგურში სამანევრო მუშაობისას, ეკვიპირებისას ან სხვა გადაადგილებისას სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის შეჯახება სხვა სარკინიგზო მოძრავ შემადგენლობასთან ან სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის რელს(ებ)იდან აცდენა, რომელსაც არ მოჰყოლია წინამდებარე კლასიფიკატორის 3.2.3.1. და 3.2.3.2. პუნქტებით განსაზღვრული შედეგები;	7
სატრანსპორტო ინციდენტები	3.2.4.2	მისასვლელ ლიანდაგში სამანევრო მუშაობისას, ეკვიპირებისას ან სხვა გადაადგილებისას სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის შეჯახება სხვა სარკინიგზო მოძრავ შემადგენლობასთან ან სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის რელს(ებ)იდან აცდენა, რომელსაც არ მოჰყოლია წინამდებარე კლასიფიკატორის 3.2.3.1. და 3.2.3.2. პუნქტებით განსაზღვრული შედეგები;	6
სატრანსპორტო ინციდენტები	3.2.4.3	სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის შეჯახება სატრანსპორტო საშუალებასთან (გარდა სარკინიგზო გადასასვლელზე), რომელსაც არ მოჰყოლია წინამდებარე კლასიფიკატორის 3.2.3.1. და 3.2.3.2. პუნქტებით განსაზღვრული შედეგები;	5
სატრანსპორტო ინციდენტები	3.2.4.4	სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის შეჯახება სატრანსპორტო საშუალებასთან სარკინიგზო გადასასვლელზე, რომელსაც არ მოჰყოლია წინამდებარე კლასიფიკატორის 3.2.3.1. და 3.2.3.2. პუნქტებით განსაზღვრული შედეგები;	5
სატრანსპორტო ინციდენტები	3.2.4.5	დატბორვა, ხანძარი, ინფრასტრუქტურის ნაგებობების კონსტრუქციის მთლიანობის დარღვევა, რამაც გამოიწვია მატარებელთა მოძრაობის სრულად შეწყვეტა თუნდაც გადასარბენის ერთ ლიანდაგზე, ერთი საათით და მეტი დროით.	5
სატრანსპორტო ინციდენტები	3.2.4.6	ნაგებობასთან მიახლოების გაბარიტის დარღვევა, რომელმაც გამოიწვია გადასარბენის თუნდაც ერთ ლიანდაგზე მატარებლების მოძრაობის შეწყვეტა ერთი საათით და მეტი დროით.	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.1	მატარებლის მიღება ან გაგზავნა გაუმზადებელი მარშრუტით;	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.2	სამანევრო სამუშაოების წარმოება გაუმზადებელი მარშრუტით;	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.3	ისრის გადასვლა/გადაყვანა სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის ქვეშ;	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.4	გამგზავნი სადგურიდან სამგზავრო მატარებლის ან ელექტრომატარებლის გაგზავნის გაუქმება ან მატარებლიდან მგზავრების გადმოსხმა შუალედურ სადგურში, სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის ტექნიკური უწყესივრობის გამო;	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.5	მატარებლის მსვლელობის გაგრძელება დამხმარე ლოკომოტივით, სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის დაზიანების ან უწყესივრობის გამო;	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.6	მატარებლის გაგზავნა გადაკეტილი სამუხრუჭო საჭაერო კიდურა ონკან(ებ)ით;	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.7	რელსის ტეხა სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის ქვეშ;	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.8	მატარებელში ავტოსაბმის ან გადასაბმელი მოწყობილობის თვითგადახსნა;	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.9	მსვლელობის გზაზე, საგარანტიო უბნის ფარგლებში სამგზავრო ან სატვირთო მატარებლიდან ვაგონის ახსნა ტექნიკური უწყესივრობის გამო.	4

ქურნალი „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“ №1 (59) 2024წ.

სხვა ინციდენტები	3.2.5.10	მატარებლიდან ვაგონის ახსნა შუალედურ სადგურში ტვირთის, ბარგის ან ტვირთ-ბარგის დატვირთვის ტექნიკური პირობების დარღვევის გამო;	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.11	სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის ავტოსაბმის ან გადასაბმელი მოწყობილობის გაწყვეტა;	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.12	ლიანდაგის; სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის; სიგნალიზაციის, ცენტრალიზაციის და ბლოკირების მოწყობილობების; კავშირგაბმულობის; საკონტაქტო ქსელის; ელექტრომომარაგების და სხვა ტექნიკური საშუალებების უწყისობები, რამაც გამოიწვია მატარებლის დაყოვნება ან მოძრაობის შეწყვეტა გადასარბენის ლიანდაგების თუნდაც ერთ ლიანდაგზე ან სადგურში, ერთი საათით და მეტი დროით.	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.13	სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის დეტალების ლიანდაგში ჩამოვარდნა გადასარბენზე ან სადგურში, რამაც შეუძლებელი გახადა მისი შემდგომი მსვლელობა;	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.14	სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის დაჯახება მექანიზმებზე, მოწყობილობებზე და გარეშე საგნებზე (ობიექტებზე), ასევე ცხოველებზე, რამაც გამოიწვია მოძრაობის შეფერხება ერთი საათით და მეტი დროით;	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.15	სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის თვითნებური გასვლა მატარებლის მიღების, გაგზავნის მარშრუტზე ან გადასარბენზე;	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.16	შუქნიშნის ამკრძალავი სიგნალის ან ზღვრული ბოდის უნებართვოდ გავლა;	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.17	მატარებლის მიღება დაკავებულ ლიანდაგზე;	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.18	მატარებლის გაგზავნა დაკავებულ გადასარბენზე;	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.19	მსვლელობის გზაზე ტვირთის დაშლა, რომელიც საფრთხეს უქმნის მოძრაობის უსაფრთხოებას და რკინიგზის ტრანსპორტის ექსპლუატაციას;	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.20	სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის სხმული დეტალების (ღერძი, ღერძის ყელი ან თვალი, ურიკის გვერდითი ჩარჩო, რესორზედა ძელი, ხერხემლის ძელი) ტეხა (გაწყვეტა);	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.21	საველე შუქნიშანზე ამკრძალავი ჩვენების ნაცვლად ყალბი ნებადართველი ჩვენების გამოჩენა ან უფრო ნებადართველი სიგნალის გამოჩენა იმ ჩვენების ნაცვლად, რომელიც მოითხოვს მატარებლის მსვლელობას შემცირებული სიჩქარით.	4
სხვა ინციდენტები	3.2.5.22	ლიანდაგმზომი ვაგონის მიერ მთავარ ხაზზე გამოვლენილი ლიანდაგის უწყისობა, რამაც გამოიწვია მატარებელთა მოძრაობის აკრძალვა ან სიჩქარის შეზღუდვა 15 კმ/სთ.	4
ინციდენტები	–	ინციდენტები საშიში ტვირთების მონაწილეობით გადატვირთვით	9***
ინციდენტები	–	ინციდენტები საშიში ტვირთების მონაწილეობით გადატვირთვის გარეშე	5***
ინციდენტები	–	ინციდენტები კლასიფიკაციის გარდა	1**
ინციდენტები	–	ინციდენტები კლასიფიკაციის გარდა მოძრაობის გრაფიკის დარღვევით 30 წუთზე მეტი	2**
ინციდენტები	–	ტრავმატიზმი	3
ინციდენტები	–	ხანძარი	3

ჟურნალი „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“ №1 (59) 2024წ.

ინციდენტები	-	რევიზიისა და მოულოდნელი შემოწმების აქტები	მაქს 3*
-------------	---	---	---------

ცხრილი 4.

კონტურის კოეფიციენტი (Cr)	ბალი/წონა
შიდა	2
გარე	1

ცხრილი 5.

ადამიანური ფაქტორის კოეფიციენტი (Cf)	ბალი/წონა
კი	1,5
არა	1

მომრაობის უსაფრთხოების დარღვევის კლასიფიკატორით აღრიცხულ ინციდენტებს ენიჭებათ შესაბამისი ბალი სიმძიმის მიხედვით: 4-დან 12-მდე.

ფუნქციონალური მაჩვენებლის დათვლის მაგალითი

აღწერილობა	კლასიფიკატ. კატეგორია	პუნქტი	კლასიფიკაციის პუნქტის დასახელება	გამომწვევი მიზეზი	რომელ დეპარტამენტს მიეწერა	რომელ სამმართველოს მიეწერა	ადამიანური ფაქტორი	მუფმ
აიხსნა ბუქსის ხურების გამო დატვირთული ვაგონი №95067765, კოდი 28	„სხვა ინციდენტი“	5.9	ვაგონის ახსნა სატვირთო ან სამგზავრო მატარებლიდან ტექნიკური უწყისივრობით	წინა საკისურის გარე რგოლზე არსებული ბზარები	ვმდ	ვდ თბილისი	კი	12

ფუნქციონალური მაჩვენებლის დათვლისათვის შემუშავებულია ფორმულა:

$$Fm = (((Mvj * Cvj) Cni + Cai) * Cri) \quad (2)$$

$$Fm = (((0 * 0) * 0 + 4) * 2) * 1,5 = 12$$

სადაც:

- **Mv** - არის დაშავებულთა რაოდენობა = 0
- **Cv** - დაშავებულთა კლასიფიკაციის კოეფიციენტი = 0
- **Cn** - დაშავებულთა ოდენობის კოეფიციენტი = 0
- **Ca** - უსაფრთხოების დარღვევის კლასიფიკაციის კოეფიციენტი = 4
- **Cr** - უსაფრთხოების დარღვევის კონტურის კოეფიციენტი = 2
- **Cf** - უსაფრთხოების დარღვევის ადამიანური ფაქტორის კოეფიციენტი = 1,5.

დასკვნა

1. მოძრაობის უსაფრთხოების ფუნქციონალური მაჩვენებლის (მუფმ) უშუალოდ ძირითადი ცხრილიდან დაინტერესებულ პირს შეუძლია გამოიძახოს მოძრაობის უსაფრთხოების ნებისმიერი სახის დარღვევების და ტექნიკური საშუალებების სხვადასხვა უწყისივრობების დეტალიზაცია, თარიღის და ადგილმდებარეობის ჩვენებით.
2. მოძრაობის უსაფრთხოების ფუნქციონალური მაჩვენებლის შედეგების ცხრილი რეალურ დროში აისახება Google web-პროგრამა OneDrive-ში.
3. შემუშავებულია ფუნქციონალური მაჩვენებლების შესაფასებელი და მათი დათვლებისათვის საჭირო ფორმულები.

გამოყენებული წყაროები და ლიტერატურა

1. გეწაძე ბ., შარვაშიძე ა. - მატარებელთა მოძრაობის უსაფრთხოების სისტემის სრულყოფა საქართველოს რკინიგზაზე, VII ქართულ-პოლონური საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის შრომების კრებული, “სატრანსპორტო ხიდი ევროპა-აზია”, ISBN 978-9941-455-20-9, 47-55 გვ., 2023წ.;
2. სს „საქართველოს რკინიგზა“-ს ინფრასტრუქტურაზე მოძრაობის უსაფრთხოების სისტემის ფუნქციონალური შეფასების მეთოდოლოგია, 2024წ.;
3. <https://studfile.net/preview/6319293/page:2/>
4. <https://studfile.net/preview/6319289/>
5. ინსტრუქცია - სს „საქართველოს რკინიგზა“ მოძრაობის უსაფრთხოების დარღვევების კლასიფიკაციის, აღრიცხვის, მოკვლევისა და განხილვის შესახებ (2021 წელი - 15.10, N 1/43 დადგენილება).

**Функциональный анализ системы безопасности движения**

**поездов на железных дорогах Грузии**

**Бакар Гецадзе**

**Резюме**

В статье рассматривается методика определения уровня безопасности в направлении безопасности движения поездов на железных дорогах Грузии в структурных подразделениях, входящих в данную сферу, представлена структура данных и происшествий, параметры оценки функционального индекса и модель оценки. Получена формула оценки этого показателя, рассмотрен пример расчета функционального показателя, для которого разработана формула, необходимая для правильных расчетов.

**Functional analysis of train traffic safety system on the Georgian railway**

**Bakar Getsadze**

**Abstract**

The article discusses the methodology of determining the level of safety in the direction of the safety of train traffic on the Georgian railways in the structural units included in the field, presents the structure of data and incidents, the parameters of the functional index assessment and the assessment model. The formula for evaluating this indicator is obtained, the example of the calculation of the functional indicator is discussed, for which the formula necessary for proper calculations is developed.



# მოძრავი შემადგენლობის ქვეშ განლაგებულ მიწის ვაკისის ძირითად მოედანზე სამუშაო ზონის საზღვრების დადგენის შესახებ

ნუგზარ რურუა\*, თენგიზ პაპუაშვილი\*\*, კახა იანკოშვილი\*\*\*, ვასილ ხორავა\*\*\*\*

\*პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: [n.rurua@gtu.ge](mailto:n.rurua@gtu.ge);

\*\*პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: [papuashvilitengizi01@gtu.ge](mailto:papuashvilitengizi01@gtu.ge);

\*\*\*მაგისტრანტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: [Kakha.iankoshvili@gmail.com](mailto:Kakha.iankoshvili@gmail.com);

\*\*\*\*ასოცირებული პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,

E-mail: [khoravavasil01@gtu.ge](mailto:khoravavasil01@gtu.ge)

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, მ კოსტავას ქ. №71, 0175 თბილისი, საქართველო)

**რეზიუმე:** სტატიაში განხილულია მოძრავი შემადგენლობის ქვეშ განლაგებულ მიწის ვაკისის ძირითად მოედანზე სამუშაო ზონის საზღვრების დადგენის მეთოდოლოგია. გაანალიზებულია დინამიკური დატვირთვის როლი სამუშაო ზონის სიღრმეში ჯამური ვერტიკალური დატვირთვის ფორმირებაში. დადგენილ იქნა, რომ ყრილის განივკვეთში, დაწნევა შპალის ძირიდან გადაეცემა ჰიპერბოლური ზედაპირების მეშვეობით. ამ ზედაპირებმა აჩვენა, რომ საბალასტო პრიზმა შპალების ფარგლებს გარეთ, მიწის ვაკისის გვერდული და ყრილის ფერდოს ნაწილი  $y_i$  მანძილზე არ განიცდის მოძრავი შემადგენლობის დატვირთვის დინამიკურ ძალურ ზემოქმედებას. ჩატარებული გაანგარიშებების შედეგად განისაზღვრა მიწის ვაკისის დინამიკური დატვირთულობის ზღვრული სიღრმე. დადგენილ იქნა, რომ ორლიანდაგიან რკინიგზებზე შემხვედრი მოძრავი შემადგენლობების ერთობლივი ზემოქმედების შემთხვევაში, ყრილის საანგარიშო კვეთებში დატვირთვის განაწილების ხასიათზე მეორე ლიანდაგზე მოძრავი მატარებელი არ ახდენს ძალურ ზემოქმედებას საბალასტო შრეზე და ყრილის სამუშაო ზონაზე.

**საკვანძო სიტყვები:** დინამიკური და მუდმივი დატვირთვები, ლიანდაგი, მიწის ვაკისის ძირითადი მოედანი, მოძრავი შემადგენლობა, სამუშაო ზონა, ჰიპერბოლური ზედაპირები.

## შესავალი

მიწის ვაკისის ტრადიციულ გაანგარიშებებში, მოძრავი შემადგენლობიდან გადმოცემული დატვირთვა წარმოდგენილია, როგორც სტატიკური მართკუთხა დატვირთვა მოდებული მიწის ვაკისის ძირითადი მოედნის დონეზე. ამ დატვირთვიდან გამომდინარე, დატვირთვები მიწის ვაკისში განისაზღვრება დრეკადობის ხაზოვანი თეორიის ცნობილი ფორმულებით ერთგვაროვანი იზოტოპული ნახევარსივრცისათვის. ამ შემთხვევაში, მიწის ვაკისის დინამიკური მდგომარეობა მხედველობაში მიიღება დამატებითი მახასიათებლების მეშვეობით, რომელიც პირობითად არის მიღებული, როგორც დამატებითი სტატიკური დატვირთვა ძირითადი მოედნის დონეზე. შესაბამისად, მოძრავი შემადგენლობის ზემოქმედება მიწის ვაკისზე დაიყვანება მხოლოდ სტატიკური საანგარიშო დატვირთვის ზემოქმედებაზე.

გარდა ამისა, ტრადიციული სქემები მატარებლების ქვეშ მყოფი მიწის ვაკისის მუშაობის შესაფასებლად არ ითვალისწინებს დინამიკური მდგომარეობის ისეთ მნიშვნელოვან შემადგენლებს, როგორებიცაა: დრეკადი დეფორმაციები, რომლებიც დაკავშირებულია თვლების გადაადგილებასთან მოცემულ კვეთში და ვიბრაციები გამოწვეული სატრანსპორტო საშუალებების სავალი ნაწილების რთული სივრცითი რხევებისგან.

მიწის ვაკისის ძირითადი მოედანი, როგორც ცნობილია, თავისთავზე იღებს მოძრავი შემადგენლობიდან გადმოცემულ ძირითად დატვირთვებს. ტერმინში „ძირითადი მოედანი“ ხშირად იგულისხმება სხვადასხვა ცნებები. სამშენებლო ნორმებში, ძირითადი მოედნის სიგანე, ძირითადი მოედნის განივი პროფილის მოხაზულობა გზის კატეგორიაზე, ლიანდაგების რაოდენობასა და გრუნტის სახეობაზე დამოკიდებულებით რეგლამენტირდება [1]-ით. სამსახურის ხანგრძლივი ვადის განმავლობაში, მიწის ვაკისი განიცდის სახეცვალეზადობას, რაც იწვევს ტიპური განივი პროფილების საექსპლუატაციო პროფილებად გადაქცევას. ამ პირობებისათვის მიწის ვაკისის ზედა ნაწილში ხდება საბალასტო მასალების დაგროვება და ძირითადი მოედანი უკვე აღარ ითვლება მიწის ვაკისის თიხოვანი გრუნტების ზედა საზღვრად. მიწის ვაკისის მოვლა-შენახვის ინსტრუქციის შესაბამისად [2], დიდი ხნის ექსპლუატირებულ ხაზებზე, ძირითადი მოედნის პირობით საზღვრად მიიღება ტიპური ზომების მქონე საბალასტო პრიზმის ძირში გამავალი ხაზი.

### ძირითადი ნაწილი

მოძრავი შემადგენლობა მძლავრ ძალურ ზემოქმედებას ახდენს ბალასტის შრეზე და მიწის ვაკისზე (ყრილზე) რელს-საშპალო გისოსის ქვეშ არსებულ გარკვეულ ზონაზე, რომელსაც შეიძლება ვუწოდოთ „სამუშაო ზონა“.

მისი საზღვრების დასადგენად გამოიყენება დინამიკური ძაბვების გაანგარიშების შემოთავაზებული მეთოდიკა.

პრაქტიკულ შემთხვევებში, მიწის ვაკისის (ყრილის) დინამიკური დატვირთულობის ზღვრული სიღრმე  $Z_{ზღვრ.}$  შეიძლება წინასწარ მოიძებნოს ძირითადი საანგარიშო ფორმულის გარდაქმნით, შემდეგი სახით:

$$Z_{ზღვრ.} = 2,302 \frac{\lg \sigma_{0-რ} - \lg \sigma_{i-რ}}{\lambda_{რ}} \quad (1)$$

(1) ფორმულაში შემავალი სიდიდეების რიცხვითი მნიშვნელობების გათვალისწინებით, ჩატარებული გაანგარიშებების შედეგად შესაძლებელია განსაზღვრულ იქნეს მიწის ვაკისის დინამიკური დატვირთულობის ზღვრული  $Z_{ზღვრ.}$  სიღრმე.  $Z_{ზღვრ.}$ -ის გაანგარიშების შედეგები, როცა  $\sigma_{0-რ} = 80$ კპა, მოძრაობის სიჩქარის  $V = 100$ კმ/სთ და მოცემული მნიშვნელობების  $\sigma_{i-რ} = 5$ კპა;  $0.05 \sigma_{0-რ}$  და 2კპა შემთხვევაში, მოცემულია ცხრილში 1. მაგალითად, დინამიკური  $\sigma_{i-რ}$  ძაბვების მოცემული მნიშვნელობებისათვის ხის და რკინაბეტონის შპალებიანი ლიანდაგისათვის  $Z_{ზღვრ.} = 4,1-4,3$ მ; ხოლო რკინაბეტონის ფილებიანი ლიანდაგისათვის  $Z_{ზღვრ.} = 2.2$  მ.

მიწის ვაკისის დინამიკური დატვირთულობის ზღვრული  $Z_{\text{ხღვრ.}}$  სიღრმე, მ

რელსქვეშა საფუძვლის ტიპი	$Z_{\text{ხღვრ.}}$ მნიშვნელობა, მ, მოცემულ დონეზე		
	$\sigma_{i-r} = 5 \text{ კპა}$	$\sigma_{i-r} = 0,05 \sigma_{0-r} \text{ კპა}$	$\sigma_{i-r} = 2 \text{ კპა}$
ხის შპალები	3,1	3,6	4,1
რკინაბეტონის შპალები	3,3	3,8	4,3
რკინაბეტონის ფილები	1,7	2,1	2,2

შეფასებულ იქნა დინამიკური დატვირთვის როლი სამუშაო ზონის სიღრმეში ჯამური ვერტიკალური დატვირთვის ფორმირებაში. მაგალითისათვის გამოთვლები შესრულდა შემდეგი საწყისი მონაცემებით: დატვირთვა ლიანდაგის ზედა ნაშენიდან  $P65$  ტიპის რელსებით და რკინაბეტონის შპალებით ძირითადი მოედნის დონეზე ( $Z_i = 0$ ), მართკუთხა ფორმის ინტენსივობით  $\sigma_{\text{ლ.ხ.}} = 16,4 \text{ კპა}$  და  $B_{\text{ლ.ხ.}}$  სიგანით ერთლიანდაგიანი ყრილისათვის. დატვირთვა  $\sigma_{\gamma}$  გამოწვეული გრუნტის სვეტის საკუთარი წონისაგან განისაზღვრა  $\sigma_{\gamma} = \gamma_{\text{გრ.}} \cdot Z_0$  ფორმულით თიხნარის  $\gamma = 18 \text{ კნ/მ}^3$  კუთრი წონის შემთხვევაში.

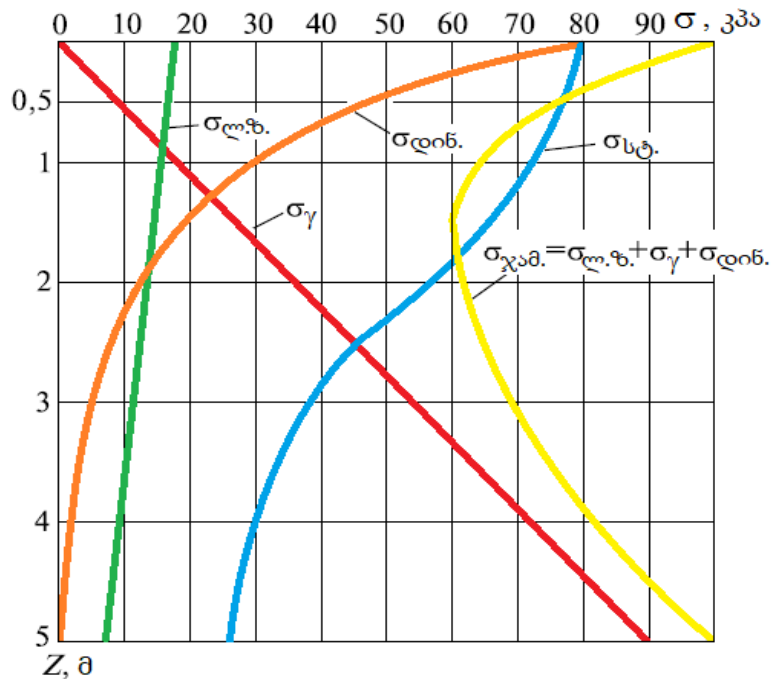
დინამიკური დატვირთვა ყრილში გამოთვლილ იქნა,  $\sigma_{0-r}$  და  $V = 100 \text{ კმ/სთ}$  მატარებლების მოძრაობის სიჩქარის შემთხვევაში.  $\sigma_{\text{დინ.}}$ ,  $\sigma_{\text{ლ.ხ.}}$ ,  $\sigma_{\gamma}$  დატვირთვის მნიშვნელობები და მათი ფარდობა მოცემულია ცხრილ 2-ში, ხოლო მათი ცვალებადობის ხასიათი ყრილის სიღრმეში ნაჩვენებია ნახ.1-ზე.

როგორც მოსალოდნელი იყო, ძირითად მოედანზე ( $Z_i = 0$ მ) ჭარბობს დინამიკური  $\sigma_{\text{დინ.}}$  დატვირთვა. სიღრმის მატებასთან ერთად მათი გავლენა მცირდება და უკვე  $Z_i = 1$ მ-ზე, დინამიკური  $\sigma_{\text{დინ.}}$  დატვირთვის და მუდმივად მოქმედი  $\sigma_{\text{მუდ.}} = \sigma_{\text{ლ.ხ.}} + \sigma_{\gamma}$  დატვირთვის სიდიდეები ერთმანეთს უახლოვდება. დიდ სიღრმეზე ყრილში ჭარბობს მუდმივად მოქმედი  $\sigma_{\text{მუდ.}}$  დატვირთვა.  $Z_i = 4$ მ სიღრმეზე, დინამიკური  $\sigma_{\text{დინ.}}$  დატვირთვა შეადგენს მუდმივი დატვირთვის მხოლოდ 2%-ს.

ცხრილი 2

$\sigma_{\text{დინ.}}$ ,  $\sigma_{\text{ლ.ხ.}}$ ,  $\sigma_{\gamma}$  დატვირთვის მნიშვნელობები და მათი ფარდობა

სიღრმე ძირითადი მოედნის დონიდან $Z_i$ , მ	საანგარიშო დატვირთვა ყრილში, კპა					ფარდობა $\sigma_{\text{დინ.}} / \sigma_{\text{მუდ.}}$	$\sigma_{\text{სტ.}}$ , კპა
	$\sigma_{\text{ლ.ხ.}}$	$\sigma_{\gamma}$	$\sigma_{\text{დინ.}}$	$\sigma_{\text{ჯამ.}} = \sigma_{\text{ლ.ხ.}} + \sigma_{\gamma}$	$\sigma_{\text{ჯამ.}}$		
0	16,4	0,0	80,0	16,4	96,4	4,88	80,0
0,5	16,3	9,0	49,4	25,3	74,8	1,94	78,7
1	15,9	18,0	30,4	33,9	64,3	0,9	72
2	13,9	36,0	11,5	49,9	61,4	0,23	63,6
3	12,0	54,0	4,4	66,0	70,4	0,07	38,4
4	10,0	72,0	1,7	82,0	83,7	0,02	32,0
5	8,4	90,0	0,6	98,4	99,0	0,006	26,6

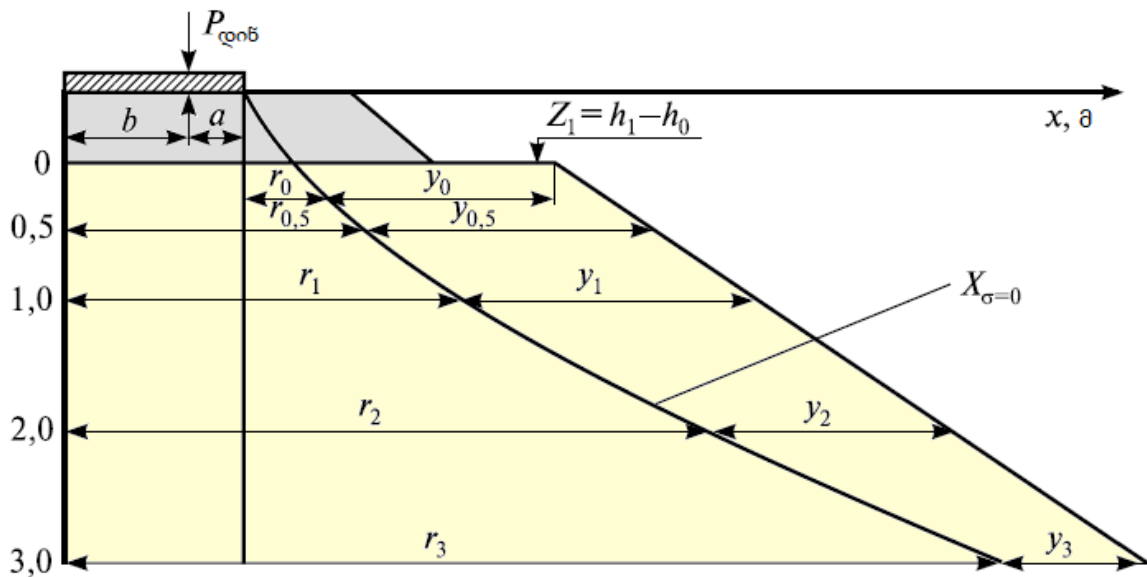


ნახ. 1. ძაბვების ცვალებადობა ყრილის სიღრმეში:  $\sigma_{\text{ლ.ზ.}}$  - ლიანდაგის ზედა ნაშენიდან;  $\sigma_\gamma$  - გრუნტის საკუთარი წონისაგან;  $\sigma_{\text{დინ.}}$  - დინამიკური ძაბვები მოძრავი შემადგენლობიდან;  $\sigma_{\text{ჯამ.}}$  - ჯამური;  $\sigma_{\text{სტ.}}$  - სტატიკური ძაბვები ერთგვაროვანი იზოტროპული ნახევარსივრცისათვის

როგორც ნახ.1-დან ჩანს, ჯამური  $\sigma_{\text{ჯამ.}}$  ძაბვების მნიშვნელობები ძირითად მოედანზე ( $Z_i = 0\text{მ}$ ) და ყრილში  $Z_i = 5\text{მ}$  სიღრმეზე ახლოს არის ერთმანეთთან. თუმცა, გრუნტის სამუშაო პირობები ძირითად მოედანზე, სადაც ჭარბობს დინამიკური  $\sigma_{\text{დინ.}}$  ძაბვები, პრინციპიალურად განსხვავდება მუდმივი ძაბვების სამუშაო პირობებისაგან.

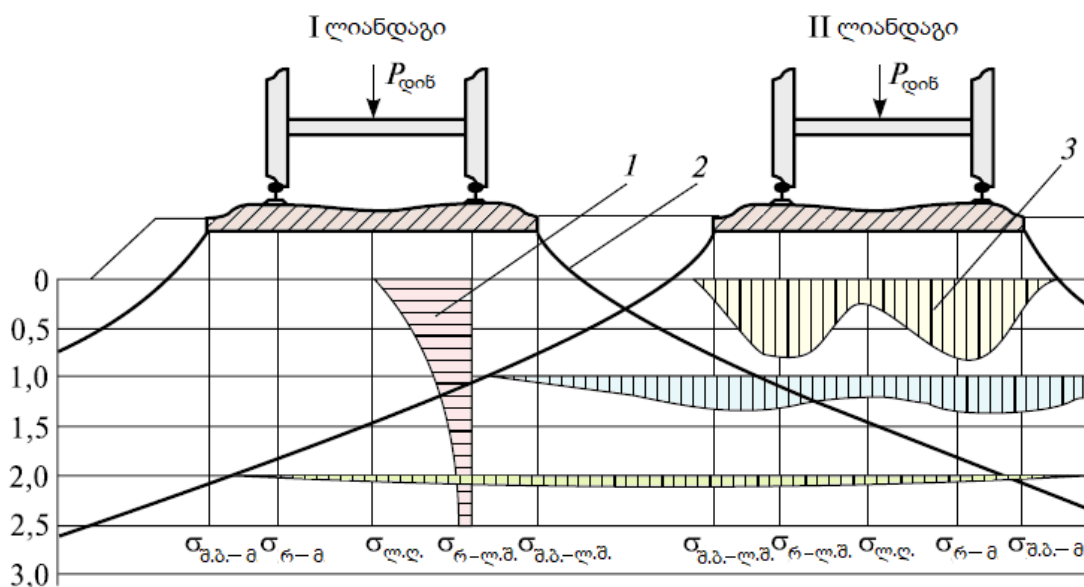
შედარებისთვის, ყრილში ძაბვები განისაზღვრა ტრადიციული სქემის მიხედვით, რომლის დროსაც მოძრავი შემადგენლობის ზემოქმედება იცვლება სტატიკური მართკუთხა ფორმის დატვირთვით მოდებული ძირითადი მოედნის დონეზე. ამ დატვირთვიდან მიღებულია  $\sigma_{\text{სტ.}}$  ძაბვების გადაჭარბებული მნიშვნელობები, რომლებიც არ შეესაბამება მოძრავი შემადგენლობის ქვეშ მყოფი მიწის ვაკის რეალურ სამუშაო პირობებს.

ყრილის განივკვეთში, დაწნევა შპალის ძირიდან გადაეცემა ჰიპერბოლური ზედაპირების  $X_\sigma = 0$  მეშვეობით. ამ ზედაპირებმა აჩვენა, რომ საბალასტო პრიზმა შპალების ფარგლებს გარეთ, მიწის ვაკის გვერდული და ყრილის ფერდოს ნაწილი  $y_i$  მანძილზე არ განიცდიან მოძრავი შემადგენლობის დატვირთვის დინამიკურ ძალურ ზემოქმედებას (ნახ.2).



ნახ. 2. დინამიკური დაძაბულობის საზღვარი ყრილის ფერდოზე, განსაზღვრული ჰიპერბოლური ზედაპირით

I და II კატეგორიების რკინიგზისათვის თიხნარი გრუნტებისაგან აგებული ტიპური ყრილი ძირითადი მოედნის სიგანით  $B_0 = 7,6\text{მ}$  და ფერდოების ზედა ნაწილში 1:1,5 დამრეცებით ([1]-ის მიხედვით),  $y_0$ -ის მნიშვნელობა მიწის ვაკისის გვერდულზე შეადგენს 2,09მ-ს, ხოლო III და IV კატეგორიის რკინიგზებისათვის, შესაბამისად - 0,15 და 0,25მ-ით ნაკლებს. ყრილის ფერდოზე არსებული ზონა, რომელშიც არ არის ვერტიკალური დინამიკური დაბევები, თანდათან ვიწროვდება ფერდოს სიგრძის შესაბამისად და აღწევს 0,5-0,7მ-ს  $Z_i = 3\text{მ}$  სიღრმეზე.



ნახ. 3. დინამიკური დაბევები ორლიანდაგიან ყრილზე შემხვედრი მატარებლების ერთდროული ზემოქმედების დროს: 1 - დაბევების ეპიურა ყრილის სიღრმეში;

2 - ჰიპერბოლური ზედაპირი  $X_\sigma = 0$ ; 3 - დაბევების ეპიურა ყრილის განივკვეთში.

ორლიანდაგიან რკინიგზებზე ორი შემხვედრი მოძრავი შემადგენლობის ერთობლივი ზემოქმედების შემთხვევაში, დაბრუნების განაწილების ხასიათი ყრილის საანგარიშო კვთებში ნაჩვენებია ნახ.3-ზე, საიდანაც ჩანს, რომ მეორე ლიანდაგზე მოძრავი მატარებელი არ ახდენს ძალურ ზემოქმედებას საბალასტო შრეზე და ყრილის სამუშაო ზონაზე.  $X_{\sigma} = 1,4$  მრუდე ხაზი მეორე ლიანდაგიდან კვეთს მონაკვეთს ლიანდაგთაშორისი რელსის (პირველი ლიანდაგის) ქვეშ  $Z_{რ-ლ.შ.} = 1,1$ მ სიღრმეზე; ლიანდის ღერძზე  $Z_{ლ.დ.} = 1,4$  მ; რელსის ქვეშ მინდვრის მხარეს  $Z_{რ-მ.} = 1,7$ მ. მითითებულ  $Z_i$  ჰორიზონტებზე დაბლა დამატებითი დინამიკური დაბრუნებები ძალიან მცირე სიდიდისაა 1-2კპა-ის ფარგლებში. ამიტომ ორლიანდაგიანი რკინიგზის ხაზებისათვის, დინამიკური დაბრუნების გაანგარიშება მიწის ვაკისში შეიძლება განხორციელდეს ერთ-ერთი ლიანდაგისათვის, მეორე ლიანდაგზე გამავალი მოძრავი შემადგენლობის ძალური დატვირთულობის ზემოქმედების გავლენის გათვალისწინების გარეშე.

### დასკვნა

შეფასებულ იქნა დინამიკური დაბრუნების როლი სამუშაო ზონის სიღრმეში ჯამური ვერტიკალური დაბრუნების ფორმირებაში.

მიწის ვაკისის ძირითად მოედანზე ჭარბობს დინამიკური  $\sigma_{ღობ.}$  დაბრუნები. სიღრმის მატებასთან ერთად მათი გავლენა მცირდება და უკვე 1მ-ზე, დინამიკური  $\sigma_{ღობ.}$  დაბრუნების და მუდმივად მოქმედი  $\sigma_{მულ.} = \sigma_{ლ.წ.} + \sigma_{\gamma}$  დაბრუნების სიდიდეები ერთმანეთს უახლოვდება. დიდ სიღრმეზე ყრილში კი ჭარბობს მუდმივად მოქმედი დაბრუნები. 4მ სიღრმეზე, დინამიკური დაბრუნები შეადგენს მუდმივი დაბრუნების მხოლოდ 2%-ს.

ყრილის განიკვეთში, დაწნევა შპალის ძირიდან გადაეცემა ჰიპერბოლური ზედაპირების მეშვეობით. საბალასტო პრიზმა შპალების ფარგლებს გარეთ, მიწის ვაკისის გვერდული და ყრილის ფერდოს ნაწილი  $y_i$  მანძილზე არ განიცდიან მოძრავი შემადგენლობის დატვირთვის დინამიკურ ძალურ ზემოქმედებას. ორლიანდაგიანი რკინიგზის ხაზებისათვის, დინამიკური დაბრუნების გაანგარიშება მიწის ვაკისში შეიძლება განხორციელდეს ერთ-ერთი ლიანდაგისათვის, მეორე ლიანდაგზე გამავალი მოძრავი შემადგენლობის ძალური დატვირთულობის ზემოქმედების გავლენის გათვალისწინების გარეშე.

### გამოყენებული წყაროები და ლიტერატურა

1. Строительно-технические нормы. Железные дороги колеи 1520 мм. СТН Ц-01-95. М.:Транспорт,1995.62 с.
2. Инструкция по текущему содержанию пути (ЦП-774). М.: Транспорт, 2014. 223 с.
3. Коншин Г.Г. Новый метод определения динамических напряжений // Путь и путевое хозяйство. № 9. 2000. С.30-34.
4. Коншин Г.Г. Вибрационный метод диагностики насыпей // Путь и путевое хозяйство. № 10. 2017. С. 22-25.

**About the determination of the boundaries of the working zone on the main platform of the roadbed, located under the rolling stock**

**Nugzar Rurua, Tengiz Papuashvili, Kakha Iankoshvili, Vasili Khorava**

**Abstract**

In the article, the method of determining the boundaries of the working zone on the top of roadbed the rolling stock is considered. The role of the dynamic stresses in the formation of total vertical stresses in the depth of the working zone is analyzed. It is established that in the cross-section of the embankment, the pressure is transmitted from the sole sleepers through hyperbolic surfaces. These surfaces have shown that the ballast section outside the sleeper, the roadbed shoulder and the part of the slope of the embankment  $y_i$  at a distance do not experience the dynamic force of the train load. As a result of the calculations, the maximum depth of the dynamic loading of the roadbed determined. It was determined that, for two track lines, in the case of the joint impact of two oncoming trains, the nature of the distribution of stresses in the calculation section of the embankment, the train passing along the second track does not have a force effect on the ballast layer and the working zone of the embankment.

**Об определении границ рабочей зоны на основной площадке земляного полотна, расположенных под подвижным составом**

**Нугзар Руруа, Тенгиз Папуашвили, Каха Ианкошвили, Васили Хорава**

**Резюме**

В статье рассмотрено метод определения границ рабочей зоны на основной площадке земляного полотна под подвижной состав. Проанализирована роль динамических напряжений в формировании суммарных вертикальных напряжений по глубине рабочей зоны. Установлено, что в поперечном сечении насыпи давление передается от подошвы шпалы через гиперболические поверхности. Эти поверхности показали, что балластная призма за пределами шпалы, обочина земляного полотна и часть откоса насыпи на расстоянии не испытывают динамического силового воздействия поезда. В результате проведенных расчетов определена что, для двух путной линии в случае совместного воздействия двух встречных поездов характер распределения напряжений в расчетном сечении насыпи проходящий по второго пути поезд не оказывает силового воздействия на балластный слой и рабочую зону насыпи.

## ინტერმოდალური გადაზიდვების ეფექტიანობის

### კრიტერიუმები და გამოწვევები

მანანა მოისწრაფიშვილი\*, კახაბერ გუდიაშვილი\*\*

\* პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: [m.moistsrapishvili@gtu.ge](mailto:m.moistsrapishvili@gtu.ge);

\*\* აკადემიური დოქტორი, სატვირთო გადაზიდვების ფილიალის დირექტორი,

სს „საქართველოს რკინიგზა“, E-mail: [Kakha.Gudiashvili@railway.ge](mailto:Kakha.Gudiashvili@railway.ge)

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, მ კოსტავას ქ. №71, 0175 თბილისი, საქართველო)

**რეზიუმე:** სტატიაში განხილულია ინტერმოდალური გადაზიდვების ეფექტიანობის კრიტერიუმები და გამოწვევები საქართველოს სატრანსპორტო სისტემაში, სადაც ყურადღება გამახვილებულია ინტერმოდალური ტრანსპორტის მზარდ ტენდენციასა და გამოწვევებზე, მათი გადაჭრის გზებზე. სტატიის ძირითადი ნაწილი ხაზს უსვამს კარგად ფუნქციონირებადი ლოგისტიკური ჯაჭვის აუცილებლობას ინტერმოდალური გადაზიდვების ხელშესაწყობად. სტატიაში განხილულია სხვადასხვა გამოწვევები და შეზღუდვები, რომლებიც აგდებენ იმ სიმძლავრეს რაც ქმნის გადაზიდვების ეფექტიანობას. ამასთან განსაზღვრავს ეფექტიანობის კრიტერიუმებს და მათი შეფასების მნიშვნელობას. იდენტიფიცირებულია ფაქტორები, რომლებიც ზემოქმედებენ ლოგისტიკის ოპტიმალური ფუნქციონირებაზე. წარმოდგენილი შემზღვეველი კონცეფცია მოცემულია ნახაზების სახით რომელიც შექმნილია FMEA მეთოდით. სტატიაში წარმოდგენილი მეთოდი არის ზოგადი ხელისშემწყობი ფაქტორი, რომელიც ეხმარება ლოგისტიკურ კომპანიებს საოპერაციო დაგეგმვის პროცესში, რომელიც პირდაპირ კავშირშია სატრანსპორტო სისტემის მდგრად განვითარებასთან.

**საკვანძო სიტყვები:** ინტერმოდალური გადაზიდვები, ლოგისტიკური ჯაჭვი, სატრანსპორტო სისტემა.

### შესავალი

დღეისათვის ინტერმოდალური გადაზიდვების ზრდა საქართველოში მზარდი ტენდენციით ხასიათდება და სულ უფრო აქტუალური ხდება მისი გეოგრაფიული არეალიდან გამომდინარე. მიუხედავად სავაჭრო ურთიერთობების გაღრმავებისა ამ ფაქტს თან ახლავს უარყოფითი მხარეებიც, როგორცაა: გარემო პირობების დაბინძურება ქიმიური ტვირთების გადაადგილებით, მავნე გამონახობლებით, მიწის არეალის გამოყენებით, საცობებით, ხშირი უბედური შემთხვევებით და ა.შ. ამიტომ არახელსაყრელი პირობების თავიდან ასაცილებლად ერთ-ერთ გამოსავლად ტრანსპორტის მოცულობების მაქსიმალურად ეკოლოგიურად სუფთა სატრანსპორტო სისტემის შერჩევა წარმოადგენს, როგორცაა სარკინიგზო, საზღვაო ან სანაოსნო გზები. თუმცა გლობალიზაციის პირობებში ამ მხრივ თანამედროვე გამოსავლად სწორედ ინტერმოდალური გადაზიდვების განვითარება და მხარდაჭერა ისახება.



### ძირითადი ნაწილი

აღსანიშნავია, რომ ინტერმოდალური გადაზიდვების წარმატება ლოგისტიკური სისტემის ჯაჭვის გარეშე წარუმატებელია. ლოგისტიკური ჯაჭვის თანმიმდევრული სექტის მოქმედება კი შეუძლებელი თანამედროვე მოვლენების სწრაფად განვითარების ტენდენციის გამო. არსებობს მრავალი გამოწვევა და შეზღუდვები სხვადასხვა ეტაპზე ბარიერების, პოტენციური რისკებისა და გარემოებების გამო, რამაც შესაძლოა უარყოფითად იმოქმედოს ლოგისტიკური ჯაჭვის ეფექტიანობაზე. [1]

მნიშვნელოვანი ლოგისტიკური ეფექტიანობის კრიტერიუმების განსაზღვრა და შეფასება შემზღუდველი პირობების დადგენით, რომელიც ზემოქმედებს ინტერმოდალურ გადაზიდვებზე. ზოგადად ეფექტიანობა არის ნებისმიერი წყარო რომელიც უდრის ან უფრო მცირეა მის დაწესებულ მოთხოვნაზე. სტანდარტებით შემზღუდველი პირობები კი განისაზღვრება როგორც ელემენტი, ან ფაქტორები, რომლებიც ხელს უშლიან სისტემას მიაღწიონ უფრო მაღალ შედეგს კომპლექტთან მიმართებაში. ამიტომ, აუცილებელია ლოგისტიკური ჯაჭვის წარმატებით ფუნქციონირებისათვის გარკვეული კრიტერიუმების განსაზღვრა. არა მხოლოდ ტერიტორიის, არამედ ფინანსური და ინფორმაციული ნაკადების პირობების გათვალისწინებით, ვინაიდან ყველა შემთხვევაში ოპტიმალური სიტუაცია ხდება მაშინ, როდესაც შეთავაზება უტოლდება მოთხოვნას. [2]

$E=F$  ლოგისტიკის ოპტიმალური ვარიანტია,

სადაც  $E$  - არის მოთხოვნა,  $F$  - არის მიწოდება;

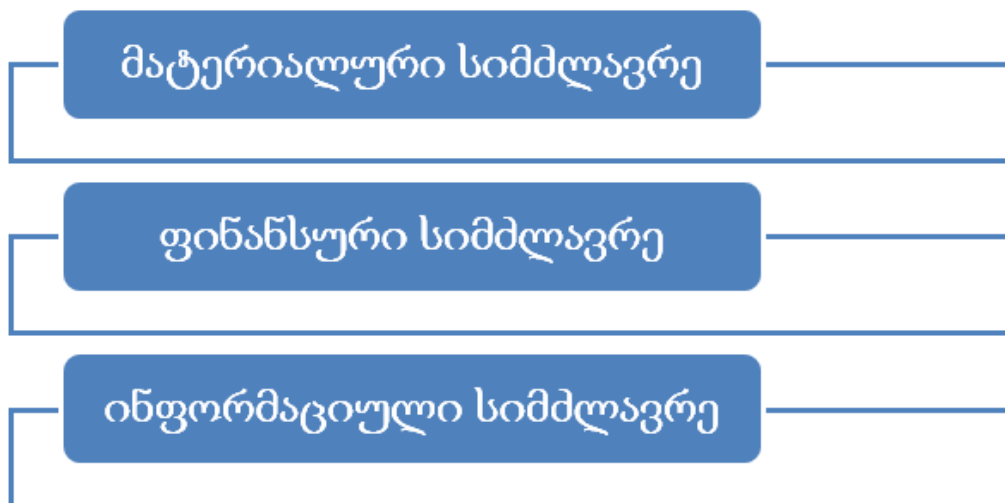
ლოგისტიკური დაგეგმვისა და შესრულების შედეგად შეიძლება წარმოიქმნას შემდეგი წინააღმდეგობები:

$E < F$  - შეფერხება

$E > F$  - არაეფექტიანი მენეჯმენტი

თუმცა, ყოველთვის ოპტიმალური სიტუაცია ლოგისტიკაში არ არსებობს, აუცილებელია შემზღუდველი პირობების განსაზღვრა, რომელთა წრეც შესაძლოა უსასრულო ან ინდივიდუალური იყოს.

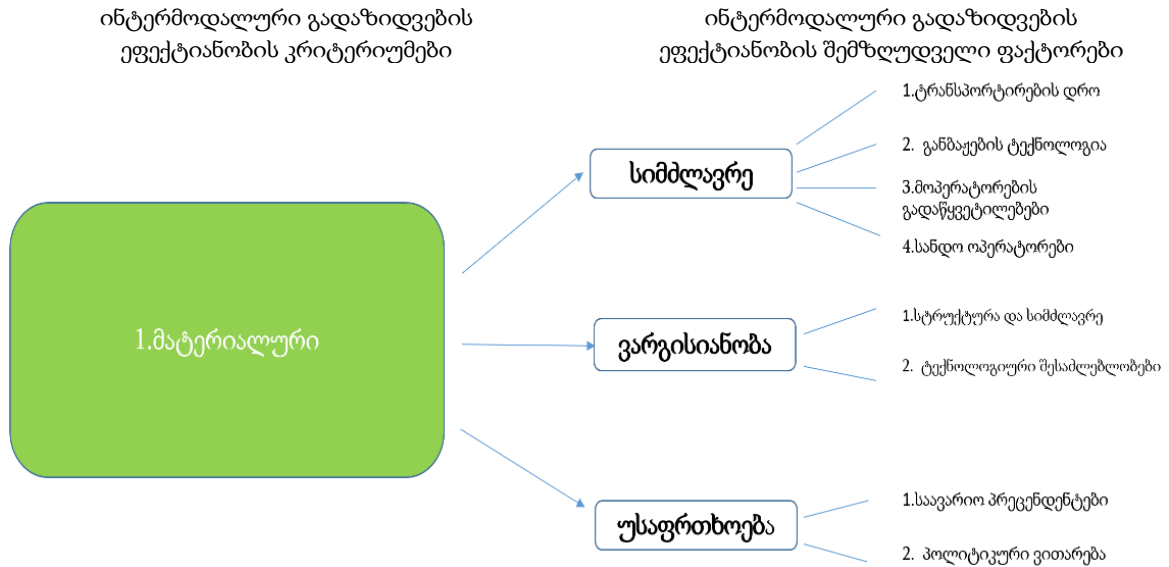
სტატიაში კი წარმოდგენილი მხოლოდ იმ ფაქტორთა სიმრავლე, რომელიც მოქმედებს ინტერმოდალური გადაზიდვების ეფექტიანობაზე (ნახ.1):



ნახ. 1. ინტერმოდალური გადაზიდვების ლოგისტიკის ეფექტიანობის კრიტერიუმები

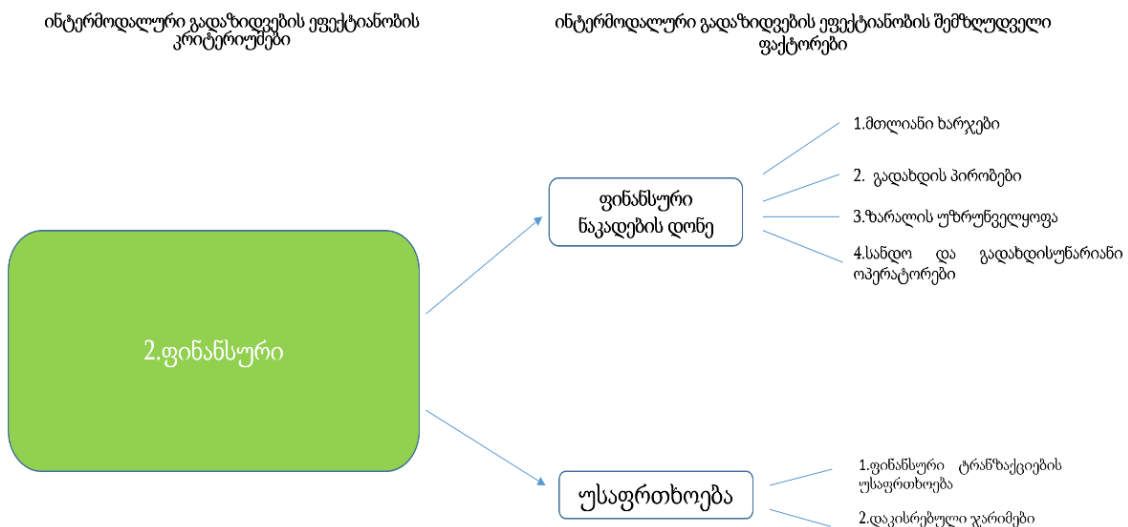
შეზღუდვა ეს არის ნებისმიერი აქტიური თუ პასიური ელემენტი, რომელიც უარყოფითად მოქმედებს ლოგისტიკური ჯაჭვის ფუნქციონირებისას. ასეთი ზემოქმედების ფაქტორების იდენტიფიცირება საჭიროებს მრავალი კრიტერიუმის შეფასებას. ხოლო პოტენციური შეზღუდვების ნაკრების შესარჩევად გამოყენებულია FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) მეთოდი. [3, 4]

აუცილებელია ამ მაჩვენებლების როგორც ხარისხობრივი ასევე რაოდენობრივი პარამეტრებით უზრუნველყოფა რომელიც მოგვცემს ეფექტიანობის ზრდის საშუალებას ინტერმოდალური გადაზიდვების დაგეგმვისას.



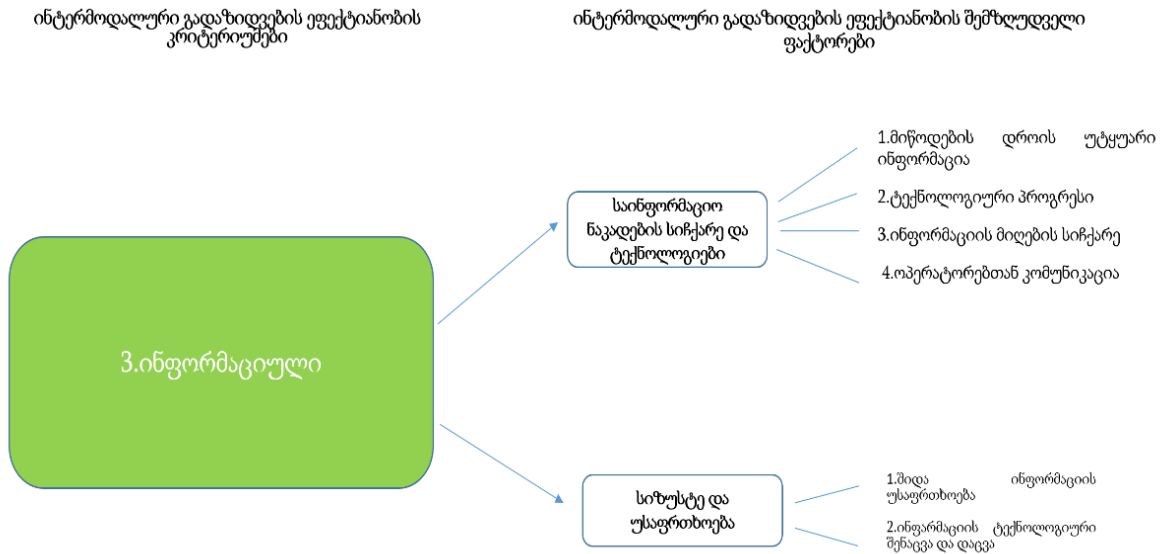
ნახ. 2. ინტერმოდალური გადაზიდვების ლოგისტიკის ეფექტიანობის 1 კრიტერიუმი და 2 შემზღუდველი ფაქტორები

აღნიშნული კრიტერიუმები როგორც აღვნიშნეთ დაყოფილი 3 თანაბარ ნაწილად, რომელთაც გააჩნიათ თითოეული კატეგორიის ქვეკრიტერიუმები თავისი შემზღუდველი პირობებით. მეორე ნახაზზე მოცემული ეფექტიანობის მატერიალური კრიტერიუმების 3 ქვეკრიტერიუმი: სიმძლავრე; ვარგისიანობისა და უსაფრთხოების სახით.



ნახ. 3. ინტერმოდალური გადაზიდვების ლოგისტიკის ეფექტიანობის 2 კრიტერიუმი და 2 შემზღუდველი ფაქტორები

ნახ. 3-ზე მოცემული ეფექტიანობის მე-2 ძირითადი ფინანსური კრიტერიუმი, რომელსაც აქვს 2 ქვეკრიტერიუმი: ფინანსური ნაკადებისა და უსაფრთხოების სახით.



ნახ. 4. ინტერმოდალური გადაზიდვების ლოგისტიკის ეფექტიანობის 3 კრიტერიუმი და შემზღვეველი ფაქტორები

ნახ. 4-ზე მოცემული ეფექტიანობის მე-3 ძირითადი ინფორმაციული კრიტერიუმი, რომელსაც აქვს ასევე 2 ქვეკრიტერიუმი: საინფორმაციო ნაკადების სიჩქარისა, ტექნოლოგიებისა და უსაფრთხოების სიზუსტის სახით.

### დასკვნა

ინტერმოდალური გადაზიდვების შემზღვეველი კრიტერიუმების კატეგორიზაციის გზით, ლოგისტიკურ კომპანიები იძენენ ცოდნას ტექნოლოგიების, ტექნიკის, პროცესებისა და პროცედურების ოპტიმალურ დროში მობილიზებისათვის. ეს პრაქტიკული მიდგომა ხელს უწყობს ინტერმოდალური გადაზიდვების გაძლიერებას საქართველოს სატრანსპორტო სისტემაში, ამასთან გზას უხსნის ეფექტიანობისა და მდგრადობის ზრდას.

### გამოყენებული წყაროები და ლიტერატურა

1. Stopka, O., Černá, L. & Zitrický, V. (2016). Methodology for measuring the customer satisfaction with the logistics services. Naše more = Our sea: znanstveno-stručni časopis za more i pomorstvo. 63(3), 189 – 164.
2. Marco Polo Programme. (2003). EP and Council Regulation (EU) No. 1382/2003/EU on the granting of Community financial assistance to improve the environmental performance of the freight transport system. European Union
3. Kudláč, Š. (2018). Proposal of a methodology for assessing bottlenecks in logistic chains in intermodal transport. Doctoral dissertation, University of Ľilina, Ľilina, Slovakia.

4. Majerčák, J., Kudláč, Š. & Ponický, J. (2016). Innovative management of supply chains. Logi: scientific journal on transport and logistics. 7(1), 98-107.

### **Efficiency criteria and challenges of intermodal shipments**

**Manana Moistsrapishvili, Kakhaber Gudiashvili**

#### **Abstract**

The article discusses the criteria and challenges of the effectiveness of intermodal transportation in the transport system of Georgia, where attention is focused on the growing trend and challenges of intermodal transportation, ways to solve them. The main body of the article emphasizes the need for a well-functioning logistics chain to facilitate intermodal shipments. The article discusses the various challenges and constraints that hinder the capacity that makes shipping efficient. At the same time, it determines the efficiency criteria and the value of their evaluation. Factors affecting the optimal functioning of logistics are identified. The presented limiting concept is given in the form of drawings created by the FMEA method. The method presented in the article is a general enabling factor that helps logistics companies in the process of operational planning, which is directly related to the sustainable development of the transport system.

### **Критерии эффективности и проблемы интермодальных перевозок**

**Манана Мойсцрапишвили, Кахабер Гудиашвили**

#### **Резюме**

В статье рассматриваются критерии и проблемы эффективности интермодальных перевозок в транспортной системе Грузии, где внимание сосредоточено на растущих тенденциях и проблемах интермодальных перевозок, путях их решения. В основной части статьи подчеркивается необходимость хорошо функционирующей логистической цепочки для облегчения интермодальных перевозок. В статье обсуждаются различные проблемы и ограничения, которые препятствуют развитию мощностей, обеспечивающих эффективность судоходства. В то же время оно определяет критерии эффективности и ценность их оценки. Выявлены факторы, влияющие на оптимальное функционирование логистики. Представленное предельное понятие дано в виде чертежей, созданных методом FMEA. Представленный в статье метод является общим стимулирующим фактором, помогающим логистическим компаниям в процессе оперативного планирования, которое напрямую связано с устойчивым развитием транспортной системы.

# Stable frequency and voltage sources for feeding rail circuits

Merab Gotsadze\*, Natia Gogishvili\*\*

\*Professor, Georgian Technical University, E-mail:m.gotsadze05@gtu.ge;

\*\*Academic doctor, E-mail:gogishvilinatia7@gmail.com

(Georgian Technical University, M. Kostava St. №71, 0175 Tbilisi, Georgia)

**Abstract:** *In the article are considered the special devices necessary to ensure the safety of train traffic that in case of extreme conditions provides the smooth and reliable operation of rail circuits, offers practical options for stable frequency and voltage sources.*

**Keywords:** rail circuit, train traffic safety, power source, converter, inventor.

## Introduction

The rail circuit represents an important part of the railway automation and telemechanics systems, on the proper functioning of that the safety of train movement significantly depends.

It is known that existing power sources of rail circuits are developed on the principle of voltage resonance. Under normal conditions, when the voltage and frequency are stable, they operates correctly and reliably, but when these parameters change (even in a fairly small range), these devices would no longer provide the correct operation of the rail circuits, and the operation of the railway automation and telemechanics systems is practically impossible.

## Basic part

For the normal operation of the rail circuits, we have developed special devices that ensure proper and reliable operation of the rail circuits in case of extreme conditions.

On the Fig. 1 is presented a power source using a basic device built on conventional, non-controlled thyristors. In this case, by  $g$  rectifier. The "i" inverter receives power through the  $L_f$  and  $C_f$  filter by means of the rectifier  $g$ . This scheme is known in the literature as the "McMurry" scheme. Impulses are supplied to thyristors V6 and V7 of the inverter from the stable frequency source of railway circuit. Due to the presence of the compensating capacitor  $C_c$  and inductance  $L_c$ , the thyristors are artificially turned off. The stable value of the supply voltage is provided by an automatic regulation system. It clear from the Fig. 1 that output voltage  $U_2$  through the  $g2$  rectifier is supplied to the comparison unit, where it is compared with the set voltage ( $U_{set}$ ). Their difference is supplied to the "i" integrator, and then through the "i g" pulse amplifier - to the thyristors. Such an automatic system is maintaining the supply voltage within  $200 \pm 1.5\%$  range when the supply voltage variation is  $380 \pm 30\%$  and the load variation range is large.

The shape of the output voltage of the inverter is given in Fig. 2. It is trapezoidal (enlarged line) instead of sinusoidal.

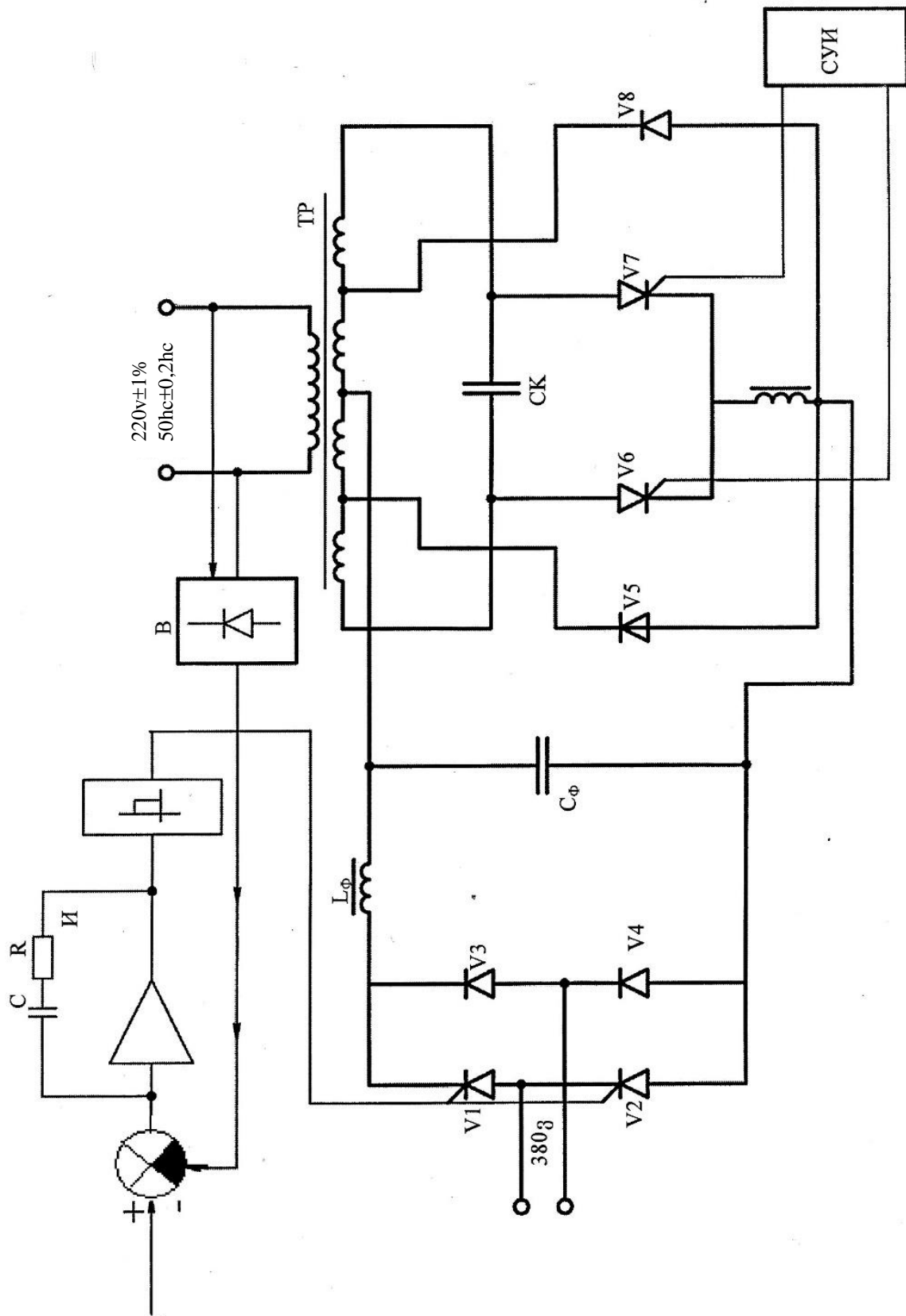


Fig. 1. The main option of the power supply

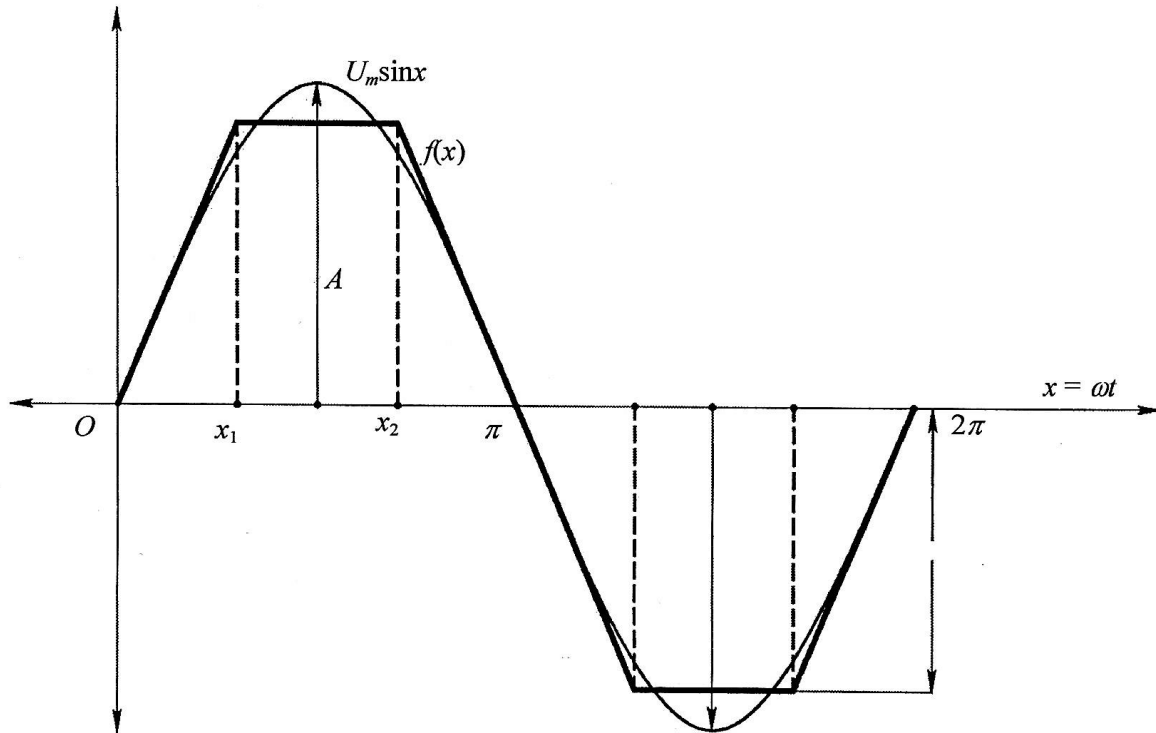


Fig. 2. Shape of inverter output voltage

By selecting  $L_k, C_k$  parameters and the transformation coefficient, is possible to obtain the shape of optimal voltage, where the content of harmonics will be minimal. For this, we used the method of least squares:

$$\varepsilon(x) = \int_0^{\pi} [U_m \sin x - f(x)]^2 dx = \int_0^{x_1} (U_m \sin x - kx)^2 dx + \int_{x_1}^{\pi-x_1} (U_m \sin x - kx_1)^2 dx + \int_{\pi-x_1}^{\pi} (U_m \sin x - k(\pi - x))^2 dx. \quad (1)$$

where  $U_m$  is the amplitude of the sinusoidal voltage;

$k = \frac{A}{x_1}$  – is the tangent of the angle of inclination of the trapezoid;

$A$  – is the trapezium height;

$\varepsilon(x)$  – difference between sinusoid and trapezoid;

$f(x)$  – is the analytical representation of a piece-linear trapezoid.

If we set the derivatives of the expressions (1) with respect to  $k$  and  $x_1$  will be equaled to zero, i.e.  $\frac{\partial \varepsilon(x)}{\partial (k)} = 0$  and  $\frac{\partial \varepsilon(x)}{\partial (x)} = 0$ , we will obtain a system of two transcendental equations with two  $k$  and  $x_1$  unknowns. If we solve this system by any known approximate method, we will obtain:

$$x_1 = 0,26\pi; \quad A = 0,86U_\theta.$$

Thus, in the case of such a different shape of the trapezoidal voltage, it is no longer necessary to perform additional measures to improve the voltage shape. Another advantage of the scheme is its simplicity and high reliability. The shortcoming of the scheme is the large dimensions and mass of the power transformer and compensating throttle  $L_k$ .

The development of power semiconductor techniques, the appearance of new types of field-effect transistors and fully controlled thyristors operating at high voltages and currents allowed us to create fundamentally new converters that do not have the above-mentioned disadvantages.

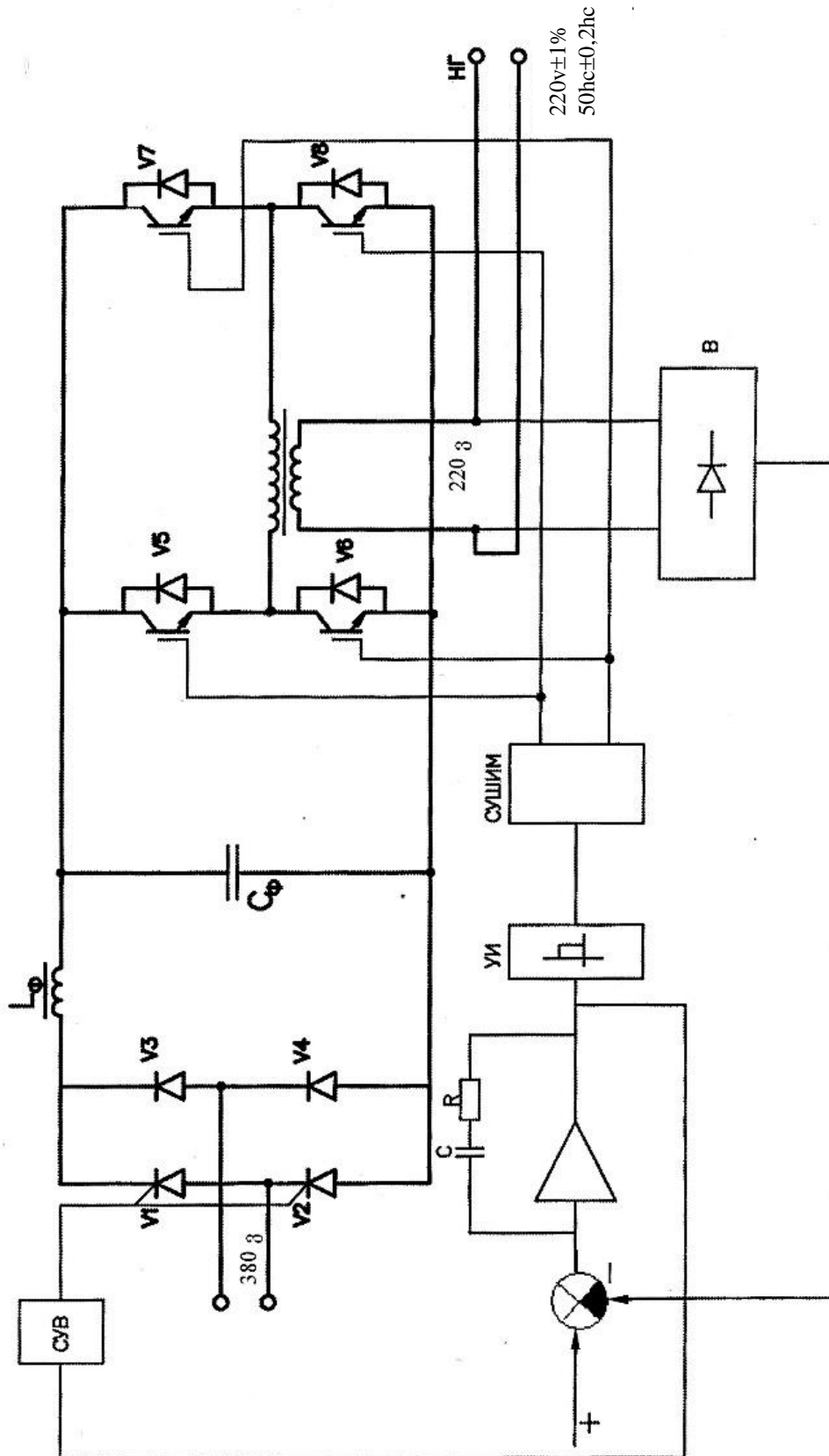


Fig. 3. Built on tranzistors converter



On the Fig. 3 is presented one of the variants of the converter built on YGBT transistors, in that, as in the first variant, the inverter receives power from the g1 universal rectifier through the  $L_f$  and  $C_f$  filter. The field transistors V5, V6, V7 and V8 are powered by a closed-loop auto-regulator system, where the set  $U_{set}$  voltage is compared to the output voltage. The frequency of pulses delivered in this system does not depend on any parameter. When the voltage of the regulator g1 changes, the width of the open state of the transistor changes, thereby ensuring the constancy of the average value of the voltage.

The advantage of the scheme is high reliability, relatively small weight and dimensions. Compared to the previous scheme, lower M.K.C. has, but it is perfectly acceptable for the purposes we have set.

In real operating conditions, the alarm equipment was tested when it was powered by a rectangular voltage. As expected, the rectangular shape of the curve (instead of the sinusoidal shape) has no effect on the performance of the hardware. It should be noted that the frequency of the output voltage does not depend on the magnitude of the supply voltage.

### References

1. Toidze M., Eziashvili M., Gogishvili N. Issues of forecasting of reliable and safe operation of railway automation and telemechanics systems //Scientific-technical journal “Transport”, №1-2 (37-38), Tbilisi, 2010 r. pp 13-14.;
2. Dundua A. Station and span railway automation and telemechanics systems part I. //Publishing House „Technical University“, Tbilisi, 2009 წ, 258 p.;
3. Toidze M., Gogishvili M. Output voltage stabilization system of stabilized frequency power source for rail circuits // Transactions of GTU №4 (415), Tbilisi, 1997. pp. 98-102.

### სტაბილური სიხშირისა და ძაბვის წყაროები სარელსო წრედების კვებისათვის

მერაბ გოცაძე, ნათია გოგიშვილი  
რეზიუმე

სტატიაში განხილულია მატარებელთა მოძრაობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფისათვის აუცილებელი სპეციალური მოწყობილობები, რომლებიც ექსტრემალური პირობების შემთხვევაში განაპირობებენ სარელსო წრედების გამართულ და საიმედო მუშაობას, შემოთავაზებულია სტაბილური სიხშირისა და ძაბვის წყაროების პრაქტიკული ვარიანტები.

### Источники стабильной частоты и напряжения для питания рельсовых цепей

Мераб Гоцадзе, Натиа Гогишвили  
Резюме

В статье рассматриваются специальные устройства, необходимые для обеспечения безопасности движения поездов, которые в экстремальных условиях обеспечивают бесперебойную и надежную работу железнодорожных цепей, предлагаются практические варианты источников стабильной частоты и напряжения.

## საბრუნო ამწეების მოსაბრუნებელი მექანიზმის რედუქტორის ვიბროაქტიურობის შეფასება

გაბრიელ მერაბიშვილი\*, გიორგი ჯაფარიძე\*\*, თენგიზ ჩხაიძე\*\*\*

\*დოქტორანტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: [gabrielmerabishvili@gmail.com](mailto:gabrielmerabishvili@gmail.com);

\*\*პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: [aandg2001@inbox.ru](mailto:aandg2001@inbox.ru);

\*\*\*მოწვეული ასოცირებული პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,

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

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, მ. კოსტავას ქ. №71, 0175 თბილისი, საქართველო)

**რეზიუმე:** ჩატარებულია მომეტებული საფრთხის შემცველი მანქანა-დანადგარების, კერძოდ საბრუნო ამწეების საექსპლუატაციო საიმედოობის ამაღლებისათვის მათი მოსაბრუნებელი მექანიზმის ძირითადი კვანძის, რედუქტორის გამოკვლევა. მიღებულია რედუქტორის კორპუსის ვიბრაციის სპექტრი. განსაზღვრულია რედუქტორის კინემატიკურ ჯაჭვში შემავალი მბრუნავი ელემენტების ცდომილება. განხილულია მოსაბრუნებელი მექანიზმის რედუქტორის ელემენტების გავლენა ამწის საერთო ვიბროაქტიურობაზე და მათი შეფასების მეთოდები. შესწავლილია რედუქტორის კბილანური გადაცემის ვიბრაციული აგზნების დინამიკა და მისი გამომწვევი მიზეზები.

**საკვანძო სიტყვები:** საბრუნო ამწე, მოსაბრუნებელი მექანიზმი, საექსპლუატაციო საიმედოობა, რედუქტორი, ვიბროაქტიურობა, ცდომილება.

### შესავალი

საბრუნო ამწეების მათ შორის პორტალური და კოშკური ამწეების მოსაბრუნებელი მექანიზმის რედუქტორების ვიბროაქტიურობას განსაკუთრებული გავლენა აქვს თვით ამწეების მოსაბრუნებელი მექანიზმების მუშაობისუნარიანობის კრიტერიუმებზე.

რედუქტორების მდგომარეობის შეფასებისათვის ფართო გამოყენება ჰპოვა ვიბრაციულმა დიაგნოსტიკამ. დიაგნოზის დასმა კი წარმოებს ვიბროგაზომვების საფუძველზე. ამ მეთოდის გამოყენების მიზნით საჭიროა რედუქტორის კორპუსის ვიბრაცია განვიხილოთ მის ცალკეულ დეტალებთან მიმართებაში. ეს ამოცანა ამოიხსნება რედუქტორის კორპუსის ვიბრაციის სპექტრის მიღებისა და რედუქტორის კინემატიკური ჯაჭვში შემავალი მბრუნავი ელემენტების ცდომილების განსაზღვრის გზებით.

კბილანური გადაცემების კინემატიკური ცდომილების სიგნალი და ამ სიგნალის სპექტრი გარდა რედუქტორის დეტალების დატვირთვიანობისა და დრეკადი ხისტი პარამეტრებისა შეიცავენ მათი მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციას [7].

### ძირითადი ნაწილი

რედუქტორის შემავალი კბილანური წყვილის კინემატიკური ცდომილების სიგნალი შეგვიძლია გამოვსახოთ ფორმულით:

$$F(t) = \varphi_2(t) - \varphi_{20}(t) \quad (1)$$

სადაც  $F(t)$  არის კინემატიკური ცდომილების სიგნალი;

$\varphi_2(t)$  - გადაცემის მიმყოლი ლილვის მობრუნების კუთხის პროპორციული სიდიდე;

$\varphi_{20}(t)$  - მიმყოლი ლილვის მობრუნების კუთხის პროპორციული სიდიდე.

ამ მიღებულ სიგნალს, თან ახლავს ცდომილების ინფორმაცია შეუღლებული კბილათვლების გეომეტრიის შესახებ. რედუქტორიდან მიღებული სიგნალი, შეიცავს საკისრებისა და აკრების ცდომილებასაც.

გადასაცემმა მომენტმა და კბილანა გადაცემის წამყვანი ლილვის ბრუნვის სიჩქარემ შეიძლება გამოიწვიოს ჰარმონიული რხევების ამპლიტუდური და ფაზური მოდულაციები, რომლებიც ჯერადი იქნება კინემატიკური წყვილების ელემენტების ბრუნვის სიხშირეების.

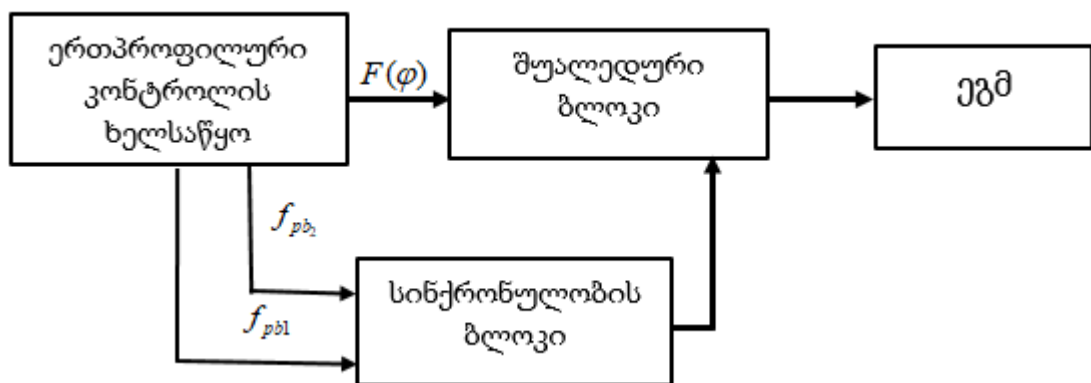
ეს სიგნალი შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n S_i(t) + n(t), \quad (2)$$

სადაც  $S_i(t)$  არის პერიოდული მდგენელი პერიოდით  $T_i$ ;

$n(t)$  - შემთხვევითი მდგენელი.

ნახ. 1-ზე მოცემულია ერთ-ერთი კბილანა წყვილის ბრუნთა რიცხვის ცდომილების სიგნალის სპექტრალური ანალიზისათვის აპარატურის ბლოკ-სქემა



ნახ. 1. ბლოკ სქემა რედუქტორების ვიბრაციის მახასიათებლების გასაზომად

რედუქტორების ვიბრაციას მნიშვნელოვანი ინტენსივობით აქვთ მექანიკური წარმონაქმნი რაც გამოვლინდება სიხშირის ფართო დიაპაზონში. ამ ვიბრაციების წყაროს წარმოადგენს რედუქტორის კინემატიკური ჯაჭვში შემავალი მბრუნავი ელემენტები. ვიბრაციის სპექტრი შეიცავს დიდი რაოდენობით დისკრეტულ მდგენელებს და მნიშვნელოვან წილად განისაზღვრება კინემატიკური ჯაჭვის ელემენტების ბრუნვის ცდომილების სპექტრით.

რედუქტორის სპექტრში შეიძლება გამოვყოთ როტორის ვიბრაცია სიხშირით  $f_n$ , ვიბრაციები გამოწვეული საკისრებით და კბილანა თვლებით სიხშირით  $f_z$ .

რედუქტორში როტორული ვიბრაციები აღიძვრება მბრუნავი ლილვების, საკისრების და კბილანათვლების დისბალანსის გამო. დისბალანსის მიზეზს წარმოადგენს მასალის არაერთგვაროვნება, გეომეტრიის ცდომილება, კონსტრუქციის და მონტაჟის დეფექტები, დეტალების ცვეთის უთანაბრობა და ექსპლუატაციის პროცესში მათი შეერთებების მოშვება.

როტორული ვიბრაციის სპექტრში მაქსიმუმი აღიძვრება სიხშირეზე, რომელიც ემთხვევა კბილანათვლების საკუთარი რხევების სიხშირეს, რომლებიც შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით:

$$f \approx 3,56 \cdot 10^4 \frac{\sqrt{1+u^2}}{d_2} \quad (3)$$

სადაც  $u$  არის კბილანური გადაცემის გადაცემის რიცხვი;

$d_2$  - კბილა თვლის საწყისი წრეხაზის დიამეტრია, სმ.

$$f' \approx 1,27 f \quad (4)$$

როტორული ვიბრაციის დისკრეტული სიხშირული მდგენელები გამოითვლება ფორმულით:

$$f_n = \frac{m \cdot n}{60} \quad (5)$$

სადაც  $m=1, 2, 3$ ;  $n$  - ბრუნვის სიხშირეა, ბრ/წთ.

საკისრების ვიბრაციას აქვს რთული სტრუქტურა და დამოკიდებულია საკისრების ელემენტების ცდომილების გეომეტრიაზე, მათ კონსტრუქციულ ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე, რეზონანსულ თვისებებზე და ა.შ.

საკისრების ვიბრაციის სპექტრის დისკრეტული მდგენელი, დაკავშირებულია მათი ბრუნვის სიჩქარეებზე, რომელიც შესაძლებელია განისაზღვროს ფორმულით

$$f_1' = \frac{n_\beta k_1}{60} \quad (6)$$

სადაც  $n_\beta$  შიგა რგოლის ბრუნვის სიხშირეა

$$K_1 = \frac{d_m - D \cos \alpha}{2d_m} \quad (7)$$

და

$$f_3^{IV} = (n_H + n_B) \frac{2d_m K_1 K_2}{D60} Z_T K \quad (8)$$

სადაც  $K$  არის მგორავი სხეულების რიცხვი

$$K_2 = \frac{d_m + D \cos \alpha}{2d_m} \quad (9)$$

სადაც  $d_m$  არის მგორავი სხეულების ცენტრების დიამეტრი;

$D$  - მგორავი სხეულების დიამეტრია;

$\alpha$  - ბურთულისა და გორგოლაჟის სარბენ ბილიკთან კონტაქტის კუთხეა;

$Z_T$  - მგორავი სხეულების რიცხვია.

ბრუნთა რიცხვის ცვალებადობის, მგორავი სხეულების გასრიალების კონტაქტის კუთხის არამუდმივობის და ა.შ. შედეგად და ამასთან დისკრეტული მაჩვენებლის განსაზღვრისათვის იყენებენ ვიბრაციული სპექტრის სიგნალის მაქსიმალურ მნიშვნელობას.

საკისრებით აღძრული ვიბრაციების სპექტრში მაქსიმუმს შეესაბამება მათი რეზონანსული სიხშირე. რეზონანსული სიხშირე წარმოადგენს ფართო შემთხვევითი ვიბრაციების შედეგს, აღძრულს გორვის სხეულების ხახუნით და დარტყმებით დატვირთვის ზონის გავლისას.

რედუქტორში კბილანა გადაცემებით აღძრული ვიბრაციების მიზეზია, მბრუნავი მასების არათანაბრობა, იმპულსური პარამეტრული და კინემატიკური აგზნება. იმპულსური აგზნება გამოწვეულია კბილების მოდების შესვლისას და გამოსვლისას დარტყმებით. იმპულსების აგზნების შედეგად რედუქტორის ვიბრაციის სპექტრში არის კბილების შეუღლების ვიბრაციის დისკრეტული მდგენელი და მათი ჯერადი ჰარმონიკები. ვერტიკალური რედუქტორების სპექტრში შეიძლება იყოს ათამდე დონის მნიშვნელოვანი ჰარმონიკა, რომელიც ჯერადია კბილების სიხშირის. სხვადასხვა ტიპის გადაცემებისათვის კბილების მოდებაში სიხშირე შეიძლება გამოთვალოს ფორმულით:

$$f_z = mZ \frac{n}{60} \quad (10)$$

პარამეტრული აგზნება აღიძვრება მოდებაში კბილების ცვალებადი სიხისტით. ყველაზე უფრო მნიშვნელოვანი კინემატიკური აღზნება აღიძვრება რედუქტორის კინემატიკური ჯაჭვის რგოლების ბრუნვის არათანაბრობისას. რაც იწვევს მოქმედი ძალისა და მომენტის ცვალებადობას დროის მიხედვით, და როგორც შედეგი ვიბრაციის მატებას.

### დასკვნები:

1. მიღებულია რედუქტორში კბილანური წყვილის კინემატიკური ცდომილების სიგნალის საანგარიშო ფორმულა, ამ სიგნალს თან აქვს ცდომილების ინფორმაცია შეუღლებული კბილათვლების გეომეტრიის შესახებ.
2. რედუქტორების ვიბრაციას მნიშვნელოვანი ინტენსივობით აქვთ მექანიკური წარმონაქმნი რაც გამოვლინდება სიხშირის ფართო დიაპაზონში.
3. რედუქტორში კბილანა გადაცემებით აღძრული ვიბრაციების მიზეზია, მბრუნავი მასების არათანაბრობა, იმპულსური პარამეტრული და კინემატიკური აგზნება.

### გამოყენებული წყაროები და ლიტერატურა

1. Abdel-Rahman, E. M. A. H., and Masoud, Z. N., Dynamics and control of cranes: A review, Journal of Vibration and Control, 2003, 9(7), 863-908;
2. A. Cibicik, E. Pedersen, and Egeland. Dynamics of luffing motion of flexible knuckle boom crane actuated by hydraulic cylinders. Mechanism Machine Theory, 143:103616, 2020, Doi: 10.1016/j.mechmattheory.2019.103616;
3. Y.A. Onur and H. Gelen. Investigation on endurance evaluation of portal crane: experimental, theoretical and finite element analysis. Materials Testing, 62(4):357-364. 2020, Doi: 10.3139/120.111491;
4. В. Л. Бидерман - Теория механических колебаний. М.: Машиностроение. 1980. 368 с.;
5. М.З. Коловский - Динамика машин. Л.: Машиностроение. 1989. 263 с.;
6. М. С. Комаров - Динамика механизмов и машин. М.: Машиностроение. 1968. 332 с.;

7. ჯაფარიძე, ა. მეტრეველი, გ. მერაბიშვილი - „ხიდური ამწეების გადასაადგილებელი მექანიზმების დინამიკური კვლევა“, თბილისი, სტუ, „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“ N3(55) 2022წ., გვ. 19-28.

**Assessing the vibroactivity of the rotary mechanism reductor of the rotary cranes**  
**Gabriel Merabishvili, Giorgi Jafaridze, Tengiz Chkhaidze**

**Abstract**

In order to increase the operational reliability of high-risk machines, in particular, rotary cranes, the study of the main node of their turning mechanism has been carried out. The research of one of the most important reductor node has been carried out. The vibration spectrum of the reductor is obtained, the error of the rotating elements included in the kinematic chain of the reductor is determined. The impact of the return mechanism reductor elements on overall vibroactivity and their evaluation methods are discussed. The dynamics of vibration excitation of the gear transmission and its causes are given.

**Оценка виброактивности редуктора поворотного механизма поворотных кранов**

**Габриел Мерабишвили, Гиორგი Джапаридзе, Тенгиз Чхаидзе**

**Резюме**

В статье исследуются основные узлы поворотного механизма машин и установок повышенной опасности, в частности, поворотных кранов, с целью повышения их безопасной эксплуатации. Исследован один из важнейших узлов – редуктор, получен спектр вибрации корпуса редуктора, определена погрешность вращающихся элементов, входящих кинематической цепи редуктора. В статье также рассмотрено влияние элементов поворотного механизма редуктора на общую виброактивность крана и методы их оценки. Изучена динамика возбуждения вибрации зубчатой передачи редуктора и причины их появления.

## საბრუნო ამწეების დინამიკური მოდელირება

გიორგი ჯაფარიძე\*, გაბრიელ მერაბიშვილი\*\*

\*პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: [aandg2001@inbox.ru](mailto:aandg2001@inbox.ru);

\*\*დოქტორანტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: [gabrielmerabishvili@gmail.com](mailto:gabrielmerabishvili@gmail.com)

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, მ. კოსტავას ქ. №71, 0175 თბილისი, საქართველო)

**რეზიუმე:** შემუშავებულია საბრუნო ამწის დინამიკური მოდელის სქემა, განხილულია საბრუნო ამწე, რომლის ისრის დახრის კუთხე რეგულირდება ბაგირით, რომელიც დახვეულია დოლზე, ამასთან ამწის კორპუსი ბრუნავს მოსაბრუნებელი მექანიზმის ძრავით. დინამიკური მოდელისათვის მიღებული საანგარიშო ფორმულების გამარტივებისათვის მიღებულია მთელი რიგი დაშვებები: ამწე ჩათვლილია როგორც მყარი სხეული, ხოლო ასაწევი ტვირთი, როგორც წერტილოვანი მასა, რომელთა გათვალისწინებით მიღებულია დინამიკური მოდელის შესაბამისი გამარტივებული საანგარიშო ფორმულები.

**საკვანძო სიტყვები:** საბრუნო ამწე, მოსაბრუნებელი მექანიზმი, დინამიკური მოდელი, უსაფრთხოება, ტირთამწევი მექანიზმი.

### შესავალი

2012 წლის საქართველოს მთავრობის მიერ მიღებული კანონი „პროდუქციის უსაფრთხოების და თავისუფალი მიმოქცევის კოდექსი“-ს მიზანს წარმოადგენს, ადამიანის სიცოცხლის, ჯანმრთელობის უსაფრთხოების და გარემოს დაცვა, რისთვისაც შემუშავებული იქნა მომეტებული საფრთხის შემცველი ობიექტების უსაფრთხოდ ექსპლუატაციის წესები. თანამედროვე სამრეწველო საწარმო წარმოადგენელია ტვირთამწე მანქანის გამოყენების გარეშე, რომელიც მიეკუთვნება მომეტებული საფრთხის შემცველი ობიექტების რიცხვს [7].

ტვირთამწევი მანქანების ერთ-ერთ ჯგუფს წარმოადგენს საბრუნო ამწეები. თანამედროვე საბრუნო ამწეების განვითარების ძირითადი მიმართულებებია: ტვირთამწეობის და სიჩქარეების მომატება, რაც იწვევს ამწეებში დინამიკური პროცესების გააქტიურებას და გარკვეულ გავლენას ახდენს ამწეების მდგრადობაზე.

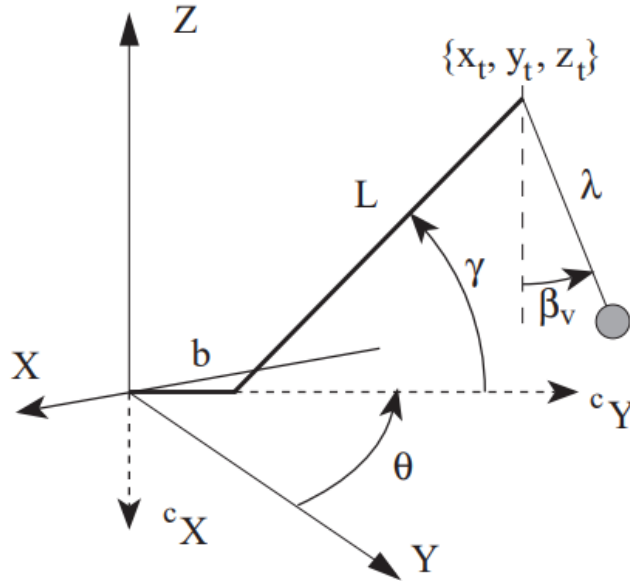
### ძირითადი ნაწილი

განვიხილოთ საბრუნო ამწე, გამოსახული ნახ.1-ზე, სადაც ისრის დახრის კუთხე  $\chi$  რეგულირდება ბაგირით, იგი დახვეულია დოლზე, ხოლო ამწის კორპუსი შესაძლებელია მოვარდუნოთ  $Z$  ღერძის გასწვრივ მოსაბრუნებელი მექანიზმების ძრავით ისრის ღერძი შემობრუნების შემდეგ შეიძლება არ დაემთხვეს მის საწყის მდებარეობას.

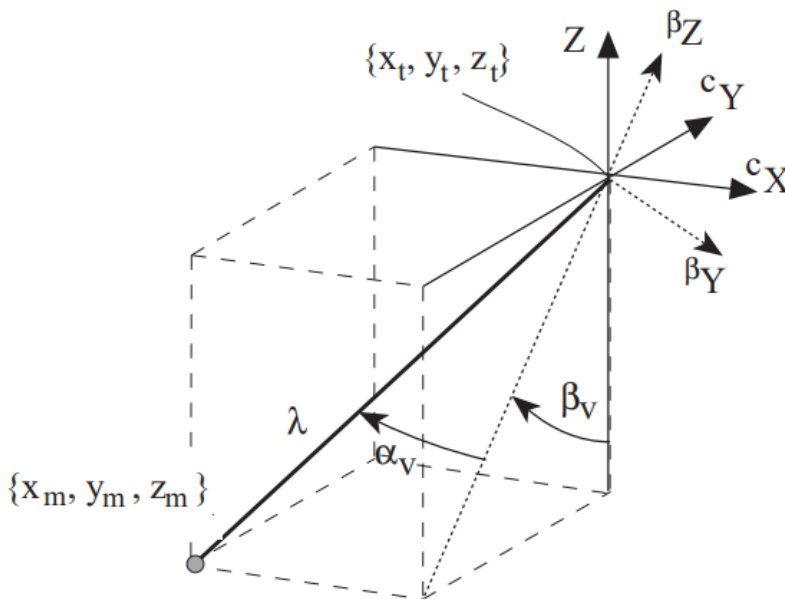
საანგარიშო ფორმულების გამარტივების მიზნით, ამწე ჩავთვალოთ როგორც მყარი სხეული, ხოლო ასაწევი ტვირთი წერტილოვანი მასა. შემდეგ უგულებელვყოთ მექანიზმში მგრები მომენტები და ხახუნი. ყველაზე მნიშვნელოვანი დაშვება მდგომარეობს ამწეზე დატვირთვის დინამიკური გავლენის არ არსებობაში. ეს შესაძლებელია გამართლებული იქნეს ხისტი ამწისათვის, თუმცა დახრილი ამწისათვის აუცილებელია გავითვალისწინოთ

როგორ მოქმედებს დატვირთვები ამწეზე. ასეთი დაშვებების შედეგს წარმოადგენს ის, რომ მიმდინარე პროცესი შესაძლებელია აღწერილი იქნეს სამი მოდელით: პირველი ისრისათვის, მეორე - ბრუნვის დინამიკისათვის და მესამე როგორც მოდელი ორ განზომილებიანი ქანქარა, რომელიც აღიძვრება დაკიდების წერტილის აჩქარებით.

ჩვენს მიერ განიხილება მბრუნავი ამწე, რომლის შემავალი პარამეტრებია ამწის მობრუნების კუთხე  $\theta$  და ისრის დახრის კუთხე  $\chi$ . იმისათვის, რომ მივაღწიოთ სასურველ შედეგს, განვსაზღვროთ კუთხეები ტვირთის მობრუნების და ამწეზე დამაგრებული ჩარჩოსი, აღნიშნული ნახ.1-ის მიხედვით შესაბამისად  $cX$  და  $cY$ , რომელიც ბრუნავს ამწესთან ერთად, ისე რომ ამწის ისარი ყოველთვის ემთხვევა  $cY$  - ღერძს. ყოველივე ეს გვაძლევს დინამიკურ განტოლებას



ა)



ბ)

ნახ. 1. საბრუნო ამწის მოდელი.



ა-ზე  $\theta$  და  $\chi$  განსაზღვრავს კუთხეებია,  $L$  - ისრის სიგრძე და სახსრის ძვრა  $b$ .

ბ-ზე მოცემულია ტვირთის დაკიდების წერტილი, რომელიც განსაზღვრავს ტვირთის გადახრის კუთხეებს  $\alpha_v$  და  $\beta_v$ ;  $\lambda$  არის ბაგირის სიგრძე.

$$\begin{aligned} \lambda \ddot{\alpha}_v = & -g \sin \alpha_v \cos \beta_v - 2\lambda \dot{\alpha}_v - \lambda \dot{\beta}_v^2 \sin \alpha_v \cos \alpha_v + L \sin \alpha_v \sin(\gamma - \beta_v) \dot{\gamma}^2 - \\ & - (2\lambda \sin \beta_v + 2\lambda \dot{\beta}_v \cos^2 \alpha_v \cos \beta_v) \dot{\theta} + 2L \dot{\chi} \dot{\theta} \cos \alpha \sin \gamma + (\lambda \cos \alpha_v \cos^2 \beta_v - \\ & - (b + L \cos \gamma) \sin \beta_v) \dot{\theta}^2 \sin \alpha_v - L \sin \alpha_v \cos(\gamma - \beta_v) \dot{\gamma} - (\lambda \sin \beta_v + \\ & + (b + L \cos \gamma) \cos \alpha_v) \ddot{\theta} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \lambda \ddot{\beta}_v \cos \alpha_v = & -g \sin \beta_v + 2\lambda \dot{\alpha}_v \dot{\beta}_v \sin \alpha_v + L \cos(\gamma - \beta_v) \dot{\gamma}^2 - 2\lambda \dot{\beta}_v \cos \alpha_v + \\ & + 2(\lambda \dot{\alpha}_v \cos \alpha_v + \dot{\lambda} \sin \alpha_v) \dot{\theta} \cos \beta_v + (\lambda \cos \alpha_v \sin \beta_v + b + L \cos \gamma) \dot{\theta}^2 \cos \beta_v + \\ & + L \sin(\gamma - \beta_v) \dot{\gamma} + \lambda \sin \alpha_v \cos \beta_v \ddot{\theta} \end{aligned} \quad (2)$$

მიღებული (1) და (2) განტოლებები რთულია გამოყენების მიზნით, ამიტომ მიზანშეწონილია საანგარიშო ფორმულების გამარტივება. აღსანიშნავია, რომ (1) და (2) ფორმულები სამართლიანია მობრუნების  $\alpha_v$  და  $\beta_v$  კუთხეების ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის. ეს არის განსაკუთრებით საინტერესო ექსტრემალური მდგომარეობისას, როცა კუთხეების მნიშვნელობა აღწევს  $10^0$ -ს.

თუმცა ეს შემთხვევა ჩვეულებრივ რეჟიმში იშვიათობაა, თუკი კუთხეების მნიშვნელობები გადააჭარბებს  $5^0$ -ს, რხევების აღმოსაფხვრელად გამოიყენება ეფექტური სარეგულირებელი საშუალება, ე.ი ეს მოვლენა შეგვიძლია ჩავთვალოთ როგორც უსაფრთხო.

მივიღოთ, რომ ტვირთის მობრუნების კუთხეების  $\alpha_v$  და  $\beta_v$  მნიშვნელობები არის საკმარისად მცირე და ამ კუთხეების სინუსები და კოსინუსები (1) განტოლებაში შეგვიძლია ამოვიღოთ, რაც საშუალებას მოგვცემს განტოლებასი მივიღოთ გამარტივებული სახით:

$$\ddot{\alpha}_v = -\omega^2 \alpha_v - L_1 \dot{\theta} - L_\alpha \ddot{\theta} - 2\lambda \dot{\alpha}_v / \lambda + \beta_v \ddot{\theta} \quad (3)$$

$$\ddot{\beta}_v = -\omega_\beta^2 \beta_v + L_\beta \dot{\gamma} + L_\alpha \dot{\theta}^2 + L_2 \dot{\theta} + L_3 \dot{\gamma}^2 - 2 \frac{\lambda \dot{\beta}_v}{\lambda} + (\ddot{\theta} + 2\dot{\alpha}_v \dot{\beta}_v) \alpha_v \quad (4)$$

### დასკვნები

1. ნაშრომში მოცემულია საბრუნო ამწის დინამიკური მოდელის სქემა. საბრუნო ამწის ისრის დახრის კუთხე რეგულირდება ბაგირით, დახვეული დოლზე, ამასთან ამწის კორპუსი ბრუნავს მოსაბრუნებელი მექანიზმის ძრავით.

2. დინამიკური მოდელისათვის მიღებულია საანგარიშო ფორმულების პრაქტიკაში გამოყენება რთულია, რისთვისაც შემუშავებულია მიღებული ფორმულების გამარტივებისათვის მთელი რიგი დაშვებები, შედეგად მიღებულია დინამიკური მოდელის გამარტივებული საანგარიშო ფორმულები.

გამოყენებული წყაროები და ლიტერატურა

1. A. Cibicik, E. Pedersen, and Egeland. Dynamics of luffing motion of flexible knuckle boom crane actuated by hydraulic cylinders. Mechanism Machine Theory, 143:103616, 2020. Doi: 10.1016/j.mechmattheory.2019.103616. 202 M. COLIC, N. PERVAN, M. DELIC, A.J. MUMINOVIC, S. ODZAK. V. HADZIABDIC;
2. D. Cekus and P. Kwiaton. Effect of the rope system deformation on the working cycle of the mobile crane during interaction of wind pressure. Mechanism and Machine Theory, 153:104011, 2020, doi: 10.1016/ j.mechmachtheory. 2020.104011. С.А. Казак. Динамика мостовых кранов. М.: Машиностроение. 1968. 332 с.;
3. М. С. Комаров. Динамика механизмов и машин. М.: Машиностроение. 1968. 332 с.;
4. А. Н. Голубенцев. Интегральные методы в динамике. Киев.: Техника. 1967 – 350 с.;
5. И.И. Вульфсон. Колебания машин. Л.: Машиностроение. 1990. 309 с.;
6. Н. А. Лобов. Динамика грузоподъемных кранов. М.: Машиностроение, 1987, 157 с.;
7. გ. ჯაფარიძე, ა. მეტრეველი, გ. მერაბიშვილი „ხიდური ამწეების გადასაადგილებელი მექანიზმების დინამიკური კვლევა“, თბილისი, სტუ, „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“ N3(55) 2022. გვ. 19-28.

**Dynamic modelling of rotary cranes**  
**Giorgi Jafaridze, Gabriel Merabishvili**

**Abstract**

The scheme of dynamic modelling of rotary crane has been established. The rotary crane is discussed. Its arrow's angle of inclination is regulated by the rope, which is wound on the drum. At the same time, the crane body rotates with the motor of the turning mechanism. The calculating formulas for the dynamic modelling are difficult and to simplify them, a number of assumptions have been made: the crane is considered as a solid object, the weight is considered as a point mass, as a result the simplified calculating formulas corresponding to the dynamic model have been obtained.

**Динамическое моделирование поворотными кранами**

**გიორგი ჯაფარიძე, გაბრიელ მერაბიშვილი**

**Резюме**

Разработана схема динамической модели поворотного крана, рассмотрен поворотный кран, угол наклона стрелы которого регулируется тросом, намотанным на барабане, а корпус крана вращается мотором поворотного механизма. Полученные расчетные формулы динамической модели довольно сложные и для их упрощения принят ряд допущений—кран рассмотрен, как твердое тело, а поднимаемый груз как точечная масса. С учетом этих допущений получены упрощенные расчетные формулы динамической модели.

UDC 513.21

# Creation of structures (walls) in the computer graphics program REVIT

**Natela Javakhishvili\*, Tea Baramashvili\*\*, Elene Khvistani\*\*\***

\*Associate Professor, Georgian Technical University, E-mail: [n.javakhishvili@gtu.ge](mailto:n.javakhishvili@gtu.ge);

\*\* Professor, Georgian Technical University, E-mail: [baramashvili.t@gtu.ge](mailto:baramashvili.t@gtu.ge);

\*\*\*Student, Georgian Technical University, E-mail: [kvistani.elene24@gtu.ge](mailto:kvistani.elene24@gtu.ge)

**(Georgian Technical University, №71, M. Kostava str., 0175, Tbilisi, Georgia)**

**Abstract:** *The CAD program Revit aims to study the basic principles of work and to understand the process of constructing information modeling. Three-dimensional modeling of building parts is performed by Revit. It is possible to work jointly on the project. Engineers, designers, architects and representatives of bordering professions work on one project, therefore, the program is convenient for the simultaneous work of several specialists within the framework of one project. After creating the axis grid and levels in the project development process, it is important to create the walls. The article discusses the creation of walls using the computer program Revit. We can create an architectural or load-bearing wall, choosing an architectural wall that contains both load-bearing elements and architectural.*

**Keywords:** wall, architecture, basic relation, parameter line, axis, Chain button, wall thickness.

## Introduction

Revit is the BIM (Building Information Modeling) information modeling principle.

A digital prototype of the object would be created. The object consists from structures. St s consist of materials, materials contain visual properties, physical properties, design characteristics, economic characteristics. According to BIM, a digital prototype is a three-dimensional model that contains information about the object to be used.

If the wall according to another program contains only visual properties, in Revit we can enter all the information about the object: what material the wall is made of, all the physical properties of the material, the area, and here we can get all the necessary data to work on this object as a real construction.

## Basic part

After defining the grid of axes and levels, we start creating the walls. We would create an architectural or load-bearing wall, but since we are only studying modeling and not calculating, let's choose an architectural wall that contains both load-bearing elements and architectural.

There are many types of walls in Revit. We enter the Architecture tab, select Wall, its logo is (WA) - the wall is architectural. We are working on the base wall that the program offers. Let's choose a multi-layered wall (Stacked Wall Exterior-Brick over Block w Metal Stud), on which

we will visibly display the possibilities (Fig. 1). We draw walls by clicking directly, but before that we need to create elevations.

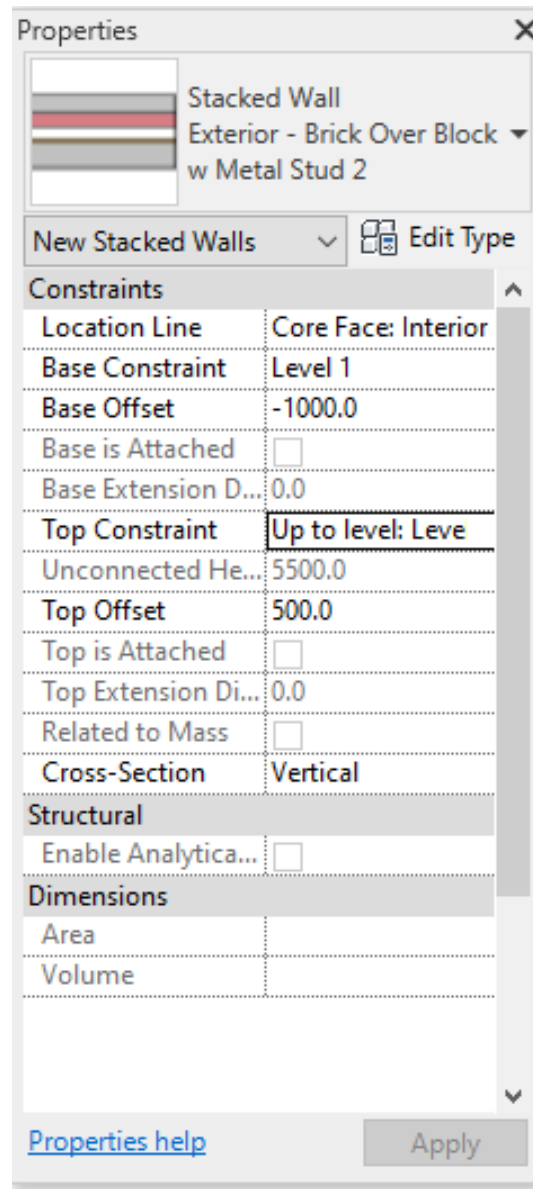


Fig. 1.

8000 is indicated in the parameters line, this means that the wall starts from Level 1 (the first floor (which can be seen in the Properties table) and its height rises to the top (Heigh) of 8000 mm. It is much more convenient not to specify a fictitious height, but to bind to some level, and Later, if we change the distance between the levels, the height of the wall will also change. In the parameters line, choose Level 2, the numerical value (8000) is no longer active in Properties. Insert the Top Contain link, it will be Up to Level 2. In the Location Line parameters line, choose the axis of the supporting part of the wall. It would be:

1. Middle axis of the wall (Wall Centerline);
2. In the middle of the load-bearing layer of the wall (Core Centerline);
3. On the axis with an external surface (Finish Face: Exterior);
4. On the axis with an inner surface (Finish Face: Interior);

5. Outer surface of the load-bearing layer (Core Face: Exterior);

6. Load-bearing layer with inner surface (Core Face: Interior).

If the load-bearing layer of the wall is on the other side, we use the Space key. If you turn on the high level of detailing (on the view control panel) – Fine, all layers of the wall will be displayed (Fig. 2).



Fig. 2.

On the Chain option in the parameters line, the flag is removed if we draw one wall and we can start drawing the next wall from another point. If the Chain option is checked, then we draw the walls in sequence, that is, the end of one wall is the beginning of the next wall.

Location Line (parameters line) – the next option is Offset – the offset relative to the construction axis. With this distance we specify, say 1000 mm. The next option is Radius. If the flag is marked and we specify the size of the radius, the walls will be connected by curved lines (arc radius). If the size of the specified radius does not meet our condition, the table will indicate an error and we will change the size of the radius so that the arc fits between the walls. Depending on the Draw tab, we can get different outlines of the walls (Fig. 3).

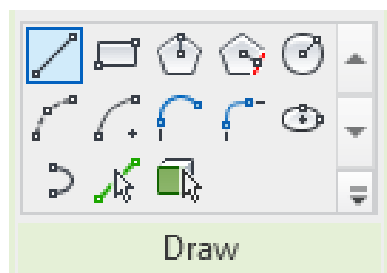


Fig. 3

Rectilinear, rectangular, polygonal – by specifying the number of sides in the parameters line, by the shape of an inscribed in circumference polygon or a circumscribed in circumference polygon, circular, by arc (start point, end point, radius) by the shape of a circle, with an arc – by connecting two sections of the wall..

If it is necessary to connect two walls, we select – Fillet Arc. Then we click on the walls in turn. If in this case the layers of the arc and the wall do not coincide, we will change the order of marking the walls. Pick Line – the wall will be built on any axis. Pick Faces wall is built on any face.

Partail – connecting two walls with an ellipse curve.

Ellipse – an ellipse-shaped wall (Fig. 4).

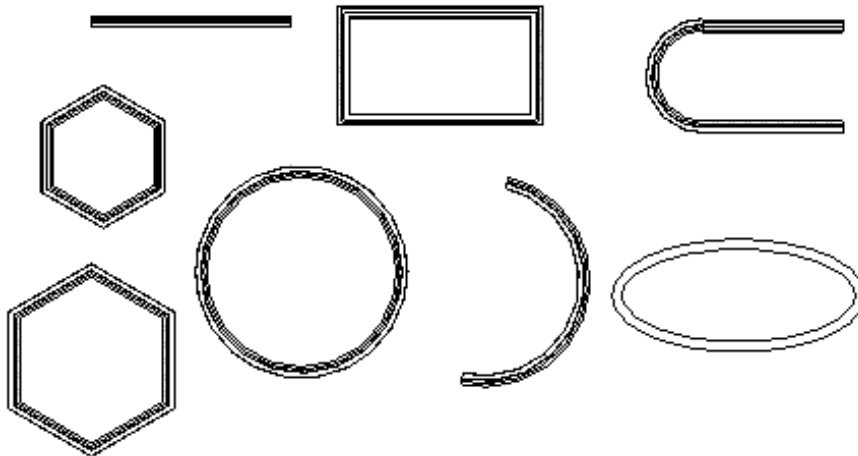


Fig. 4.

How to remove the walls? If all the walls are of the same type, right-click on one of the walls, a table will appear, select all elements – Select All Instances – Visible in View and all the walls of the selected type will be marked. Click Delete (red cross) on the Modify panel.

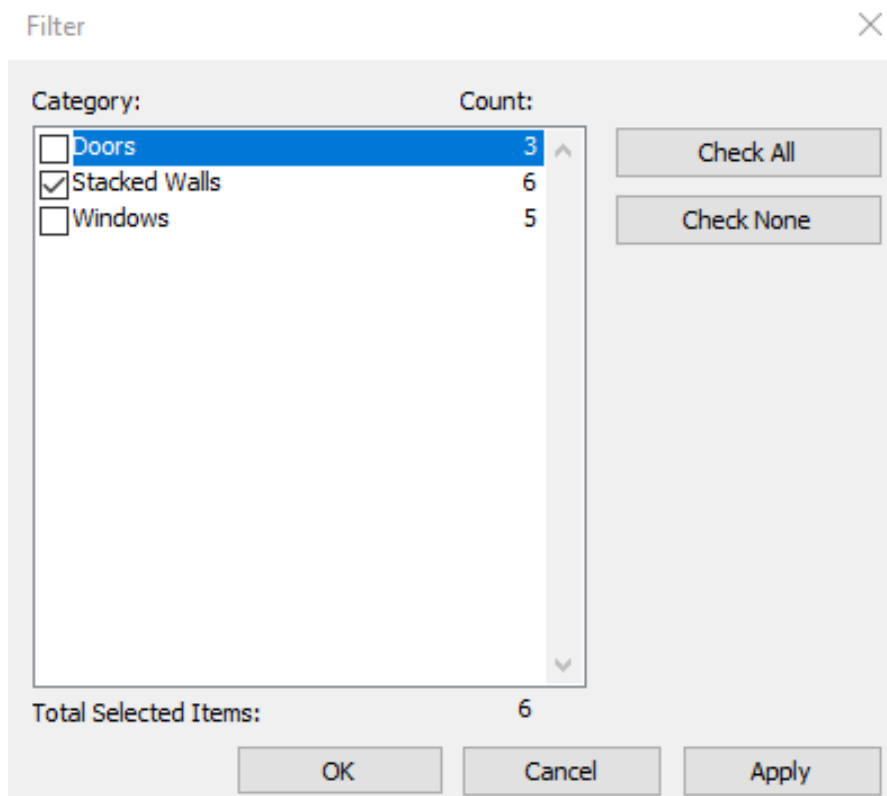


Fig. 5.

If the walls are of different types, in this case we mark all the walls and all the elements on the drawing, except for the rings indicating the facades. The Filter tool will be activated, and a table will appear showing all the elements on the drawing. Mark the elements to be deleted with a flag (if we delete all the elements, click Check All – mark all and OK) and Modify Check None – the mark will be removed. The Delete tool (red cross) on the panel will remove the mentioned elements (Fig. 5).

We will select the wall – Arch. – Wall – Stacked Wall In Exterior Properties Edit Type, Type Properties we see the main parameters of the wall. Wall width (Thickness) is not editable, it should be considered by layers. We enter the structure of the wall:

Core Boundary - Above –upper layer;

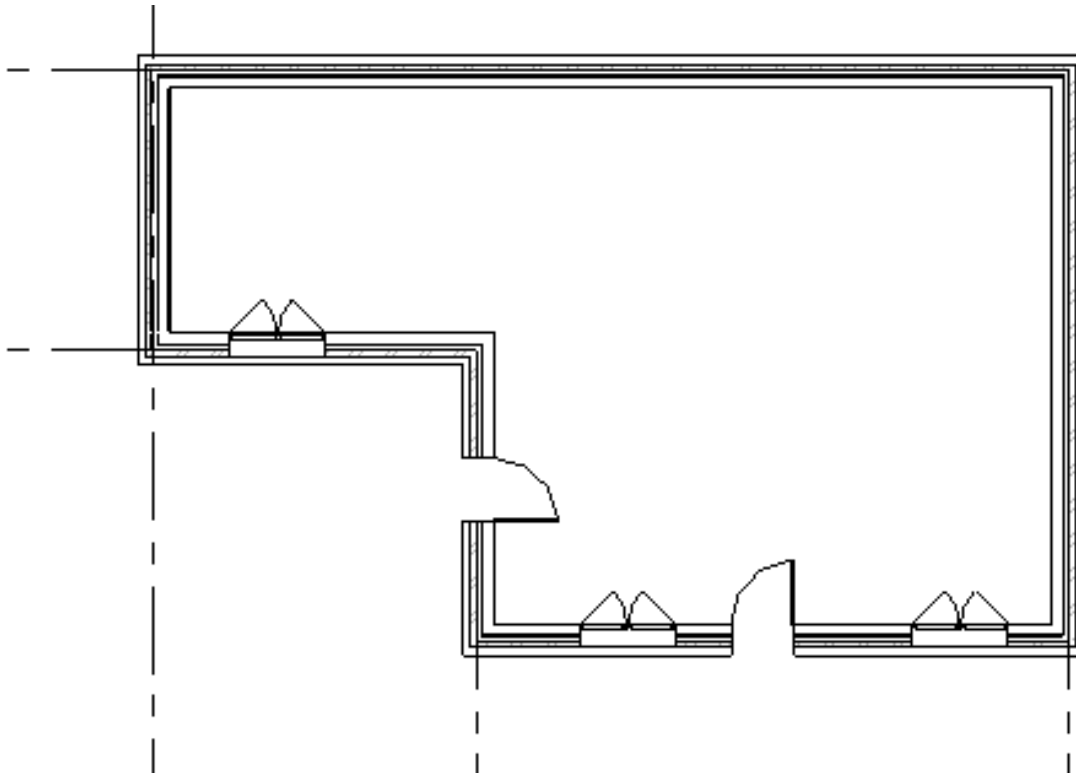
Below – lower layer;

The load-bearing layer is Structure;

Layers can be inserted and added with Insert;

Up – upwrd, Down – downward;

Draw the walls according to the project (Fig. 6).



*Fig. 6.*

### **Conclusion**

In Revit, it is possible to save the material and the structure at the same time, at the same time we move to its construction purpose, that is, if we start modeling in AutoCAD from different stages, in Revit we build the building from the beginning to the end and indicate not only the object, but also its visual properties, i.e. It is possible to develop the project in more detail.

In Revit, there are ready-made elements (for example, walls, windows, etc.) and we assemble it. The assembly starts from the architectural and construction solution.

### Applied sources and references

1. „CAD program Revit“ – Natela Javakhishvili, Tea Baramashvili, Ketevan Chkuaseli; Publishing House „Technical University“; Central Library of Georgian Technical University; ISBN 978-9941-28-999-6; UDC 513.21; Tbilisi, 2023.;
2. Revit Architect – Text book; Central Library of Georgian Technical University; CD – 7245;
3. Revit Architect – Working notebook; Central Library of Georgian Technical University; CD – 7246.

### კომპიუტერულ გრაფიკულ პროგრამა Revit-ში კონსტრუქციების (კედლების) შექმნა

ნათელა ჯავახიშვილი, თეა ბარამაშვილი, ელენე ხვისტიანი  
რეზიუმე

კომპიუტერული პროგრამა Revit-ის მიზანია მუშაობის ძირითადი პრინციპების შესწავლა და შენობათა ინფორმაციული მოდელირების პროცესის აღქმა. Revit-ის საშუალებით ხდება შენობათა ნაწილების სამგანზომილებიანი მოდელირება. პროექტზე შესაძლებელია ერთობლივი მუშაობა. ერთ პროექტზე მუშაობენ ინჟინრები, დამპროექტებლები, დიზაინერები, არქიტექტორები და მოსაზღვრე პროფესიების წარმომადგენლები, მაშასადამე, პროგრამა ხელსაყრელია რამდენიმე სპეციალისტის ერთდროულად მუშაობისთვის ერთი პროექტის ჩარჩოში. პროექტის დამუშავების პროცესში ღერძების ბადის და დონეების შექმნის შემდეგ, მნიშვნელოვანია კედლების შექმნა. სტატიაში განხილულია კედლების შექმნა კომპიუტერული პროგრამის Revit-ის გამოყენებით. ჩვენ შეგვიძლია შევქმნათ არქიტექტურული ან მზიდო კედელი, ვირჩევთ არქიტექტურულ კედელს, რომელიც შეიცავს როგორც მზიდ ელემენტებს, ასევე არქიტექტურულს.

### Создание конструкций (стен) в компьютерной графической программе Revit

Джавахишвили Натела, Барамашвили Теа, Елене Хвистани  
Резюме

В статье рассмотрен пример построения стен с помощью компьютерной графической программы Revit. Дается проектирование базовой стены для лучшего понимания базового моделирования.

Выбрана стена архитектурная, которая содержит как несущие, так и архитектурные элементы. Используя концепцию – сборка, для создания модели здания, уже готовые элементы, такие как стена, сочетаются с архитектурными и конструктивными решениями.



უაკ 513.21

## კომპიუტერულ გრაფიკულ პროგრამა Revit-ში ღერძების ბადის შექმნა

ნანა ნოზაძე\*, ნათელა ჯავახიშვილი\*\*, ქეთევან ჭკუასელი\*\*\*,  
ლელა ცხადაია\*\*\*\*

\*ასოცირებული პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,  
E-mail: n.nozadze@gtu.ge;

\*\*ასოცირებული პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,  
E-mail: n.javakhishvili@gtu.ge;

\*\*\*პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: qetino.chkuaseli@gmail.com;

\*\*\*\*სტუდენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: tskhadaia.lele@gtu.ge

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, კოსტავას ქ. №71, 0175, თბილისი,  
საქართველო)

**რეზიუმე:** სტატიაში განხილულია კომპიუტერული გრაფიკული პროგრამა Revit-ში ღერძების ბადის შექმნა. ეს პროგრამული უზრუნველყოფა არის BIM-ი, რომელიც საშუალებას აძლევს არქიტექტორებს და მშენებლებს დააგეგმონ შენობები და მისი კომპონენტები. Revit-ი გვეხმარება სამშენებლო პროექტის შექმნის ყველა ეტაპზე, პროექტირებიდან მშენებლობამდე. სტატიაში განხილულია Revit-ში ღერძების აგების ძირითადი პრინციპები, ვინაიდან მოდელის აგებისას, პირველ რიგში შეხება გვაქვს ღერძების და დონეების აგებასთან.

**საკვანძო სიტყვები:** ჰორიზონტალური ღერძი, ვერტიკალური ღერძი, ფუძე, მარკირება, ბმა, მასივი.

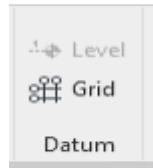
### შესავალი

კომპიუტერული გრაფიკული პროგრამა Revit-ი Autodesk-ის პროგრამული პროდუქტია. იგი დაფუძნებულია შენობათა ინფორმაციული მოდელირების ტექნოლოგიაზე. Revit-ი იძლევა როგორც ორგანოზომილებიანი ნახაზების, ასევე სამგანზომილებიანი ობიექტების შექმნის შესაძლებლობას. პროგრამა ხელსაყრელია რამდენიმე სპეციალისტის ერთდროულად მუშაობისათვის ერთი პროექტის ჩარჩოში, ამავე დროს ყველა მონაცემი და ცვლილება ინახება ერთ ცენტრალიზებულ ფაილში, რაც ამცირებს დროის ხარჯებს და აუმჯობესებს კომუნიკაციას დამპროექტებლებს შორის. Revit-ი იძლევა დაწვრილებითი სპეციფიკაციების შექმნის შესაძლებლობას პროექტის ყოველი მოდელისათვის. მას აქვს ვიზუალიზაციის შექმნის შესაძლებლობა. Revit-ში ვაგებთ შენობას საწყისიდან ბოლომდე, ვუთითებთ არა მხოლოდ ობიექტს, არამედ მის თვისებებს, ვიზუალურ თვისებებს, ე.ი. უფრო დეტალურად არის შესაძლებელი პროექტის დამუშავება, რათა მაქსიმალურად იქნას მიახლოებული შენობის რეალურ გამოსახულებასთან.

### ძირითადი ნაწილი

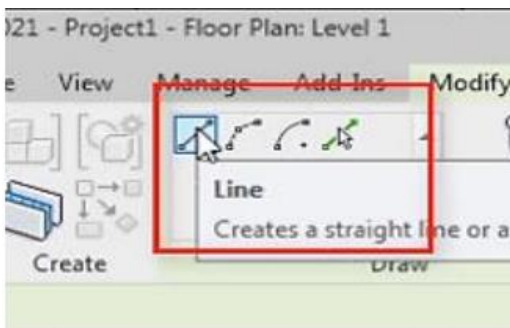
შენობის პროექტის შექმნის საფუძველს წარმოადგენს ღერძები. განვიხილოთ რა სახის ღერძების შექმნის შესაძლებლობას გვთავაზობს Revit-ი.

ღერძი შედგება ორი ნაწილისაგან, თვითონ ღერძისაგან და მარჯის აღმნიშვნელისაგან. ხელსაწყო ღერძი მდებარეობს ჩანართში - არქიტექტურა (Architecture), პანელი - ფუძე (Datum), ფუნქცია - ღერძი (Grid). (სურ.1)

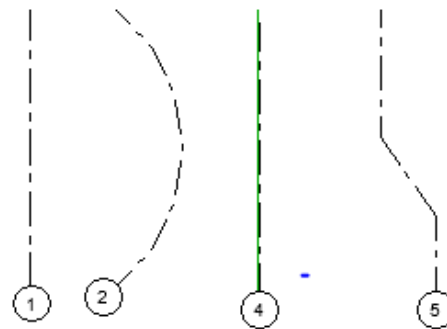


სურ. 1.

ბრძანება ღერძის (Grid)-ის შერჩევის შემდეგ ლენტი (Ribbon-ი) იცვლება და სურ. 2-ზე ნაჩვენები პრიმიტივების გამოძახებით ვირჩევთ ღერძების გამოხაზვის სხვადასხვა ვარიანტს:



სურ. 2.



სურ. 3.

- 1) სწორხაზოვანი ღერძის ასაგებად თავსებად საშუალებით მიუთითებთ ღერძის საწყის და ბოლო წერტილს;
- 2) რკალისებური ღერძის აგება ხდება რკალის საწყისი და ბოლო წერტილის მითითებით და რკალის რადიუსის ჩვენებით;
- 3) ღერძის აგება ხაზის მიხედვით - მაგალითად თუ გვაქვს AutoCAD-ში შესრულებული რაიმე პროექტის, ღერძების ბადე შესაძლებელია აიგოს მხოლოდ პროექტის ხაზებზე გადატარებით;
- 4) მრავალსეგმენტური ღერძის ბრძანების შერჩევის შემთხვევაში Revit-ი გადადის ესკიზის რეჟიმში, სამუშაო არე ფერმქრთალდება, ვხაზავთ მრავალსეგმენტიან ღერძს სწორხაზოვანი ან რკალისებური ფორმის. უნდა აღინიშნოს, რომ Esc კლავიშით რეჟიმი არ იცვლება, მხოლოდ რეჟიმის რედაქტირების - edit sketch-ის გამოყენებით ხდება საწყის რეჟიმზე დაბრუნება.

პარამეტრებიდან, რაც ამ ღერძებს აქვთ საერთო ეს არის მათი მარჯირება, რომლის ნუმერაცია იზრდება აგებული ღერძების მიმდევრობის მიხედვით. (სურ. 3)

განვიხილოთ ღერძების შექმნის სხვადასხვა ვარიანტი. ვითვალისწინებთ, რომ ღერძები უნდა შეიქმნას მოდელის სივრცეში.

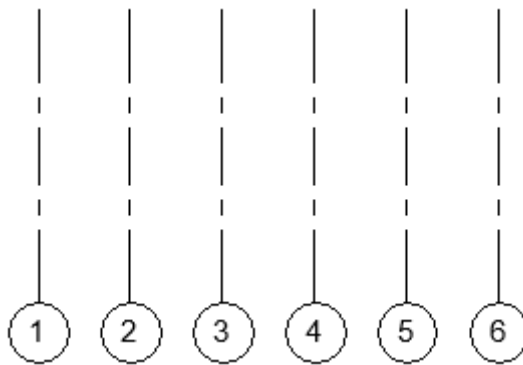
ხშირად არის საჭიროება იმისა, რომ ერთროულად შეიქმნას ერთმანეთისაგან ტოლი მანძილით დაშორებული ღერძები. თავდაპირველად ვატარებთ ვერტიკალურ ღერძს. ჩანართი არქიტექტურა (Architecture), პანელი - ფუძე (Datum), ფუნქცია - ღერძი (Grid). საწყის ბრძანებად გამოვიყენოთ ხელსაწყო - მასივი (Array), თუ ცნობილია ღერძების

რაოდენობა პარამეტრების სტრიქონში უჯრაში Group and Associate მოვშალოთ მონიშვნა; უჯრაში Number ჩავწეროთ ღერძების რაოდენობა ჩვენს შემთხვევაში 6, და მივუთითოდ, რომ ვირჩევთ მანძილს ორ ღერძს შორის Move To2 nd, არ ვუთითებთ საერთო სიგრძეს Last. (სურ.4)



სურ. 4.

შემდეგ საჭიროა მივუთითოთ ღერძებს შორის მანძილი, რისთვისაც მოვნიშნავთ საბაზო წერტილს ღერძზე, კურსორის გადაადგილება განსაზღვრავს ღერძების განლაგების მიმართულებას, კლავიატურიდან შეგვყავს მანძილი, ჩვენს შემთხვევაში 6000, ბოლოს ვასრულებთ მოქმედებას Enter-ით. (სურ. 5)

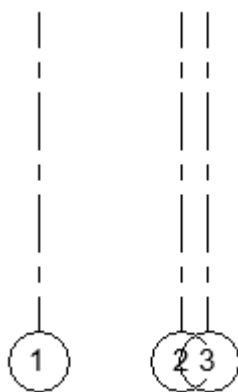


სურ. 5.

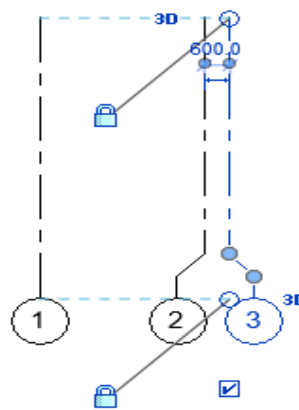
თუ ღერძებს შორის მანძილი განსხვავებულია, ზემოდ აღწერილი მეთოდით შევქმნით ღერძს, მოვნიშნავთ ,შევირჩევთ ბრძანება Copsy-ს, გავააქტიურებთ Multiple, რაც მრავალჯერადს ნიშნავს, კურსორით მივუთითებთ ღერძების გავრცელების მიმართულებს, მათ შორის მანძილი კი კლავიატურიდან შეგვყავს. ბოლოს დილაკი Enter.

თუ ღერძებს შორის მანძილი მცირეა, შეიძლება მოხდეს მარკირების რგოლების გადაფარვა. (სურ. 6) ამ შემთხვევაში ღერძის მონიშვნის შემდეგ დავკლიკავთ ტეხილზე.

გაჩნდება მუხლები, რომელთა მართვა შესაძლებელია პატარა ბურთულების საშუალებით (სურ. 7).

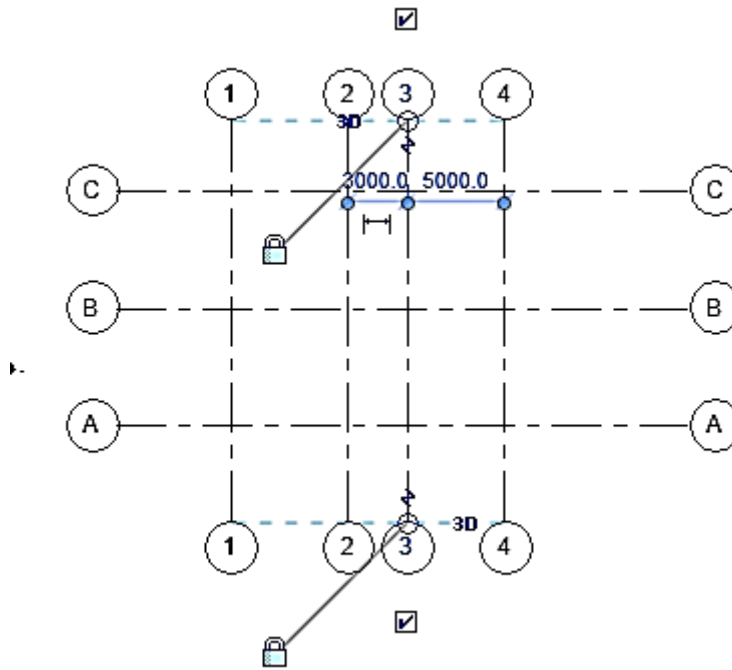


სურ. 6.



სურ. 7.

ვერტიკალური ღერძების შექმნის შემდეგ გამოვხაზოთ ჰორიზონტალური ღერძები. ჩანართი არქიტექტურა (Architecture), პანელი – ფუძე (Datum), ფუნქცია – ღერძი (Grid) და გავატაროთ რამდენი ჰორიზონტალური ღერძიც გვჭირდება პროექტის მიხედვით. ყურადღება მისაქცევია, რომ ღერძების ნუმერაცია გრძელდება მიმდევრობით, ბოლოს მონიშნული ღერძის მიხედვით. თუ ამ ღერძზე თავის მარცხენა ღერძს დავაჭერთ ორჯერ შესაძლებელია სასურველი ღერძის ნუმერაციის შეცვლა კლავიატურიდან. აქვე ავღნიშნოთ, ვერტიკალური ღერძები ინომრება მარცხნიდან მარჯვნივ ციფრული ნუმერაციით, ხოლო ჰორიზონტალური ღერძები – ქვემოდან ზევით ალფავიტის ასოებით, პროგრამა თვითონ ითვალისწინებს ასოების მიმდევრობას. გრძივი და განივი ღერძები უნდა იყვნენ ურთიერთკავშირში. იმისათვის რომ მოხდეს ყველა ღერძის ერთდროულად გადატანა, ან დამოკლება როგორც ვხედავთ ღერძის ხაზის ბოლოს არის პატარა რგოლი, (ეს რგოლი ღერძის ორივე ბოლოზეა) თუ თავის მარცხენა ღერძს გადავადგილებთ ამ ღერძს, დანარჩენი ღერძები უძრავად რჩებიან, იმისთვის რომ შეგვეძლოს ყველა ღერძის გადაადგილება ერთდროულად, თავის მარცხენა ღერძის საშუალებით მიგვაქვს ეს რგოლი დანარჩენი ღერძების პირობითი ბმის ხაზამდე. ამის შემდეგ გავუშვებთ ღერძს და შესაძლებელი ხდება ყველა ღერძის ერთდროულად გადაადგილება. (სურ. 8)



სურ. 8.

ახლა ვნახოთ როგორ ხდება ღერძის მეორე მხარის მარკირება. მოვნიშნოთ ღერძი, ღერძის იმ მხარეს, სადაც არის მარკირება პატარა მართკუთხედში არის ალამი, მეორე მხარეს მარკირება არ არის, თუ იმ პატარა მართკუთხედში ჩავსვამთ ალამს გაჩნდება წრე და მასში ღერძის აღმნიშვნელი ნიშანი, იქნება ეს რიცხვი (თუ ვერტიკალური ღერძია ან ასო – თუ ეს ჰორიზონტალური ღერძია).

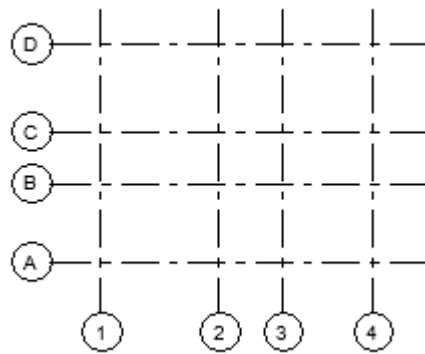
თუ გვსურს ავტომატურად ყველა ღერძის ერთდროული მარკირება, საჭიროა მოვნიშნოთ ღერძები, Properties ცხრილში ავირჩიოთ ღერძის ტიპის შეცვლა (Edit Type), ცხრილში - ტიპის თვისებები (Type Properties). ამ ცხრილში ვირჩევთ End 1 (ხაზის პირველ ბოლოს) ან End 2 (ხაზის მეორე ბოლოს) გააჩნია, საიდან დავიწყეთ მარკირება და ცხრილის

ცარიელ კვადრატებში ვსვავთ ალამს. შემდეგ OK ყველა ღერძზე ერთდროულად გამოჩნდება რგოლები – მარკირება. ( სურ. 9)

Type Parameters	
Parameter	
<b>Graphics</b>	
Symbol	M_Grid Head - Circle
Center Segment	Continuous
End Segment Weight	1
End Segment Color	Black
End Segment Pattern	Grid Line
Plan View Symbols End 1 (Default)	<input checked="" type="checkbox"/>
Plan View Symbols End 2 (Default)	<input checked="" type="checkbox"/>
Non-Plan View Symbols (Default)	Top

სურ. 9.

როგორც წესი, ნახაზზე მარკირების აღნიშვნა ხდება მარცხენა და ქვედა მხარეს. (სურ. 10)



სურ. 10.

განვიხილოთ ღერძების კიდევ ერთი ფუნქცია. მოვნიშნოთ ერთი ღერძი, ვხედავთ წყვეტილ ხაზს, ეს ნიშნავს ბმას, ანუ ერთი ღერძის მეორესთან ბმას, თუ ღერძზე არსებულ პატარა რგოლს (სახსარს) დავაფიქსირებთ მარცხენა ღილაკით და გადავაადგილებთ ზევით ან ქვევით, დანარჩენი ღერძებიც გადაადგილდებიან მასთან ერთად. თუ დაგვჭირდება რომელიმე ერთი ღერძის გადაადგილება ან რედაქტირება, უნდა დავაკლიკოთ ამ ღერძზე არსებულ ბოქლომს.

თუ ბოქლომი გახსნილია შესაძლებელი იქნება ამ ღერძის გადაადგილება. ღერძთან ვხედავთ 3D ნიშანს, რაც ნიშნავს, რომ თუ ჩვენ ვახდენთ ღერძის რედაქტირებას ამ ხედზე, მისი რედაქტირება მოხდება მთელ პროექტზე, თუ გვინდა მხოლოდ ამ ხედზე რედაქტირება ვაკლიკებთ 3D ნიშანს, გადავდივართ 2D ხედზე და მაშასადამე ცვლილებები მოხდება მხოლოდ ამ ხედზე.

### დასკვნა

ნებისმიერი პროექტის დამუშავება იწევა ღერძების გამოხაზვით. სტატიაში განხილულია Revit-ში ღერძების აგების თავისებურებები. მათი სწორი გადაწყვეტა მნიშვნელოვანია პროექტის ეფექტურად შესრულებისათვის. BIM მოდელირება კი ერთ - ერთი ყველაზე პოპულარული თემაა მშენებლობაში, ეს არის პროექტში მთელი

ინფორმაციის შექმნის და მართვის პროცესი. შენობის ინფორმაციული მოდელი არსებობს სასიცოცხლო ციკლის და იმის შემდგომ პერიოდში.

### გამოყენებული წყაროები და ლიტერატურა

1. ნ. ჯავახიშვილი, თ. ბარამაშვილი, ქ. ჭკუასელი - “კომპიუტერული გრაფიკული პროგრამა Revit-ი”. საგამომცემლო სახლი „ ტექნიკური უნივერსიტეტი“. 2023;
2. Autodesk – Building Information Modeling with Revit Architecture- student Workbook, CD-7246.

### **Create a grid of axes in a Computer graphics program Revit**

**Nana Nozadze, Natela Javakhishvili, Ketevan Chkuaseli, Lela Tskhadaia**

#### **Abstract**

Project processing starts with the drawing of axes .The Article discusses the basic principles of constructing axes, using a computer program Revit. Getting these components rights is of great importance for the effective execution of the project. BIM modeling is one of the main topics in construction. This is the entire process of creating all the information for the project.The information model exists during the life cycle of the building and beyond.

### **Создание осевой сетки в программе компьютерной графики Revit**

**Нана Нозадзе, Натела Джавахишвили, Кетеван Чкуасели,**

**Лела Цхадаиа**

#### **Резюме**

Разработка проекта начинается вычерчивания осей. В статье рассматривается особенности и основные принципы построения осей в компьютерной программе Revit. Правильное решение этого компонента имеет большое значение для эффективного выполнения проекта. BIM моделирование это одна из основных тем в строительстве. Это весь процесс создания всей информации для проекта. Информационная модель существует в периоде жизненного цикла здания и в последующий период.

## როტაციული ფრეზვის პროცესის ეკონომიკური სარგებლის განსაზღვრა

ზაურ ჩიტძე\*, იგორ გელაშვილი\*\*, ეკა სარიშვილი\*\*\*, მაკა ჟღენტი\*\*\*\*,  
ნინო ბჟალავა\*\*\*\*\*

\*პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: z.chitidze@gtu.ge;

\*\*მოწვეული პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: igorgelashvili@mail.ru;

\*\*\*ასოცირებული პროფესორი, სამხატვრო აკადემია, E-mail: sarishvili.eka@gmail.com;

\*\*\*\*ასოცირებული პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,

E-mail: zhghentimaka06@gtu.ge;

\*\*\*\*\*აკადემიური დოქტორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: nino.bzhalava@gtu.ge

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, მ. კოსტავას ქ. N71, 0175, თბილისი,  
საქართველო)

**რეზიუმე:** სტატიაში განხილულია რთულპროფილიანი სივრცითი დეტალების დამზადების ტექნოლოგიური პროცესები, როგორც ტრადიციულ ტექნოლოგიით ასევე ახალი როტაციული ფრეზვის და ერთდროულად ხეხვის პროცესით. ორივე შემთხვევისათვის ყველა ოპერაციაზე დაანგარიშებულია საცალო დროები და გაკეთებულია შედარება ძველი და ახალი ტექნოლოგიური პროცესებით. შემოაღნიშნული შედარება გვამდევს მოგვას ერთი სამუშაო დღის განმავლობაში 22 დეტალით მეტი გამოშვებას, რაც მომგებიანია ნებისმიერ ტიპის წარმოების პირობებში.

**საკვანძო სიტყვები:** სახარატო, საფრეზი, საკოპირე, ჩარხები, ოპერაცია, დეტალი, საცალო დრო.

### შესავალი

მერქნული მასალების რთულპროფილიანი სივრცითი დეტალების დამზადების დროს ტრადიციულ მიწოდების გამოყენების პირობებში ჩვენ, როგორც წესი ვიყენებთ მერქანდამამუშავებელ სახარატო ჩარხს და სხვადასხვა ტიპის ინსტრუმენტების გამოყენებით ვამუშავებთ გარე ცილინდრულ ზედაპირებს იმისათვის რომ მივიღოთ ნახაზის მიხედვით შემუშავებული დეტალის ფორმა. არსებობს უამრავი მეთოდი ამ ზედაპირების დამუშავებისათვის, მაგალითად ჩვეულებრივი ხელით დასამუშავებელი ჩარხები, მჭრელი იარაღის ავტომატური გადაადგილების მექანიზმებით, იარაღის ჰიდრო საკოპირე მოძრაობებით, პროგრამული მართვით და ასე შემდეგ. ჩვენს მიერ შემუშავებულია დეტალის დამუშავების ახალი, სწრაფი და ეკონომიური მეთოდი, რომელიც გამოიყენებს მხოლოდ ორ ერთდროულად მომუშავე ინსტრუმენტს დისკურ ფრეზს და სახეხ ქარგოლს, რომელსაც ეწოდება როტო ფრეზირების პროცესი პარალელური ზედაპირის ხეხვით. ქვემოთ ვაკეთებთ შედარებას ტრადიციულ და ახალი მეთოდის გამოყენებით.

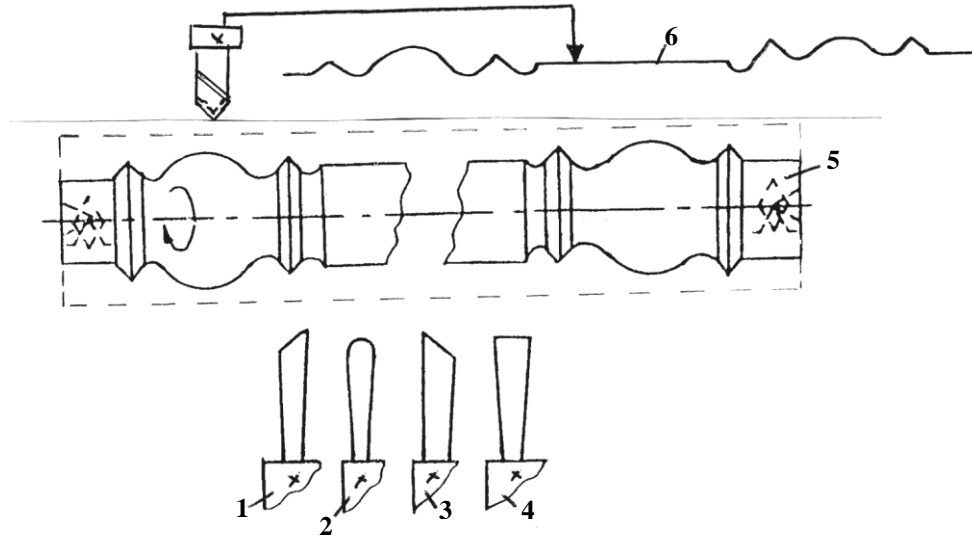
### ძირითადი ნაწილი

პირველ რიგში განვიხილოთ რთულპროფილიანი სივრცითი დეტალის დამზადების ტექნოლოგიური პროცესები, ერთის მხრივ ტრადიციული მეთოდების გამოყენებით და მეორე მხრივ უნივერსალური სახარატო-საფრეზი-საკოპირე ჩარხის გამოყენებით,

რომელზეც დამაგრებული იქნება საკოპირე მოწყობილობა. ეს მეთოდი გვაქვს დაპატენტებული და წარმოადგენს სიახლეს ზემოაღნიშნულ ნაკეთობების ჭრის პროცესში.

ტრადიციულად ნაკეთობის დამზადება მოიცავს შემდეგ ოპერაციებს:

I ოპერაცია სახარატო (ნამზადის შავად და სუფთად ახარატება გარე ცილინდრული ზედაპირების, ღარების და ზოლურების მოჭრა).



ნახ. 1. გარე ცილინდრული ზედაპირების დამუშავების ესკიზი  
1, 2, 3, 4 - სახარატო საჭრისები; 5 - დეტალი; 6 - კოპირი

პირველი ოპერაციის შესასრულებლად ვიყენებთ 4 საჭრისს, ამ შემთხვევაში I ოპერაციის დამუშავების ძირითადი ტექნოლოგიური დრო იქნება:

$$t_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_{საკ.}$$

ნახაზზე წყვეტილი ხაზებით ნაჩვენებია ნამზადი. რომელიც უნდა დამუშავდეს გასავლელი და მისაბრჯენი მარჯვენა და მარცხენა საჭრისების გამოყენებით.

ამ ოპერაციის შესასრულებლად საჭიროა სულ მცირე 2 გადასვლის შესრულება I-საკოპირე მოწყობილობის გამოყენებით გარე ცილინდრული ზედაპირების შავად და სუფთად დამუშავება. როგორც ვხედავთ ზედაპირების დიამეტრების სხვაობა (ნამზადის და მზა დეტალს შორის) სულ მცირე 40 მმ შეადგენს

$$D_{სამზ} = 140 \text{ მმ}, D_{დეტmin} = 100 \text{ მმ}.$$

$$\text{სხვაობა } D_{სხ} = D_{სამზ} - D_{დეტmin} = 140 - 100 = 40 \text{ მმ}.$$

სადაც  $D_{სხ}$  - ნამზადის და დეტალის დიამეტრების სხვაობაა.

ამ შემთხვევაში საერთო ჭრის სიღრმე იქნება

$$h = \frac{D_{სხ}}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ მმ}.$$

ტექნოლოგიური გაანგარიშებით საერთო ჯამში I ოპერაციის ძირითადი დრო შეადგენს

$$t_{d1} = t_{d1} + t_{d2} = 3,6 + 12,8 = 16,4 \text{ წთ}.$$

ვადგენთ დამხმარე დროს



$$t_{\text{დამბ.}} = 1,6 \text{ წთ.}$$

მაშინ პირველი ოპერაციის საცალო დრო იქნება

$$T_{\text{საGI}} = t_{\text{ძ1}} + t_{\text{დამბ.}} = 16,4 + 1,6 = 18 \text{ წთ.}$$

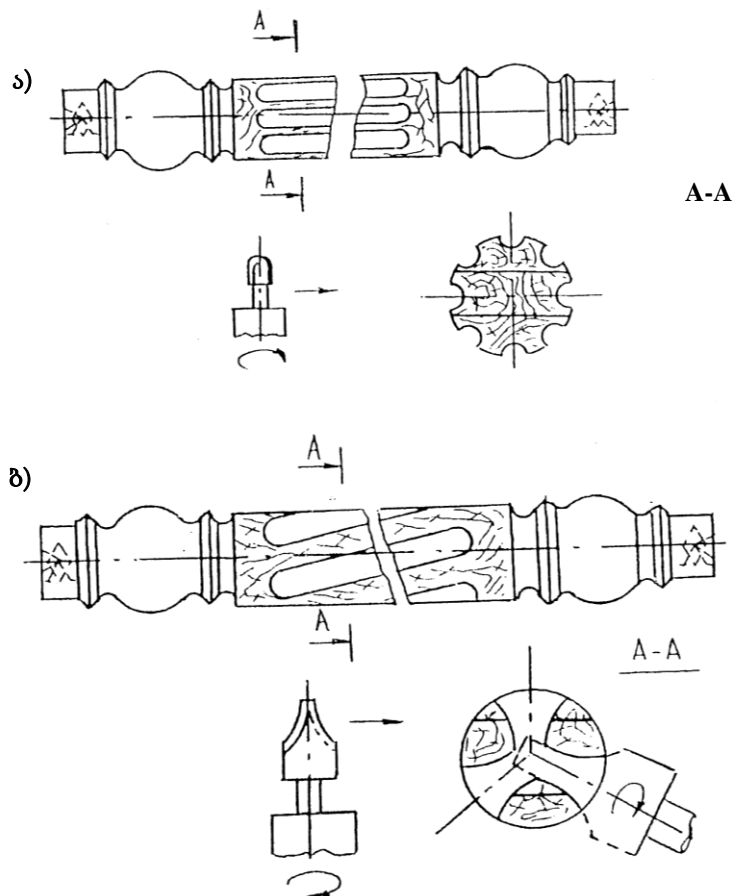
II ოპერაცია - საფრეზი (ბოლოვანა ფრეზით ხდება ან გრძივი ან დახრილი ღარების ამოფრეზვა).

ძირითადი ტექნოლოგიური დრო ამ ოპერაციებზე იქნება

$$t_{\text{ძ2}} = \frac{\ell \cdot n}{U} = \frac{0,7 \cdot 8}{3} = 1,87 \text{ წთ.}$$

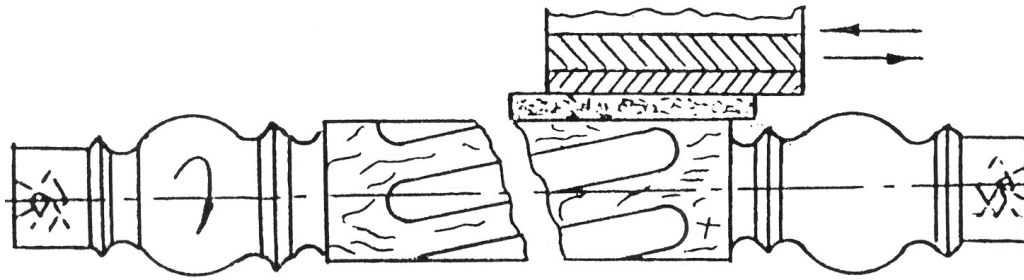
ვადგენთ დამხმარე დროს  $t_{\text{დამბ.}} = 0,8$  წთ საცალო დრო იქნება:

$$T_{\text{საGII}} = 1,87 + 0,8 = 2,67 \text{ წთ.}$$



ნახ. 2ა - გრძივი და ბ- დახრილი ღარების ამოფრეზვის ტექნოლოგიური სქემები.

III ოპერაცია - სახეხი (გარე ცილინდრული ზედაპირების ხეხვის პროცესი)



ნახ. 3. დეტალის ზედაპირების ხეხვის ოპერაციის სქემა

ოპერაციას ვახორციელებთ სახარატო-საფრეზი საკოპირე ჩარხზე №40 ან № 32 სახეხი ქარგოლების გამოყენებით.

III ოპერაციის საცალო დრო შეადგენს

$$T_{\text{საგIII}} = 3,5 \text{ წთ.}$$

მაშასადამე ზემოაღნიშნული ტექნოლოგიური პროცესის დრო, რომელიც მოიცავს 3 ოპერაციას და სრულდება ერთ სახარატო-საფრეზი სკოპირე ჩარხზე შეადგენს

$$T_{\text{საგ}} = T_I + T_{II} + T_{III} = 18 + 2,67 + 3,5 = 24,17 \text{ წთ.}$$

განვსაზღვროთ ჩარხის მწარმოებლობა ფორმულით:

$$Q_{\text{მწ}} = \frac{T \cdot K \cdot i}{T_{\text{საგ}}},$$

სადაც  $T = 420$  წთ - დღიური სამუშაო პერიოდი წუთებში;

$T_{\text{საგ}} = 24,12$  - დეტალის დამუშავების საცალო დრო;

$K$  - ჩარხის გამოყენების კოეფიციენტი,  $K = 0,7$ ;

$i$  - ერთდროულად დამუშავებული დეტალების რაოდენობა

$$Q_{\text{მწ}} = \frac{T \cdot K \cdot i}{T_{\text{საგ}}} = \frac{420 \cdot 0,7 \cdot 1}{24,17} = 12,16 \approx 12 \text{ ცალი,}$$

$$Q_{\text{მწ}} = 12 \text{ ცალი.}$$

იმ შემთხვევაში, თუ I ოპერაციაში უნივერსალურ-საფრეზი-საკოპირე ჩარხზე დავამაგრებთ საკოპირე მოწყობილობას, რომელიც აღჭურვილია დისკური ფრეზით და სახეხი ქარგოლით. ამ შემთხვევაში სახარატო ოპერაციას შეიძლება უწოდოთ როტოფრეზირების ოპერაციად, რომელიც წარმოდენილია ქვემოთ ნახაზზე.

### 1 ოპერაცია - როტოფრეზირება და ხეხვა

გავიანგარიშოთ ოპერაციის ძირითადი ტექნოლოგიური და საცალო დროები

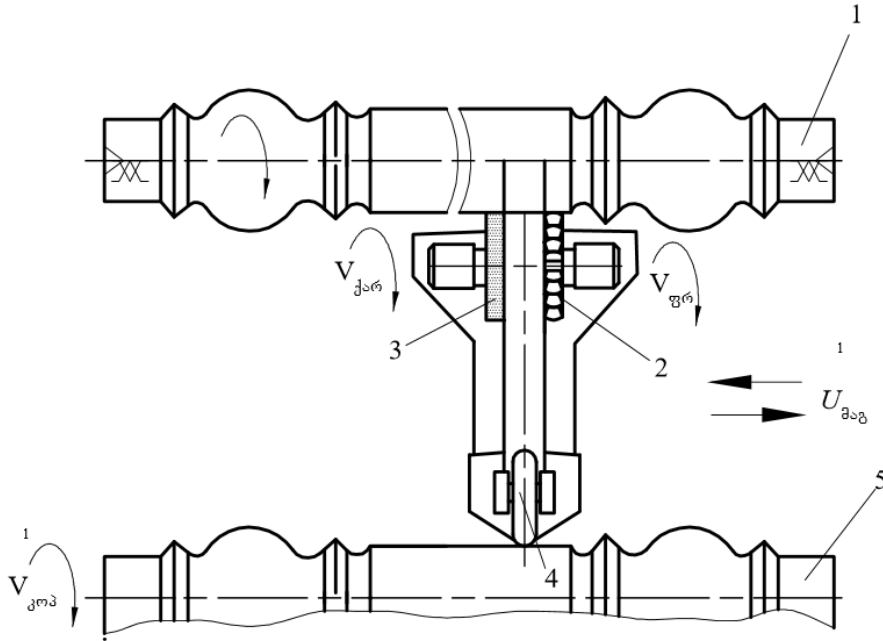
$$t_d = \frac{\ell}{U} = \frac{1,2}{1} = 1,2 \text{ მ,}$$

სადაც  $\ell$  დეტალის სიგრძეა,  $\ell = 1,2$  მ;

$U$  მიწოდების სიჩქარეა  $U = 1$  მ/წთ;

$$T_{\text{საგI}} = t_d + t_{\text{დამხ.}} = 1,2 + 0,8 = 2 \text{ წთ.}$$

II ოპერაციას და III ოპერაციას ვტოვებთ იგივეს, რაც წინა ვარიანტში განვიხილეთ, შესაბამისად



ნახ. 4. გარე ცილინდრული ზედაპირების ერთდროული როტოფრეზირება და ხეხვა (1 - დეტალი; 2 - დისკური ფრეზი; 3 - სახეხი ქარგოლი; 4 - საკოპირე გორგოლაჭი; 5-კოპირი).

II ოპერაციის საცალო დრო დარჩება  $T_{საცII} = 2,67$  წთ.

III ოპერაციის დრო  $T_{საცIII} = 3,5$  წთ.

მესამე ოპერაცია მოიცავს როგორც სუფთად ხეხვას ასევე პოლირების ოპერაციას ზედაპირის საბოლოოდ მაღალი ხარისხის მისაღწევად მაშასადამე მეორე ვარიანტით დეტალის დამუშავების პერიოდი შეადგენს:

$$T_{საც}^{II} = T_I + T_{II} + T_{III} = 2 + 2,67 + 3,5 = 8,17 \text{ წთ.}$$

ამ შემთხვევაში ჩარხის მწარმოებლობა იქნება:

$$Q_{აწ}^{II} = \frac{T \cdot K \cdot i}{T_{საც}} = \frac{420 \cdot 0,7 \cdot 1}{8,17} \approx 34 \text{ ცალი.}$$

წინა ვარიანტის გაანგარიშება მოქცევა

$$Q_{აწ}^I = 12 \text{ ცალი.}$$

სხვაობა ანუ მოგება ერთი დღის განმავლობაში ახალი მეთოდის გამოყენებისას გვაძლევს.

$$Q_{აწ}^{II} - Q_{აწ}^I = 34 - 12 = 22 \text{ ცალი დეტალი.}$$

260 წლიური მუშაობის დღეთა განმავლობაში მართო ერთი ჩარხი აღჭურვილი როტოფრეზის კოპირით დაამზადებს  $260 \times 22 = 5720$  ცალზე მეტ დეტალს. თუ დავადებთ ერთ დეტალს სარეალიზაციო ფასს დაახლოებით 50\$ დოლარს წლიური მოგება ამ სიახლის გამოყენებისას გვექნება

$$5720 \times 50\$ = 286000\$ \text{ დოლარი.}$$

**დასკვნები**

1. დადგინდა, რომ როტოფრეზირების პროცესის გამოყენება გარე ცილინდრული ზედაპირების დასამუშავებლად არის ძალზედ წარმოებლური და ეკონომიური პროცესი ტრადიციული ახარატების პროცესთან შედარებით.
2. დადგინდა, რომ როტოფრეზირების და ზედაპირის ხეხვის ერთობლივი პროცესის გამოყენება გვაძლევს ზედაპირების უფრო სწრაფ დამუშავებას და ოპერაციათა რაოდენობის შემცირებას.
3. მართო ერთი ჩარხი აღჭურვილი როტოფრეზირების თავით საკოპირე სუპორტზე ერთ სამუშაო დღეში ტრადიციული მეთოდთან შედარებით იძლევა 22 დეტალით მეტი გამოშვების შესაძლებლობას.

**გამოყენებული წყაროები და ლიტერატურა**

1. ზ. ჩიტძე, ი. გელაშვილი, ე. სარიშვილი, მ. ჟღენტი - „მსუბუქი ტიპის მერქანპოლიმერული კომპოზიტების როტაციული ფრეზვის პროცესის კვლევა“, ქურნალი „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“ N2 (57), თბილისი, 2023 წ.;
2. ზ. ჩიტძე, ი. გელაშვილი, ე. სარიშვილი, მ. ჟღენტი - „მსუბუქი ტიპის მერქანპოლიმერული კომპოზიტების ახარატების პროცესის კვლევა“ ქურნალი „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“ N2 (57), თბილისი, 2023 წ.

**DETERMINING THE ECONOMIC BENEFITS OF THE  
ROTARY MILLING PROCESS**

**Zaur Chitidze, Igor Gelashvili, Eka Sarishvili,  
Maka Zhgenti, Nino Bzhalava**

**Abstract**

In the article is considered the technological processes of manufacturing complex profiles spatial parts using both traditional technology and new processes of rotational milling and simultaneous grinding. In both cases, implementation times are calculated for all operations and comparisons are made with old and new technological processes. The above mentioned comparison gives us the profit from producing up to 22 more parts in one working day, which is profitable under any production conditions.

**Расчет экономического эффекта при использовании процесса  
ротационного фрезерования**

**Заур Читидзе, Игор Гелашвили, Эка Саришвили,  
Мака Жгенти, Нино Бжалава**

**Резюме**

В статье рассмотрены технологические процессы обработки сложнопрофильных пространственных деталей типа балясины как традиционными методами так и процессом ротационного фрезерования с одновременным шлифованием. Для обоих случаев на всех операциях произведен расчет основного машинного времени и сделано сравнение старого и нового метода обработки. Такое сравнение дает выигрыш в изготовлении 22 деталей в течении одного рабочего дня, что прогрессивно в условиях использования любого типа производства.

უკ.669.18

## თხევადი ფოლადის ხარისხის გაუმჯობესების და ლეგირების ზოგიერთი ასპექტი

თამაზ ბუჩუკური\*, თამარ ცერცვაძე\*\*, თამარ წილოსანი\*\*\*,  
ნატო კანთელაძე\*\*\*\*

\*ასოცირებული პროფესორი, მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების  
დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო 0160, თბილისი, მ.  
კოსტავას №69, E-mail: [t.buchukuri@gtu.ge](mailto:t.buchukuri@gtu.ge);

\*\*ასოცირებული პროფესორი, მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების  
დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო 0160, თბილისი, მ.  
კოსტავას №69, E-mail: [t.tsertsvadze@gtu.ge](mailto:t.tsertsvadze@gtu.ge);

\*\*\*ასოცირებული პროფესორი, მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების  
დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო 0160, თბილისი, მ.  
კოსტავას №69, E-mail: [tamartsilosani76@gmail.com](mailto:tamartsilosani76@gmail.com);

\*\*\*\*აკადემიური დოქტორი, ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი, საქართველოს  
ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო 0160, თბილისი, მ. კოსტავას №77, E-mail:  
[n.kanteladze@gtu.ge](mailto:n.kanteladze@gtu.ge)

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, მ. კოსტავას ქ. N69, 0160, თბილისი,  
საქართველო)

**რეზიუმე:** თხევადი ფოლადის ხარისხის გაუმჯობესება ყოველთვის იყო და იქნება მეფოლადეების მთავარი მიზანი, აწარმოონ რაც შეიძლება მაღალი ხარისხის პროდუქცია. სამუშაოს მიზანია, თხევადი ფოლადის ხარისხის გაუმჯობესების მიზნით მეტალურგიული და ქიმიური წარმოების ნარჩენების ათვისება, გარემოს ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესება და მიღებული პროდუქციის გამოყენება თხევადი ფოლადის ხარისხის გაუმჯობესებისათვის. ნაშრომში წარმოდგენილია მეტალურგიული და ქიმიური წარმოების ნარჩენების გადამუშავების ტექნოლოგიური სქემა, გადამუშავების შედეგად მიღებული შენადნობის ქიმიური შედგენილობა, აგრეთვე მისი გამოყენების შესაძლებლობა ფოლადის ხარისხის გასაუმჯობესებლად ლაბორატორიულ პირობებში. გათვლილია და დაანგარიშებულია მალეგირებელი ელემენტების შეთვისების კოეფიციენტები, გაანალიზებულია და არგუმენტირებულად დასაბუთებულია თითოეული ელემენტის შემცირების და მომატების მიზეზები.

**საკვანძო სიტყვები:** საწარმოო ნარჩენები, ინდუქციური ღუმელი, ტამანის ღუმელი, მალეგირებელი ელემენტები, შეთვისების კოეფიციენტი, ძირითადი ელემენტები.

### შესავალი

ფოლადის ხარისხის გაუმჯობესება ყოველთვის იყო მეფოლადეების მიზანი და ამოცანა. ბოლო წლებში გამოწვეულმა პროგრესმა და მზარდმა წარმოებებმა დღის წესრიგში დააყენა ფოლადის ხარისხის გაუმჯობესების საკითხი. ადგილობრივი წარმოების გამოცდილებამ, რომელიც ითვალისწინებს ფოლადის ხარისხის გაუმჯობესებას ფეროშენადნობების გამოყენებით დასაბამი მისცა იმას, რომ ეს ფეროშენადნობები შეცვლილი ყოფილიყო უფრო იაფი მალეგირებელი განმჟანგველებით, ვინაიდან ჭიათურის მანგანუმის მადანი გაცილებით გაღარიბდა, მისი რაოდენობაც შედარებით შემცირდა და

მისი მოპოვება მალაროებში გამწვანდა. ამან გამოიწვია მასალის გამწვანება. ამიტომ ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანას გაცილებით ძვირი უჯდება მისი ყიდვა და გადამუშავება, წარმოებული პროდუქციის ფასი ყოველწლიურად იზრდება მწარმოებელი ქარხნისათვის. მოიმატა ელ. ენერჯის გადასახადმა. შექმნილი ვითარებიდან გამომდინარე, ნარჩენები, რომლებიც დასაწყობებულია რუსთავის ქიმიური ქარხნის და ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის შემოგარენში, გამოყენებული იქნას ისეთი შენადნობების მისაღებად, რომელიც შემდგომში გამოყენებული იქნება ფოლადის ხარისხის გაუმჯობესებისათვის და შეცვლის ძვირადღირებულ ფეროშენადნობებს.

### ძირითადი ნაწილი

ფოლადის ხარისხის გასაუმჯობესებლად შერჩულ უნდა ყოფილიყო ისეთი საკაზმე მასალები, რომლებიც ადვილი ხელმისაწვდომი იქნებოდა და გარკვეულ სირთულეებს არ შექმნიდა გადამუშავების დროს. ამ მიზნით, შერჩეული იქნა შემდეგი საკაზმე მასალები: 1. ელექტროლიტური მანგანუმის ორჟანგის შლამი, ფერომანგანუმის წარმოების მტვერი. 2. მეორადი ალუმინის ნედლეული (ანაცერის სახით); 3. იშვიათმიწა ლითონების ჟანგეულები [1,2]. 4. საფლუსე მასალა დოლომიტის ნარჩენის სახით.

ელექტროლიტური მანგანუმის შლამი და ფერომანგანუმის წარმოების მტვერი. რომლთა ქიმიური შედგენილობა მერყეობდა შემდეგ პროცენტულ ზღვრებში:

$Mn - 20,25 \div 28,80$ ;  $SiO_2 - 20 \div 21\%$ ;  $MnO_2 - 3,5 \div 4\%$ ;  
 $CaO - 4,7\%$ ;  $Fe_2O_3 - 3,4\%$ ;  $Al_2O_3 - 5,6\%$ ;  $Ni - 0,9\%$ ;  
 $MgO - 1,2\%$ ;  $P - 0,03\%$

დანარჩენი სულფიდები და ოქსიდები სხვადასხვა ელემენტების [2,3].

მეორადი ალუმინის ნედლეულის ქიმიური შედგენილობა მას %-ში:

$Al - 40 - 55\%$ ;  $Si - 5,8$ ;  $Mg - 0,35\%$ ;  
 $Zn - 2,9\%$ ;  $Ni - 1,7\%$ ;  $Mn - 0,36\%$ ;  $Fe - 14 \div 14,5\%$ .

დანარჩენი რკინის, ალუმინის და სხვადასხვა ელემენტების ჟანგეულები.

იშვიათმიწა ლითონების ჟანგეულების ქიმიური შედგენილობა მას %-ში:

$CeO_2 - 40 \div 47\%$ ;  $L_2O_3 - 15 \div 17\%$ ;  $Na_2O_3 - 10 \div 11\%$ .

დანარჩენი იშვიათმიწა ლითონების ჟანგეულები [2].

საფლუსე დანამატად გამოყენებული იქნა ახლად გამომწვარი დოლომიტის ნარჩენი, მას%-ში:

$SiO_2 - 2,0\%$ ;  $Al_2O_3 - 2,0\%$ ;  $Fe_2O_3 - 0,5\%$ ;  $MgO - 37\%$ ;  
 $CaO - 55\%$ ;  $H_2O - 2,20\%$ ;  $CO_2 - 1,5\%$ .

ელექტროლიტური მანგანუმის ორჟანგის შლამი წარმოადგენს მანგანუმის ორჟანგის ნარჩენ შლამს, რომელსაც აწარმოებდა რუსთავის ქიმიური ქარხანა. ეს შლამი ტალახის სახით იყრებოდა (საწყობდებოდა) ქ. რუსთავის შემოგარენში. დღესდღეობით ეს მასალა არის გამწვანებული, ფხვიერი, წვრილმარცვლოვანი და მას აღარ სჭირდება გამოშრობა. ფერომანგანუმის წარმოების მტვერი წარმოადგენს ამავე წარმოების პროდუქტის გასუფთავების ფილტრებში დარჩენილ წვრილმარცვლოვან მასას..

ყველა საკაზმე მასალა ყოველგვარი მომზადების გარეშე იყრება ამრეში გარკვეული დროით, რომ მოხდეს მათი კარგად გადარევა. შემდეგ ამ არეული მასალების ნარევი იყრება სადოზირებო ბუნკერში, საიდანაც ჩაიტვირთება ინდუქციური ლუმელის ტიგელში, რომლის ჩანატვირთი [4,5]. შეადგენს 270 კგ [4,5]. და რომელიც გახურებულია წინასწარ 1000

– 1050 °C ფარგლებში. ნარევის ჩატვირთვის შემდეგ, ტიგელში დნობის პროცესი იწყებოდა ჩატვირთვიდან 3-4 წთ-ის შემდეგ. დნობა მიმდინარეობს მდორედ ყოველგვრი ამოფრქვევის გარეშე, ნათელი ალით ტიგელის თავზე [6,7].

კაზმის პროცენტული შედგენილობა, რომელშიც შედიან შემდეგი საკაზმე მასალები, შემდეგი პროცენტული რაოდენობითაა:

ელექტროდული მანგანუმის წარმოების შლამი (მტვრის სახით)ფერომანგანუმის წარმოების მტვერი  $30 \div 38$ ;  
 მეორადი ალუმინის ნედლეული  $48 \div 50$ ;  
 იშვიათმიწათა ლითონების ჟანგეულები  $4 \div 12$ ;  
 გამომწვარი დილომიტის ნარჩენები  $8 \div 10$ .

დნობის დამთავრების შემდეგ მიღებული შენადნობი გადმოსხმება ცეცხლგამძლე ტიგელში, სადაც ხდება ლითონის და წიდის განშრევა. მყარ მდგომარეობაში გადასვლის შემდეგ, ტიგელიდან ხდება მისი ამოღება, წიდის და შენადნობის განცალკევება.

მიღებული შენადნობი შემდეგი ქიმიური შედგენილობისაა:

**ცხრილი N1**

**მას %-ში ნარჩენების გადამუშავების შედეგად მიღებული შენადნობის ქიმიური შედგენილობა**

მიღებული შენადნობის ქიმიური შედგენილობა								
შენადნობი	Mn	Si	Al	Ca	Mg	P	S	Fe
%	29	11	27	2,0	1,5	0,014	0,06	დანარჩენი

ნარჩენების გადამუშავების შედეგად მიღებული წიდა შემდეგი ქიმიური შედგენილობისაა, მას %-ში:

$SiO_2$  – 45,0%;  $MnO$  – 9,50%;  
 $Al_2O_3$  – 8,50%;  $CaO$  – 12,0%;  
 $MgO$  – 14%;  $Fe_2O_3$  – 2,45%;  
 $CaS$  – 1,5%;

მიღებული შენადნობი გამოყენებული იქნა ფოლადის ხარისხის გაუმჯობესების მიზნით. ლაბორატორიულ პირობებში ტამანის ლუმელში გადნობილი იქნა 8-10 კგ. თხევადი ფოლადი, რომლის ქიმიური შედგენილობა მოყვანილია მე-2 ცხრილში.

გამდნარი ფოლადის ქიმიური შედგენილობა მოყვანილია N2 ცხრილში.

**ცხრილი N2**

**რიგითი გამოსადნობი ფოლადის ქიმიური შედგენილობა, %**

C	Mn	Si	S	P	Fe
0,17-0,24	0,25-0,50	0,07	0,040	0,04	დანარჩენი

ტამანის ლუმელში ვახდენდით ჩვეულებრივი რიგითი მარკის ფოლადის გადნობას [8]. გამდნარ ფოლადში იტვირთება მისი მასის 0,3%-ით მიღებული შენადნობი. ნარევის გადნობის შემდეგ, დაახლოებით 15 წუთში ხდება ლითონის არევა, ხოლო როდესაც ლითონის დუღილი შეწყდება, ლუმელის გამორთვის ხარჯზე ხდება წიდის მოხდა, რის

შემდეგ მიღებული ფოლადი გადმოიხმება ნიმუშის სახით და ხდება მისი მომზადება საანალიზოდ.

დამუშავების შემდეგ მიღებული ფოლადის ქიმიური შედგენილობა მოყვანილია N3 ცხრილში.

ცხრილი N3

დამუშავების შემდეგ მიღებული ფოლადის ქიმიური შედგენილობა

შენადნობის ქიმიური შედგენილობა მას %-ში						
შენადნობი	C	Mn	Si	S	P	Fe
N1	0,20-0,27	0,35-0,65	0,09	0,035	0,035	დანარჩენი
N2	0,36-0,45	0,5-0,80	0,18-0,38	0,035	0,035	დანარჩენი
N3	0,21-0,26	0,30-0,60	0,1-0,12	0,030	0,033	დანარჩენი
N4	0,19-0,30	0,32-0,66	0,14-0,32	0,038	0,037	დანარჩენი

გამდნარი ფოლადის ქიმიური ანალიზის შედეგად ფოლადში მომატებულია C-ის რაოდენობა, რაც გამოწვეულია ტამანის ღუმელში ნახშირბად შემცველი მახურებელი ტიგელის გამოყენებით. გარკვეული რაოდენობით მოიმატა Mn-ის და Si-ის რაოდენობამ. რაც გამოწვეულია ამ შენადნობის თხევად ფოლადში გახსნის შედეგად. შემცირდა P და S-ის რაოდენობა, რაც განპირობებული იყო წიდის მოხდით და ახლად გამომწვარი დოლომიტის ზემოქმედებით. რადგან წიდაში მაღალი იყო MgS და CaS-ის რაოდენობა. [9,10].

გამოდნობილი ფოლადის ქიმიური ანალიზის შემდეგ მოვახდინეთ ძირითადი ელემენტების შეთვისების კოეფიციენტის ანგარიში. კომპონენტების შეთვისების კოეფიციენტის ანგარიში მოყვანილია N4 ცხრილში.

ცხრილი 4

ელემენტების შემცველობა ფოლადში დამუშავების შემდეგ მას %-ში					კომპონენტების შეთვისების კოეფიციენტი შენადნობში, %-ში	
C	Mn	Si	S	P	Mn	Si
0,20	0,60	0,38	0,035	0,035	93,66	92,81

დასკვნა

დასკვნის სახით, შეიძლება ითქვას, რომ ფოლადში Mn-ის შემცველობა გაიზარდა დაახლოებით 0,1%-ით, რაც განპირობა შეთვისების კოეფიციენტის გაზრდამ დაახლოებით 10-15%-ით. აგრეთვე გაიზარდა Si-ის შემცველობა 0,15%-ით, მისი შეთვისების კოეფიციენტის გაზრდის ხარჯზე.

შემცირდა ისეთი ელემენტების რაოდენობა ფოლადში, როგორცაა P და S, რაც განპირობებულია წიდის მოხდით, რადგანაც იშვიათმიწა ლითონის გამოყენებამ ხელი შეუწყო ლითონის თხევადდენადობას, რამაც განაპირობა, რომ P და S-ის მაღალი



რაოდენობა ამოსულიყო ლითონის ზედაპირზე, მსუბუქი ნარევის სახით და გადასულიყო წიდაში.

ყოველივე ზემოთ მოყვანილი არგუმენტების და მიზეზების გამო შემოთავაზებული შენადნობი, რომელიც მიიღება ნარჩენებიდან, გაცილებით იაფი ჯდება და მისი გამოყენება ფოლადის ხარისხის გაუმჯობესების მხრივ, მიზანშეწონილად მიგვაჩნია, რადგან ელემენტარული გათვლებით დგინდება, რომ მისი გამოყენებით ფოლადის თვითღირებულება შემცირდება დაახლოებით 8-10 %-ით, რაც აისახება ეკონომიურ ეფექტზე, რომელიც მოგებას მოუტანს მის მწარმოებელს.

### გამოყენებული ლიტერატურა და წყაროები

1. Г.А. Ломтатидзе, Т. Бучукури - „Выплавка сплава алюминий марганец-кремний-кальций (КМКА) применения его в производстве стали“ Международный научно-технический журнал «Металлург“N2, 2007 г. Москва;
2. Авторское свидетельство СССР N456032 кл с 22 с 35/00 „Сплав для раскисления и модифицирования стали’ 1975 г.;
3. Авторское свидетельство СССР N441292кл с 22с 35/00 „Смесь для выплавки лигатур с редкоземельными металлами’,1973 г.;
4. О. Микадзе, Т. Бучукури, Б. Гогичашвили - „Выплавка комплексного сплава из отходов металлургического производства и его применение для раскисления и десульфурации стали’ 2(50) ნაწ II, 2009 ქურნალი „ენერგია“;
5. Б. Мастрюков - „Теория, конструкции и расчеты металлургических печей“ Том 2 издательство „Металлургия г Москва 1986 г.;
6. А. Егоров - „Расчеты мощности и параметров электропечей в черной металлургии». Издательство „Металлургия“, г Москва 1990 г.;
7. З. Сванидзе, Б. Гогичашвили, О. Микадзе - „Очистка *отходящих газов* при производстве РЗМ содержащих сплавов“, научно-технический журнал «Металлург“ N5 2006, г., Москва;
8. О. Микадзе, Б. Гогичашвили, Т. Бучукури - „Самокоагулирующиеся экзотермические брикеты для легирования и раскисления стали“ . 2(50) ნაწ II,2009 ქურნალი „ენერგია“;
9. თ. ცერცვაძე, ბ. გოგიჩაშვილი, ზ. სვანიძე - „ფოლადსადნობი საამქროების მოწყობილობა და დაგეგმარება“ სტუ-ს გამოცემა თბილისი 2013წ.;
10. თ. ცერცვაძე, ბ. გოგიჩაშვილი - მეტალურგიული საწარმოების ძირითადი მოწყობილობები და საპროექტო გადაწყვეტა“ სტუ-ს გამოცემა, თბილისი 2019წ.;

**Некоторые аспекты повышение качества жидкой стали и легирование  
Тамаз Бучукури, Тамар Церцвадзе, Тамар Цилосани, Нато Кантеладзе**

**Резюме**

Повышение качества жидкой стали всегда было и будет основной целью сталеваров по выпуску продукции максимально высокого качества. Цель работы – утилизация отходов металлургического и химического производства для повышения качества жидкой стали, улучшение экологического состояния окружающей среды и использование полученной продукции для повышения качества жидкой стали. В работе представлена технологическая схема переработки металлургических и химических отходов, химический состав полученного в результате переработки сплава, а также возможность его использования для повышения качества стали в лабораторных условиях. Рассчитаны коэффициенты поглощения легирующих элементов, проанализированы и аргументированы причины уменьшения и увеличения каждого элемента.

**Improving the quality of liquid steel and alloyingsome aspects**

**Tamaz Buchukuri, Tamar Tsertsvadze, Tamar Tsilosani, Nato Kanteladze**

**Abstract**

Improving the quality of liquid steel was and will be the main goal of steel specialists to produce as high quality products as possible. The purpose of the work is the recycling of waste from metallurgical and chemical production to improve the quality of liquid steel, improve the ecological state of the environment and use the resulting products to improve the quality of liquid steel. The paper presents a technological scheme for processing metallurgical and chemical waste, the chemical composition of the alloy obtained as a result of processing, as well as the possibility of using it to improve the quality of steel in the laboratory. The absorption coefficients of alloying elements are calculated and calculated, the reasons for the decrease and increase of each element are analyzed and argued.

**მოკლედისტანციური მობილური საჰაერო საბაგირო  
მორსათრევი დანადგარით  
სხვადასხვა ტექნოლოგიური პროცესის ოპერაციებზე  
წინააღმდეგობის ჯამური ძალების განსაზღვრა**

**რამაზი ტყემალაძე\*, ირაკლი გრძელიშვილი\*\***

*\*ასოცირებული პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,*

*E-mail: ramaz.tkemaladze@gtu.ge;*

*\*\*დოქტორანტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: igrdz2016@agr.uni.edu.ge*

**(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, კოსტავას ქ. №71, 0175, თბილისი,  
საქართველო)**

**რეზიუმე:** სტატიაში განხილულია №14 ტექნოლოგიური სექციის განხორციელების დროს, მოკლედისტანციური მობილური საჰაერო საბაგირო მორსათრევი დანადგარით სხვადასხვა ტექნოლოგიური პროცესის მიხედვით განხორციელებული სამი ძირითადი ტექნოლოგიური პროცესი; მესამე ტექნოლოგიური პროცესის მეოთხე ოპერაციისათვის ჩატარებულია ძალური პარამეტრების ანგარიში და განსაზღვრულია საწევ ბაგირზე მოქმედი მაქსიმალური წევის ძალის მნიშვნელობა, რომლის მიხედვითაც შერჩეულია საჭირო დიამეტრის საწევი ბაგირი.

**საკვანძო სიტყვები:** მოკლედისტანციური მობილური საჰაერო საბაგირო მორსათრევი დანადგარი; ბაქანი; ზედა საწყობი; საწევი ბაგირი, წინააღმდეგობის ძალა.

### **შესავალი**

ტყეკავითი სამუშაო პროცესების №14 ტექნოლოგიური სექციის განხორციელების დროს, მოკლედისტანციური მობილური საჰაერო საბაგირო მორსათრევი დანადგარით, სრულდება შემდეგი სამი ძირითადი ტექნოლოგიური პროცესი:

- 1) სარგავი მასალისა და ინვენტარის გატანა ტყის გრუნტზე;
- 2) მორსათრევი ტექნიკით მოთრეული ხეტყის ჩამოშვება პლატოზე განლაგებული ზედა ბაქნიდან ზედა საწყობზე, მოკლედისტანციური მობილური საჰაერო საბაგირო დანადგარით;
- 3) ხე-ტყის დამზადება — უშუალოდ ტყეკავზე მოჭრილი ხე-ტყის ჩამოშვება ზედა საწყობზე, მოკლედისტანციური მობილური საჰაერო საბაგირო დანადგარით.

### **ძირითადი ნაწილი**

№14 ტექნოლოგიური სექციაში ერთ-ერთი საპასუხისმგებლო პროცესია ხე-ტყის დამზადება, ანუ ტყეკავზე მოჭრილი ხე-ტყის ჩამოშვება ზედა საწყობზე, მოკლედისტანციური მობილური საჰაერო საბაგირო დანადგარით. იგი მოიცავს რამდენიმე ძირითად ოპერაციას:

- საწევი ბაგირებით ჩამჭერი გადაადგილდება ტრასაზე ტყესაკავზე მომზადებული მორის ან შეკრულას ადგილამდე;
- დამხმარე თოკებით საწევი ბაგირების ჩამოშვება ტყის გრუნტზე მოჭრილ ხესთან;

- საწევი ბაგირების კაკვების ჩაზმა შეკრულაზე ჯამბარის საშუალებით;
- მოჭრილი ხის მიწაზე მოთრევა ფერდობზე ქვემოდან ზემოთ, დანადგარის ტრასამდე.
- საწევი ბაგირით შეკრულას აწევა მაღლა, ჩამჭერამდე და კაკვებით ჩამჭერის ფიქსატორებში დაფიქსირება;
- ფიქსატორებში დაფიქსირებული საწევი ბაგირების შეკრულასთან ერთად ჩამოშვება ქვედა ბაქანზე გაჩერებულ აგრეგატთან;
- დამხმარე თოკებით საწევი ბაგირების განთავისუფლებაკაკვების ფიქსატორებისაგან და შეკრულას თავისი წონა ძალით ჩამოშვება ტყის გრუნტზე;
- საწევი ბაგირების კაკვებისგანთავისუფლება შეკრულას ჯამბარისაგან და აწევა ზევით, ჩაჭერის ფიქსატორებში დაფიქსირებამდე;
- საწევ-მზიდი ბაგირი ჩამჭერით და საწევი ბაგირებით გადაადგილდებიან ტრასაზე ფერდობის გრძივი მიმართულებით შემდეგ ლოკაციაზე მომზადებულ შეკრულასთან და პროცესი მეორდება.
- საწევ-მზიდი ბაგირი ჩამჭერით და საწევი ბაგირებით გადაადგილდებიან ტრასაზე ფერდობის გრძივი მიმართულებით შემდეგ ლოკაციაზე მომზადებულ შეკრულასთან და პროცესი მეორდება.

მესამე ტექნოლოგიური პროცესის დაგეგმვისა და განხორციელებისათვის საჭიროა საწევ ბაგირზე მოქმედი წინააღმდეგობის ძალის განსაზღვრა, რათა დადგინდეს მოკლედისტანციური მობილური საჰაერო საბაგირო მორსათრევი დანადგარის საიმედოობა ექსპლუატაციის პროცესში. ამისათვის შემუშავებულია სპეციალური მეთოდი და მეთოდიკები, საწევ ბაგირზე მოქმედი მაქსიმალური წინააღმდეგობის დასადგენად. იქიდან გამომდინარე, რომ მაქსიმალური წინააღმდეგობა წარმოიქმნება მოჭრილი ხის მიწაზე ფერდობზე ქვემოდან ზემოთ, დანადგარის ტრასამდე მოთრევის დროს, საჭიროა ანგარიში ჩატარდეს აღნიშნული ოპერაციისათვის.

ნახ. 1-ზე მოცემულია მოკლედისტანციური მობილური საჰაერო საბაგირო დანადგარი, რომელზედაც ნაჩვენებია ფერდობზე ქვევიდან ზევით მოჭრილი ხის მიწაზე მორსათრევის ტრასა, მასზე დატანილი წინააღმდეგობის წერტილებით I-VII.

წინააღმდეგობის ძალა I წერტილში მოჭრილი ხის დაძვრის ინერციის ძალის გაუთვალისწინებლად იანგარიშება ფორმულით

$$I - S_1 = W_1 = Q(\sin \alpha + \omega \cos \alpha), \quad (1)$$

სადაც  $Q$  – ტვირთის წონაა, 1000 კგ;

$\alpha$  – ფერდობის დახრის კუთხე,  $40^\circ$ ;

$\omega$  – ტყის გრუნტზე მოჭრილი ხის მოძრაობის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი, 0,6.

ფორმულაში (1) რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით, მივიღებთ

$$S_1 = W_1 = 1000(\sin 40^\circ + 0,6 \cos 40^\circ) = 1000(0,643 + 0,6 \cdot 0,766) = 1103 \text{ კგ.}$$

წინააღმდეგობის ძალა I წერტილში მოჭრილი ხის დაძვრის ინერციის ძალის გათვალისწინებით იანგარიშება ფორმულით:

$$S_{1\max} = W_1 + W_{41} = Q(\sin \alpha + \omega \cos \alpha) + \frac{QV_{\text{საწ}}}{gt}, \quad (2)$$

სადაც  $V_{\text{საწ}}$  – ტვირთის გადაადგილების სიჩქარე დაძვრის მომენტში, 1,0მ/წმ;

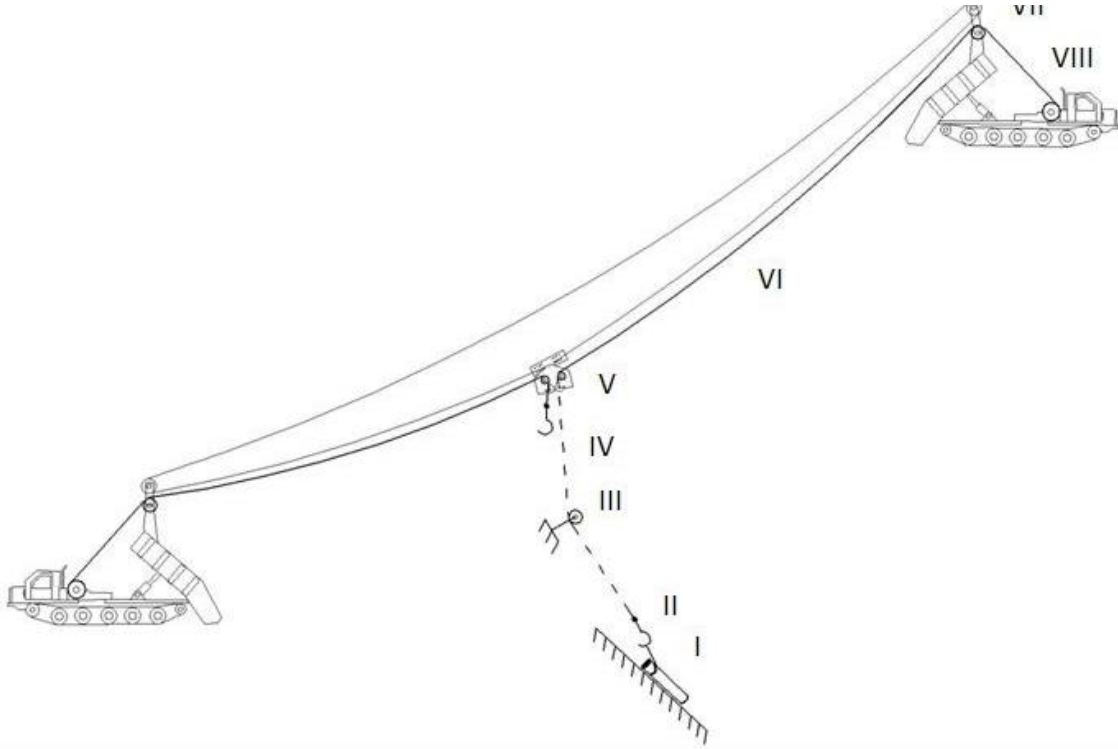
$g$  – სიმძიმის ძალის აჩქარება 9,81 მ/წმ<sup>2</sup>;

$t$  – დროის მონაკვეთი, როცა მოჭრილი ხე მიიღებს ბაგირის სიჩქარეს, 3\_4 წმ.

ფორმულაში (2) რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით მივიღებთ

$$S_{I_{max}} = 1103 + \frac{1000 \cdot 1,0}{9,81 \cdot 3} = 1103 + 34 = 1137 \text{ კგ.}$$

მივიღეთ, რომ ფერდობზე ქვევიდან ზევით მოჭრილი ხის მიწაზე მორთრევის დროს დაძვრის წინააღმდეგობა ინერციის ძალის გათვალისწინებით ტოლია 1137 კგ.



*ნახ. 1 მოკლედისტანციური მობილური საჰაერო საბაგრო მორსატრევი დანადგარი; ფერდობზე ქვევიდან ზევით მოჭრილი ხის მიწაზე მორთრევის დროს წინააღმდეგობის ჯამური ძალის საანგარიშო სქემა; I-VIII წინააღმდეგობის ძალების მოდელების წერტილები*

II წერტილში წინააღმდეგობის ძალა, რომელიც აღიძვრება 100 მ სიგრძის ბაგირის ფერდობზე ქვევიდან ზევით გადაადგილების დროს იანგარიშება ფორმულით

$$II - S_{II} = S_I + W_{21} = S_I + G_1 L_V (\sin \alpha + \omega_1 \cos \alpha), \quad (3)$$

$$S_{II} = 1137 + 0,45 \cdot 100 (\sin 40^\circ + 0,2 \cos 40^\circ) = 1137 + 45 (0,643 + 0,2 \cdot 0,766) = 1137 + 45 \cdot 0,8 = 1137 + 36 = 1173 \text{ კგ.}$$

III წერტილში ვიპოვოთ წინააღმდეგობის ძალა, რომელიც საჭიროა II წერტილიდან საწევი ბაგირის მიწაზე დამაგრებულ თვითხსნად ბლოკში გასატარებლად

$$III - S_{III} = S_{II} + W_{31} = S_{II} + S_{II} \omega, \quad (4)$$

$$S_{III} = 1173 + 1173 \cdot 0,1 = 1173 + 117,3 = 1290,3 \text{ კგ.}$$

IV წერტილში საჭიროა გადაილახოს ჩამჭერისა და მიწაზე დამაგრებულ თვითხსნად ბლოკებს შორის მოქცეული საწევი ბაგირის აწევის წინააღმდეგობის ძალა,  $\alpha = 90^\circ$

$$IV - S_{IV} = S_{III} + W_{23} = S_{III} + G_1 L_{III} (\sin \alpha - \omega_2 \cos \alpha). \quad (5)$$

მივიღებთ:

$$S_{IV} = 1290,3 + 0,45 \cdot 15 (\sin 90^\circ + 0,1 \cdot \cos 90^\circ) =$$

$$= 1290,3 + 6,75(1,0 + 0) = 1290,3 + 6,75 = 1298 \text{ კგ.}$$

V წერტილში ვანგარიშობთ ჩამჭერის ბლოკის ბრუნვის წინააღმდეგობის ძალას:

$$V\_S_V = S_{IV} + W_{33} = S_{IV} + S_{IV}\omega_2, \quad (6)$$

$$S_V = 1298 + 1298 \cdot 0,1 = 1298 + 129,8 = 1427,8 \text{ კგ.}$$

VI წერტილში წინააღმდეგობის ძალა აღიბრუნება 50 მ სიგრძის საწევი ბაგირის ბლოკებზე დაკიდებულ მდგომარეობაში გადაადგილების დროს

$$S_{VI} = S_V + W_{24} = S_V + G_1 L_{II} (\sin \alpha + \omega_2 \cos \alpha). \quad (7)$$

გვექნება:

$$\begin{aligned} S_{VI} &= 1427,8 + 0,45 \cdot 50(\sin 40^\circ + 0,1 \cos 40^\circ) = \\ &= 1427,8 + 22,5(0,643 + 0,1 \cdot 0,766) = 1427,8 + 16,2 = 1444 \text{ კგ.} \end{aligned}$$

VII წერტილში ვანგარიშობთ ბლოკის ბრუნვის წინააღმდეგობის ძალას:

$$VII\_S_{VII} = S_{VI} + W_{34} = S_{VI} + S_{VI}\omega_2, \quad (8)$$

$$S_{VII} = 1444 + 1444 \cdot 0,1 = 1444 + 144,4 = 1588,4 \text{ კგ.}$$

და ბოლოს VIII წერტილში, ანუ დოღზე მიწყდომის წერტილში, უნდა განვსაზღვროთ ბლოკიდან დოღამდე საწევი ბაგირის გადაადგილების წინააღმდეგობის ძალა დახრილ სიბრტყეში

$$VIII\_S_X = S_{IX} + W_{25} = S_{IX} + G_1 L_{II} (\omega_2 \cos \alpha - \sin \alpha), \quad (9)$$

სადაც:  $\alpha = 60^\circ$ .

ფორმულაში (9) რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანით მივიღებთ:

$$\begin{aligned} S_{VIII} &= 1588,4 + 0,45 \cdot 4(0,1 \cos 60^\circ - \sin 60^\circ) = \\ &= 1588,4 + 1,8 \cdot (0,1 \cdot 0,5 - 0,866) = 1588,4 + 1,8(-0,816) = \\ &= 1588,4 - 1,47 = 1587 \text{ კგ.} \end{aligned}$$

I წერტილიდან VIII წერტილის ჩათვლით წინააღმდეგობის ძალების შეკრებით თითოეულ წერტილში მივიღებთ ჯამურ წინააღმდეგობის ძალას

$$\begin{aligned} S_X &= W_{41} + W_{21} + W_{31} + W_{23} + W_{33} + W_{24} + W_{34} + W_{25} = \\ &= 1137 + 36 + 117,3 + 6,75 + 129,8 + 16,2 + 144,4 - 1,47 = 1587 \text{ კგ.} \end{aligned}$$

მორთვევის ტექნოლოგიური პროცესის მეორე ოპერაციის განხორციელების დროს, როცა სრულდება მოჭრილი ხის ამოტანა ფერდობზე ქვევიდან ზევით, მაქსიმალური ძალაწარმოადგენს I-VIII წერტილებში მოდებული წინააღმდეგობის ძალების ჯამს I წერტილიდან, ანუ მოჭრილი ხიდან დოღზე მიწყდომის VIII წერტილამდე ტოლია  $S_{VIII} = 1587$  კგ. მდგრადობის მარაგის სტატიკური კოეფიციენტის  $n = 3,5$  გათვალისწინებით გამგლეჯი ძალა ტოლი იქნება  $S_{VIIIg} = 1587 \cdot 3,5 = 5555$  კგ.

ISO 2408 სტანდარტის მიხედვით ვირჩევთ 11 მმ დიამეტრის სატვირთო ბაგირს ორგანული გულარით, რომლის დროებითი წინააღმდეგობა 157 კგ/მმ<sup>2</sup>, გამგლეჯი ძალა 6190 კგ. მიღებული წინააღმდეგობის ძალის დასაძლევად საჭირო სიმძლავრე ტრანსმისიის მ.ქ.კ-ის გათვალისწინებით ტოლია:

$$N = \frac{S_{VIII} \cdot V}{75 \cdot \eta} = \frac{1587 \cdot 1}{75 \cdot 0,85} = 24,9 \text{ ცხ.ძ.} = 18,6 \text{ კვტ.}$$

#### დასკვნა

1. ტყეკაფითი სამუშაო პროცესების №14 ტექნოლოგიური სქემის მესამე ტექნოლოგიური პროცესის მეოთხე ოპერაციისათვის ჩატარებულია ძალური

პარამეტრების ანგარიში და განსაზღვრულია საწევ ბაგირზე მოქმედი მაქსიმალური წევის ძალის მნიშვნელობა:  $S_{VIII} = 1587$  კგ.; გამგლეჯი ძალა ტოლია  $S_{VIIIg} = 5555$  კგ.

2. ISO 2408 სტანდარტის მიხედვით შერჩეულია 11 მ დიამეტრის სატვირთო ბაგირი, ორგანული გულარით;
3. მიღებული წინააღმდეგობის ძალის დასაძლევად საჭირო სიმძლავრე ტოლია:  $N = 24,9$  ცხ.ძ. = 18,6 კვტ, რომელსაც თავისუფლად გამოიმუშავებს მთა-ს ძრავა. აქედან გამომდინარე, აღნიშნული ოპერაციის განხორციელება სავსებით შესაძლებელია.

#### გამოყენებული წყაროები და ლიტერატურა:

1. რ. ტყემალაძე, ი. გრძელიშვილი, მ. ცუცქერიძე, ნ. გელაშვილი, ზ. ჩიტძე, ზ. ბალამწარაშვილი, მოკლედისტანციური მობილური საჰაერო საბაგირო მორსათრევი დანადგარი, საქპატენტი, განაცხადი № 15565/1, თბილისი, 2021წ., 9 გვ.;
2. ზ. ბალამწარაშვილი, ი. გელაშვილი, პ. დუნდუა, ზ. ჩიტძე, ვ. აბაიშვილი, ხე-ტყის დასამზადებელი მანქანები და მოწყობილობები, (II ნაწილი) დამხმარე სახელმძღვანელო, საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 2013წ., 200 გვ.;
3. ზ. ბალამწარაშვილი, გ. კოკია, პ. დუნდუა, თ. მჭედლიშვილი, ზ. ჩიტძე, ტყეკაფითი სამუშაოების მანქანები და ტექნოლოგია მთიან პირობებში, სმმესკ ინსტიტუტი, თბილისი, 2008წ., გვ. 252.

### Short-term Mobile-Aerial Ropeway with Log Hauling Device for Various Technological Process Operations: Determination of Total Resistance Forces Ramazi Tkemaladze, Irakli Grdzeslishvili

#### Abstract

In this article, during the implementation of the technological scheme No. 14, the three main technological processes carried out by the short-distance, mobile-aerial, cable-pulling device according to different technological processes are discussed. For the fourth operation of the third technological process, a force parameter report was conducted and the value of the maximum pulling force acting on the pulley system was determined according to the pulley system of the required diameter which was selected.

### Определение суммарных сил сопротивления операциям различных технологических процессов с помощью передвижного воздушного канатного трелевочного устройство ближнего Расстояние.

Рамаз Ткемаладзе, Ираклий Грдзелишвили

#### Резюме

В статье при реализации технологической схемы № 14 рассмотрены три основных технологических процесса, осуществляемых передвижным воздушным канатным трелевочным устройством. кабелепротягивателем ближнего действия по разным технологическим процессам; Для четвертой операции третьего технологического процесса ведется протокол силовых параметров и определяется значение максимальной тяговой силы, действующей на тянувший канат, по которому выбирается тянувший канат необходимого диаметра.

## იონგაცვლით ქრომატოგრაფიის მეთოდით ფილიფსიტზე ტყვიის სორბციის შესწავლა ნუცა გვაზავა\*, ირინა უგრეხელიძე\*\*, მანანა ქოჩიაშვილი\*\*\*

\*მაგისტრი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: [nucagvazava@gmail.com](mailto:nucagvazava@gmail.com);

\*\*ასისტენტ პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,  
E-mail: [ugrekhelidzeirina04@gtu.ge](mailto:ugrekhelidzeirina04@gtu.ge);

\*\*\*ასისტენტ პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,  
E-mail: [kochiashvilimanana04@gtu.ge](mailto:kochiashvilimanana04@gtu.ge)

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, მ. კოსტავას ქ. №71, 0175, თბილისი,  
საქართველო)

**რეზიუმე:** სტატიკურ პირობებში შესწავლილია საქართველოს საბადოს ფილიფსიტზე ტყვიის სორბციის კინეტიკის დამოკიდებულება სორბენტის მარცვლის ზომაზე, ტყვიის შემცველი ხსნარის კონცენტრაციაზე და pH-ზე. დადგენილია სორბციის ოპტიმალური პირობები. შესწავლილ სისტემებში ექსპერიმენტის ჩატარების პირობებში სორბციის კინეტიკა ლიმიტირებულია დიფუზიით სორბენტის მარცვლის შიგნით.

**საკვანძო სიტყვები:** საქართველოს საბადოს ფილიფსიტზე შესწავლილია სორბციის დამოკიდებულება სორბენტის მარცვლის ზომაზე ტყვიის შემცველი ხსნარის კონცენტრაციაზე და pH-ზე.

იონური რეაქციები ხსნარებში მიმდინარეობს პრაქტიკულად სწრაფად, ხოლო ჰეტეროგენულ გრემოში გარკვეული სიჩქარით. ამიტომ ზოგიერთი ფაქტორების ცოდნა, რომლებიც განსაზღვრავენ იონგაცვლითი რეაქციების სიჩქარეს, საშუალებას იძლევა დაზუსტდეს იონგაცვლითი პროცესების ჩატარების ოპტიმალური პირობები.

ჰეტეროგენულ გარემოში იონგაცვლითი პროცესები ძირითადად ხორციელდება შემდეგ ხუთ სტადიად:

1. სორბირებული იონის გადაადგილება ხსნარიდან სორბენტის მარცვლის ზედაპირამდე.
2. სორბირებული იონის გადაადგილება მარცვლის შიგნით იონგაცვლით წერტილამდე.
3. ორმაგი გაცვლის ქიმიური რეაქცია.
4. გამოძევებული იონის გადაადგილება მარცვლის შიგნიდან მის ზედაპირამდე.
5. გამოძევებული იონის გადაადგილება მარცვლის ზედაპირიდან ხსნარში.
6. მათ შორის მესამე სტადია ახასიათებს სუფთა ქიმიურ კინეტიკას (პირველი და მეორე რიგის ქიმიურ რეაქციებს).

1; 2; 4 და 5 სტადიები კი სუფთა დიფუზიური ხასიათსაა.

როგორც ცნობილია, მრავალსაფეხურიანი პროცესის ფაზური სიჩქარე განისაზღვრება ყველაზე ნელი სტადიის სიჩქარით, ე.წ. სიჩქარის განმსაზღვრელი სტადია. ამ სტადიის გამოვლინება არის იონგაცვლის კინეტიკის შესწავლის პირველი ეტაპი.

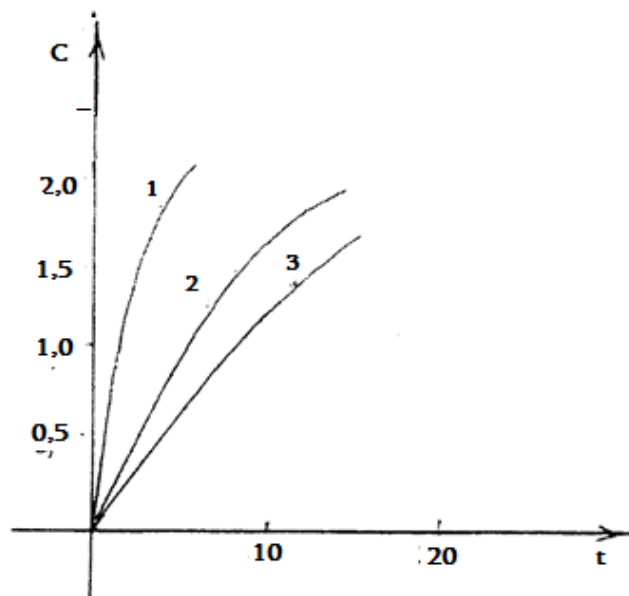


საკითხის გასარკვევად, თუ რომელი მექანიზმი - ქიმიური ან დიფუზიური - წარმოადგენს იონგაცვლითი კინეტიკის განმსაზღვრელს, ყველაზე ეფექტურ მაჩვენებლად შეიძლება ჩაითვალოს მონაცემები, რომლებიც მიღებულია იონგაცვლითი პროცესების სიჩქარის სორბენტის მარცვლის ზომაზე დამოკიდებულების შესწავლის დროს. თუ სიჩქარის განმსაზღვრელ სტადიას წარმოაგენს ქიმიური რეაქცია, მაშინ პროცესის კინეტიკა არ იქნება დამოკიდებული მარცვლის ზომაზე და პირიქით, იონგაცვლის სიჩქარის დამოკიდებულება მარცვლის ზომაზე მეტყველებს შიგა და გარე დიფუზიის გადაწყვეტ როლზე იონგაცვლის დროს (1, 2).

გარე დიფუზია შეიძლება იყოს სიჩქარის განმსაზღვრელი სტადია სისტემებში, რომელიც ხასიათდება ფიქსირებული (მოდრავი) იონების მაღალი კონცენტრაციით და ხსნარის ნელი მორევით.

ქრომატოგრაფიული სვეტების უმეტესობაში იონგაცვლის სიჩქარე განისაზღვრება მარცვლის შიგნით დიფუზიით.

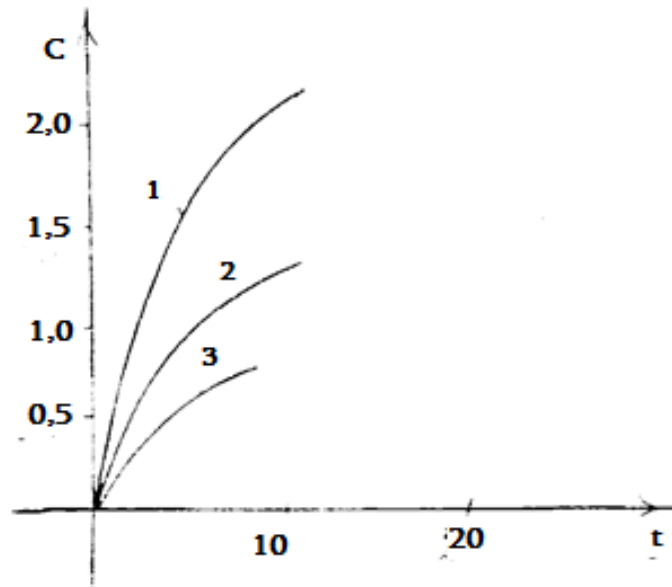
არსებობს იონგაცვლითი პროცესის სიჩქარის ლიმიტირებული სტადიის დადგენის მრავალი მეთოდი. ყველაზე ნათელ წარმოადგენს იძლევა იონგაცვლის პროცესის დამოკიდებულება სორბენტის მარცვლის ზომაზე. ამ მიზნით ექსპერიმენტები ჩატარებული იქნა სტატიკურ პირობებში: ერთ გრამ ნატრიუმით მოდიფიცირებულ ფილიფსიტს მარცვლის ზომით 0,25; 0,5 და 1 მმ ათავსებენ კონუსურ კოლბაში, უმატებენ 100 მლ ტყვიისშემცველ ხსნარს კონცენტრაციით 0,2 მგ/მლ, pH = 6 და ანჯღრევენ ორი წუთის განმავლობაში. ყოველი ორი წუთის გავლის შემდეგ იღებენ ხსნარის ალიქვოტურ ნაწილს, რომელშიაც საზღვრავენ ხსნარში დარჩენილ ტყვიის რაოდენობას ფოტომეტრული მეთოდით (3). ექსპერიმენტს ატარებენ სორბენტის ტყვიის იონებით სრულ გაჯერებაზე. მიღებული შედეგები მოცემულია ნახ.1.



ნახ. 1. ტყვიის სორბციის კინეტიკური მრუდები ფილიფსიტზე სხვადასხვა მარცვლის ზომის დროს. 1-0,25 მმ; 2-0,5 მმ; 3-1,0 მმ.

როგორც ექსპერიმენტული მონაცემებიდან ჩანს, მარცვლის ზომა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სორბციის სიჩქარეზე, კერძოდ, მარცვლის ზომის გაზრდით. სორბციის სიჩქარე მცირდება, რაც მოწმობს იმაზე, რომ ტყვიის იონების სორბციის კინეტიკა ფილიფსიტზე ლიმიტირებულია დიფუზიური პროცესით.

სორბციის კინეტიკაზე ტყვიისშემცველი ხსნარის კონცენტრაციის გავლენის შესასწავლად ექსპერიმენტები ჩატარებული იქნა სტატიკურ პირობებში: თითო გრამ ნატრიუმის იონებით მოდიფიცირებულ ფილიფსიტს მარცვლის ზომით 0,5 მმ ათავსებენ კონუსურ კოლბაში, უმატებენ 100 მლ ტყვიისშემცველ ხსნარს კონცენტრაციებით 0,1; 0,2; 0,5 მგ/ლ, pH = 6 და ანჯღრევენ ორი წუთის განმავლობაში. ყოველი ორი წუთის გავლის შემდეგ იღებენ ხსნარის ალიქვოტურ ნაწილს და მასში საზღვრავენ ხსნარში დარჩენილი ტყვიის რაოდენობას. ექსპერიმენტს აგრძელებენ სორბენტის სრულ გაჯერებამდე. მიღებული შედეგები მოცემულია ნახ. 2.



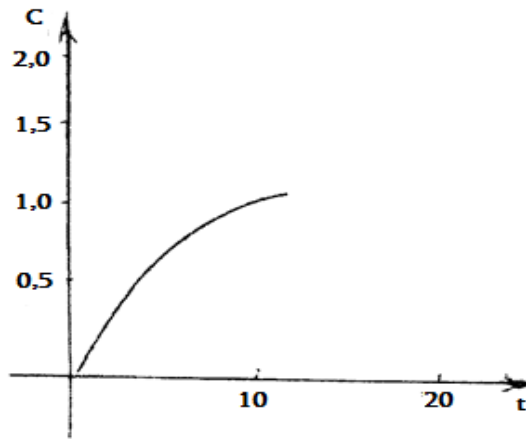
ნახ. 2. ტყვიის სორბციის კინეტიკური მრუდები ფილიფსიტზე ტყვიისშემცველი ხსნარის სხვადასხვა კონცენტრაციების დროს; 1-0,1 მგ/მლ; 2-0,2 მგ/მლ; 3-0,5 მგ/მლ

როგორც ექსპერიმენტული მონაცემები გვიჩვენებს, კონცენტრაციის გაზრდით სორბციის სიჩქარე იზრდება.

რაც შეეხება სორბციის კინეტიკაზე ხსნარის pH-ის გავლენას, ექსპერიმენტები ჩატარებულ იქნა სტატიკურ პირობებში: ერთ გრამ ნატრიუმის იონებით მოდიფიცირებულ ფილიფსიტს, მარცვლის ზომით 0,5 მმ, ათავსებენ კოლბაში, უმატებენ 100 მლ ტყვიის შემცველ ხსნარს კონცენტრაციით 0,2 მგ/მლ. ხსნარის pH-ს ცვლიდნენ 2-დან 10-მდე აზოტმჟავას და ამიაკის დამატებით. ხსნარს ანჯღრევენ ორი წუთის განმავლობაში.

ყოველი ორი წუთის შემდეგ იღებენ ხსნარის ალიქვოტურ ნაწილს, რომელშიაც საზღვრავენ ხსნარში დარჩენილი ტყვიის რაოდენობას. პროცესს აგრძელებენ სორბენტის სრულ გაჯერებამდე.

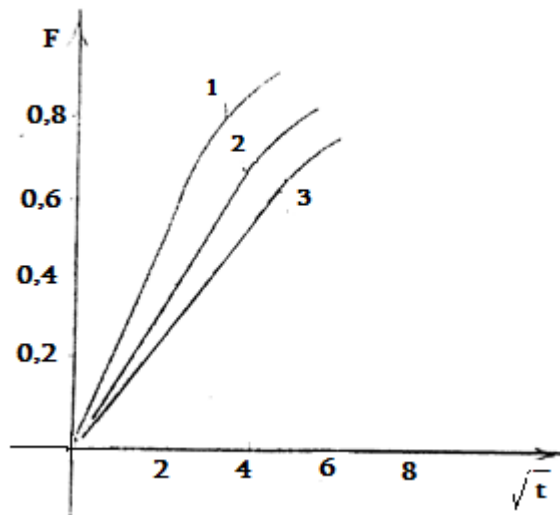
როგორც ექსპერიმენტული მონაცემები გვიჩვენებს, სორბციის მაქსიმალური სიჩქარე შეიმჩნევა pH = 6-ის დროს. pH 2-ის დროს სტატიკურ პირობებში ტყვიის სორბცია ფილიფსიტზე არ ხდება, რაც შეიძლება აიხსნას pH 2-ის ხსნარში მყოფი წყალბად იონების კონკურენციით, რაც შეეხება pH 10-ს, ტყვია გამოიყოფა ჰიდროჟანგის სახით. ნახ. 3.



ნახ. 3. ტყვიის სორბციის კინეტიკური მრუდი pH 6-ის დროს

pH-ის გავლენის მონაცემები იძლევიან არაპირდაპირ ინფორმაციას იმის შესახებ, რომ ტყვიის სორბციის კინეტიკა ლიმიტირებულია მარცვლის შიგნით დიფუზიით.

ამ დებულების შესამოწმებლად მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე, აგებული იქნა სორბციის კინეტიკის მრუდი კოორდინატებში:  $F - \sqrt{t}$ , სადაც  $F$  არის გაცვლის ხარისხი, ხოლო  $t$  - დრო. მიღებული მრუდი მოყვანილია ნახ. 4.



ნახ. 4. გაცვლის ხარისხის ( $F$ ) დროსთან ( $t$ ) დამოკიდებულების მრუდები ფილიფსიტის სხვადასხვა მარცვლის ზომის დროს.

1 - 0,25 მმ; 2 - 0,5 მმ; 3 - 1,0 მმ

როგორც ნახ. 4. ჩანს, ეს მრუდები დასაწყის ნაწილში წარმოადგენენ სწორ ხაზს, რომელიც შემდეგ გადადის მრუდხაზოვან დამოკიდებულებაში, რაც ადასტურებს მოსაზრებას, რომ შესწავლილ სისტემებში ექსპერიმენტის პარამეტრების ფარგლებში ტყვიის სორბციის კინეტიკა ლიმიტირებულია მარცვლის შიგნით დიფუზიით.

ამრიგად, მიღებული შედეგების საფუძველზე შეიძლება ფილიფსიტზე ტყვიის სორბციის კინეტიკის შემდეგი ოპტიმალური პირობების რეკომენდაცია: სორბენტის მარცვლის ზომა 0,5 მმ, ტყვიის შემცველი ხსნარის კონცენტრაცია 0,2 მგ/მლ, ხსნარის pH 6.

სტატიკური მეთოდით დადგენილი შიგა დიფუზიური მექანიზმი სრულიად ემთხვევა ამავე კათედრაზე ჩვენს მიერ შესრულებულ სამუშაოებში სორბციის დინამიკურ პირობებში წყვეტის მეთოდით დადგენილ კინეტიკის მექანიზმს (4). მეთოდის არსი მდგომარეობს შემდეგში: სანამ სისტემა მიაღწევს წონასწორობას, თუ შევწყვეტთ კონტაქტს სორბენტსა და გატარებულ ხსნარს შორის გარკვეული დროით (24 საათი) და შემდეგ კვლავ შევაერთებთ ფაზებს, მაშინ გარე დიფუზიის კინეტიკის შემთხვევაში სორბციის სიჩქარე ფაზების შეერთების პირველ მომენტში რჩება უცვლელი. შიგა დიფუზიური კინეტიკის შემთხვევაში სიჩქარე იზრდება მარცვლის შიგნით სორბირებული იონის კონცენტრაციის გრადიენტის გათანაბრების ხარჯზე. ამ შემთხვევაში სორბციის მრუდზე შეიმჩნევა წყვეტის პროცესი.

სორბციის მრუდებზე განუწყვეტლობის შეწყვეტა ადასტურებს, რომ სორბციის კინეტიკის პროცესის ლიმიტირებულ სტადიას შესწავლილ პირობებში წარმოადგენს დიფუზია მარცვლის შიგნით.

### გამოყენებული წყაროები და ლიტერატურა

1. Практическое руководство по жидкостной хроматографии. Перри С., Амос Р., Брюер П. Пер. с английского, под. редакций Чмутова К.В. М. Мир, 1974
2. Ионообменный хроматографический анализ меттадов. Шемякин Ф.А., Степин В.В. М. Изд. Метталургия, 1970
3. Новый реагент на свинец. Лукин А.М., Петрова Г.С. Тр. ИРЕА, т.5, 1960
4. Гудушаури Ц.Н., Броучек Ф.И. Изд. АН ГССР, серия химическая, т. 11, №1, 1985

### **The Study of Kinetics of Lead Sorption on Phillipsite** **Nutsa Gvazava, Irina Ugrehelidze, Manana Kochiashvili**

#### **Abstract**

Kinetic dependence of Lead sorption on grain size of sorbent, concentration and pH of Lead containing solution has been studied in the stationary conditions on Phillipsite from Georgian mines. The limiting mechanism of sorption kinetics is the diffusion inside the sorbent grain of the studied systems in the experimental conditions.

### **Изучение кинетики сорбции свинца на филлипсите** **месторождения Грузии** **Нуца Гвазава, Ирина Угрехелидзе, Манана Кочиашвили** **Резюме**

В статистических условиях изучена зависимость кинетики сорбции свинца на приподном цеолите Филлипсите от следующих факторов размера зерна, концентрации и pH свинецсодержащего раствора. Установлены оптимальные условия сорбции свинца на данном сорбенте. В изученных системах в условиях проведения эксперимента кинетика сорбции свинца лимитирована внутри зерна сорбента.

# Comprehensive literature review on existing frameworks of Complementarity Between Human skills and AI Technologies in manufacturing industry

Luka Kemoklidze\*, Otar Zumburidze\*\*, Colin Rigby\*\*\*, Boris Gitolendia\*\*\*\*

\*Phd Student, Georgian Technical University, E-mail: l.kemoklidze@gtu.ge;

\*\*Professor, Georgian Technical University, E-mail: o\_zumburidze@gtu.ge;

\*\*\*Reader and Director of Enterprise, Keele University, E-mail: c.a.rigby@keele.ac.uk;

\*\*\*\*Associated Professor, Georgian Technical University, E-mail: boris.gitolendia@gtu.ge

(Georgian Technical University, M. Kostava St. №71, 0175 Tbilisi, Georgia)

*The research was carried out with the support of "Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia" (Grant No. PHDF-23-202)*

**Abstract:** *This study proposes an assessment framework to evaluate AI integration in manufacturing. It considers human factors alongside technical aspects like efficiency. Analyzing research, the paper highlights AI's multifaceted impact, and proposes KPIs like Overall Equipment Effectiveness (OEE) to measure success. The framework ensures AI complements, not replaces, human intelligence.*

**Keywords:** AI Integration; Manufacturing; Human Factors; Efficiency; Multifaceted Impact; Overall Equipment Effectiveness (OEE); Complementary Intelligence.

## Introduction

The integration of AI in manufacturing presents a paradigm shift, not just an upgrade. This necessitates a framework to assess its impact on efficiency, workforce, and human-AI collaboration. AI's influence extends beyond automation, introducing intelligent machines that can learn and adapt (a leap from rule-based to adaptive systems). This transformation, as highlighted in the research, improves efficiency, reduces waste, and fosters innovation. However, the human element remains crucial. The interplay between human and AI skills offers immense potential, but also challenges in optimizing this collaboration. Questions arise about future human roles and how AI can augment, not replace, human skillsets. A robust assessment framework is essential to navigate this. This framework should encompass more than just technical and economic metrics. It should consider human factors like the impact of AI on workforce dynamics (as measured by changes in job roles and skill requirements), job satisfaction, and broader socio-economic implications. This review aims to develop such a framework by analyzing current research on AI-human collaboration. We'll examine various aspects of AI integration, including technical efficiency, data management, safety, ethics, and workforce adaptation. This will provide a comprehensive understanding of AI's role in modern manufacturing and its impact on the workforce and the industry as a whole.

## 1. Multidimensional AI Integration and Decision-Making

The industrial IoT landscape is evolving with AI, creating a smarter, more interconnected manufacturing ecosystem (Trakadas et al., 2020). This goes beyond automation, fostering a data-driven decision-making environment. AI integration encompasses aspects like business intelligence and production process optimization, all secured by collaborative AI systems. AI's role in decision-making isn't limited to basic operations. It includes complex analytics and predictive modeling, impacting efficiency and productivity significantly. Huang and Rust (2021) discuss how AI augments human decision-making and even allows machines to actively participate in problem-solving and strategic planning. To assess this impact, a comprehensive framework is needed. Metrics like equipment uptime and reduced maintenance costs can quantify the impact of AI in predictive maintenance. Similarly, improved demand forecasting and inventory optimization can measure AI's influence on supply chain management. However, human-AI balance is crucial. While AI excels at data analysis, human expertise is irreplaceable for context, nuance, and ethics. The assessment framework should evaluate how AI complements human decision-making - ensuring it supports, not replaces, human intelligence. Quantitatively, this could involve decision accuracy, time taken, and economic impact. Qualitatively, it could assess user trust in AI decisions, human-AI interaction levels, and decision-maker satisfaction with AI support. Wang et al. (2020) explore VQA with digital twins to improve human-machine collaboration efficiency.

## 2. Safety, Ethics, and Blockchain-Enhanced Frameworks in AI Integration

AI in manufacturing demands rigorous safety and ethical considerations (Valori et al., 2021). Machines making decisions and interacting with humans raise safety and ethical concerns. Assessment criteria must evaluate AI for adherence to safety protocols and ethical norms. A comprehensive framework should consider:

**Transparency:** Can AI explain its decisions to humans for trust-building?

**Fairness:** Does AI avoid bias in decision-making and outcomes?

Quantitatively, safety compliance scores based on industry standards and frequency of AI-related incidents can be measured. Qualitatively, we can assess worker perceptions of safety with AI. Ouyang et al. (2022) propose blockchain-enhanced AI frameworks to improve security and transparency. Blockchain's decentralization and immutability can create a secure record of AI actions, especially useful in supply chains. Assessment criteria could involve: **Traceability:** How well can AI decisions be tracked (e.g., reduced discrepancies in logs)? Bezrukova et al. (2023) explore the human factors influencing AI adoption and collaboration in teams. Their research **provides insights into how attitudes towards AI impact collaborative efforts.**

## 3. Adaptability and Human-Centric AI Systems in AI-integrated Manufacturing

The focus of AI in manufacturing isn't just efficiency and automation; it's about adaptability to human needs (Buerkle et al., 2021). Adaptive human sensor frameworks allow AI systems to respond dynamically to human actions and environmental changes, improving safety and efficiency in collaborative tasks. To assess this adaptability, we need to consider

how the system learns from and responds to human actions, adapts to changes in the environment, and handles unexpected events. This can be measured by the system's response time to human input, accuracy in varying conditions, and successful task completion rate in collaborative settings. Additionally, the impact of AI adaptability on collaboration should be evaluated. This involves how adaptive AI systems contribute to reducing human workload, preventing accidents, and enhancing overall task performance. A key metric here could be the reduction in accidents and errors due to AI. Further emphasizing this concept, Zhao et al. (2022) discuss adaptation in team settings. AI should adapt to both individual and team dynamics. Assessment criteria should consider the effectiveness of AI systems in facilitating team coordination, communication, and joint decision-making. Metrics can combine performance (task completion, error reduction) with human factors (worker satisfaction, perceived workload reduction). Advanced data analytics on AI-human interactions can further refine the assessment. Muller & Weisz (2022) explore dynamism and sociality in human-AI collaboration, highlighting how these factors influence collaborative effectiveness.

#### 4. Workforce Skills and Process Optimization in AI-Enhanced Manufacturing

AI in manufacturing necessitates a reevaluation of workforce skills (Nixdorf et al., 2021). We need assessment frameworks to evaluate training programs for AI-integrated processes. These frameworks should consider: **Skills Alignment:** Does training equip workers with the skills needed for AI-powered processes? **Workforce Adaptability:** Can workers effectively adapt to and leverage AI technologies? Metrics could include the percentage of workers trained, skill acquisition rate, and training's impact on performance and satisfaction. Employee attitudes towards AI and the value they see in training programs are also crucial qualitative aspects. Papadopoulos et al. (2022) highlight AI's data-driven nature. Assessment criteria should consider data management and its impact on: **Productivity:** How does AI contribute to production improvements? **Quality Control:** Does AI lead to higher quality products? **Predictive Maintenance:** Does AI reduce downtime through maintenance forecasts? Metrics could measure reductions in downtime, quality improvements, and overall efficiency gains due to AI. Mourtzis and Angelopoulos (2020) propose AR tools for understanding AI. Assessment should include the effectiveness of such tools in: **Ease of Use:** Are these tools user-friendly for employees? **Learning Outcomes:** Do the tools enhance learning about AI applications? **Bridging the Gap:** Do they connect AI technology to practical use cases? This framework should balance quantitative and qualitative metrics to capture the multifaceted impact of AI, encompassing both technical process improvements and human-centric aspects like skill development and job satisfaction. Esfahani et al. (2022) propose a "symbiotic Human-AI partnership" for next-generation manufacturing environments, fostering collaboration and efficiency.

#### 5. Adaptability and Security in AI-Integrated Manufacturing

The adaptability of AI systems to changes in the manufacturing environment and workforce dynamics is a critical factor for modern manufacturing. Szajna and Kostrzewski (2022) discuss the challenges of high employee turnover in manufacturing and the role of AI in addressing these challenges. A key aspect of adaptability is how well AI systems can maintain operational efficiency amidst changing human workforce patterns. Assessment criteria in this area should measure the resilience of AI systems to workforce fluctuations and their capacity

to support consistent production quality and efficiency. Quantitative metrics for AI adaptability could include the time required for AI systems to adjust to new operators or changes in production processes, as well as the rate of error or downtime during such transitions. Qualitatively, assessments could explore employee perceptions of AI support during workforce transitions and the impact of AI on easing the onboarding process for new workers. In addition to adaptability, security remains a paramount concern in AI-integrated manufacturing systems. Bécue, Praça, and Gama (2021) highlight the security challenges and opportunities presented by AI in manufacturing. This underscores the need for robust security measures within AI systems to protect against cyber threats and data breaches. Assessment criteria here must evaluate the effectiveness of AI systems in safeguarding sensitive data and maintaining operational integrity. Security assessment criteria could involve measuring the frequency and severity of security breaches in AI-integrated systems, the effectiveness of AI-driven security protocols in detecting and mitigating threats, and the system's compliance with industry-standard cybersecurity practices. Additionally, employee confidence in the security of AI systems can provide insight into the perceived reliability and trustworthiness of AI in handling sensitive data and operations.

## **6. Future Work Dynamics and Human-Cyber-Physical Systems in AI-Integrated Manufacturing**

The evolving role of AI in manufacturing necessitates a robust assessment framework to ensure its positive impact on both efficiency and the workforce. This framework should consider how AI transforms job roles, as highlighted by Willcocks (2020). As automation increases, tasks will shift, with new opportunities emerging in AI management and collaboration. Metrics here could track the automation rate, the creation of AI-related jobs, and changes in workforce composition. Beyond quantitative measures, the framework should also capture qualitative aspects like employee perceptions of job security, satisfaction with AI interaction, and career development prospects. Furthermore, the concept of Human-Cyber-Physical Systems (HCPS) by Zhou et al. (2019) emphasizes the integration of human intelligence, AI, and physical processes. Assessment criteria should encompass how seamlessly these components collaborate, reflected in metrics like synchronization levels, efficiency gains, and the level of innovation fostered by HCPS. Worker engagement and satisfaction within HCPS environments are also crucial. In both workforce dynamics and HCPS, a human-centric approach is paramount. AI should augment human capabilities, not replace them. This necessitates an assessment framework that goes beyond just productivity and efficiency gains. It should also consider human factors like job enrichment, skill development, and worker well-being. Research by Wang et al. (2020) on the transition from human-human to human-AI collaboration offers valuable insights for designing AI systems that effectively work alongside humans in manufacturing.

## **Conclusion and Future Research Directions**

This comprehensive literature review delves into the multifaceted landscape of AI-human collaboration within the manufacturing industry. It underscores the transformative power of AI, extending beyond mere automation to significantly impact decision-making, operational optimization, safety management, environmental adaptability, and robust security protocols. Each of these aspects, meticulously detailed in the preceding sections, informs the



conceptualization of a robust assessment framework for AI-human collaboration in manufacturing environments. The following table summarizes key performance indicators (KPIs) for evaluating the multifaceted impact of AI in manufacturing.

Aspect	Description	Example Metrics
Technical Efficiency	How AI impacts manufacturing efficiency	Overall Equipment Effectiveness (OEE)
Data Management	How effectively AI utilizes data	Data processing speed, Accuracy in predictive analytics
Safety and Ethics	Adherence to safety standards and ethical guidelines	Safety incident rates, Ethical compliance audits
Workforce Adaptability	How well the workforce adopts AI tools	Rate of successful adoption, Efficiency improvements post-adoption
Security	Measures to safeguard sensitive data and maintain operational integrity	Frequency and severity of security breaches, Response time to security breaches

1. **Technical Efficiency:** Metrics like Overall Equipment Effectiveness (OEE) quantify the impact on manufacturing efficiency. OEE reflects the interplay between availability, performance, and quality within a production system.

$$OEE = \frac{Availability \times Performance \times Quality}{100}$$

2. **Data Management:** The framework should assess the effectiveness of AI systems in data utilization, measured by data processing speed and accuracy in predictive analytics. Efficient data management is crucial for accurate AI predictions and informed decision-making.

3. **Safety and Ethics:** Criteria should incorporate compliance with established safety standards (e.g., ISO 45001) and ethical guidelines. This could be evaluated through safety incident rates and ethical compliance audits, ensuring responsible AI implementation.

4. **Workforce Adaptability:** Metrics could include the rate of successful adoption of AI tools by the workforce and the efficiency improvements post-adoption. Assessing workforce adaptability is crucial to ensure a smooth transition and maximize the benefits of AI integration.

5. **Security:** Security metrics involve evaluating the frequency and severity of cybersecurity incidents and the response time to security breaches. Robust security protocols are essential to protect sensitive data and maintain operational integrity.

Balancing AI with Human Intelligence: A critical component of the assessment framework involves evaluating how AI complements human intelligence rather than replacing it. This balance can be assessed through criteria like the level of human intervention required in AI decisions and the impact of AI on enhancing human skillsets. Striking this balance is crucial to ensure a collaborative and productive working environment. Quantitative and Qualitative Metrics: Both quantitative and qualitative metrics are vital for a comprehensive assessment. Quantitative measures could involve error rates, downtime reductions, and compliance scores. Qualitative measures could utilize employee surveys to gauge perceptions and attitudes towards AI integration. This combined approach provides a holistic understanding of the impact of AI-human collaboration.

### Future Research Directions

*In-depth Empirical Studies:* Extensive empirical research is necessary to validate and refine the proposed assessment criteria. This could involve longitudinal studies in diverse manufacturing settings to observe the long-term impacts of AI integration on factors like efficiency, safety, and workforce dynamics. *Adapting to AI Advancements:* As AI technology continues its rapid evolution, ongoing research must adapt accordingly. Future studies should focus on how new AI technologies can be integrated into manufacturing processes, assessing their implications for efficiency, workforce dynamics, and ethical considerations. *Human-Centric AI Applications:* Further research into human-centric AI applications in manufacturing is paramount. This involves exploring how AI can be designed and implemented to augment human skills, enhance job satisfaction, and contribute positively to the overall workplace environment. Optimizing human-AI interaction is vital for maximizing the overall success of AI integration.

### Conclusion

The integration of AI into manufacturing represents a significant paradigm shift, necessitating careful navigation and thorough assessment. By developing comprehensive and dynamic assessment criteria, stakeholders in the manufacturing industry can ensure that AI-human collaboration is optimized for efficiency, safety, and workforce empowerment. This literature review lays a solid foundation for such development, providing insights and a roadmap for future research in this rapidly evolving field. The future of manufacturing hinges on a balanced and human-centric approach to AI integration, and continued research will be critical to navigating this transformative journey.

### Bibliography

1. Trakadas, P., Simoens, P., Gkonis, P., Sarakis, L., Angelopoulos, A., Ramallo-González, A., Gómez-Skarmeta, A., Trochoutsos, C., Calvomicon, D., Pariente, T., Chintamani, K., Fernández, I., Arnaiz Irigaray, A., Parreira, J., Petrali, P., Leligou, N., Karkazis, P. (2020). "An Artificial Intelligence-Based Collaboration Approach in Industrial IoT Manufacturing: Key Concepts, Architectural Extensions and Potential Applications." *Sensors* (Basel, Switzerland), (<https://www.mdpi.com/1424-8220/20/19/5480>)
2. Ming-Hui Huang, Roland T. Rust, A Framework for Collaborative Artificial Intelligence in Marketing, *Journal of Retailing*, Volume 98, Issue 2, 2022, Pages 209-223, ISSN 0022-4359, <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2021.03.001>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022435921000142>)
3. Aline F.S. Borges, Laurindo F, Spínola, Gonçalves, Mattos, The strategic use of artificial intelligence in the digital era: Systematic literature review and future research directions, *International Journal of Information Management*, Volume 57, 2021, 102225, ISSN 0268-4012, <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102225>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268401219317906>)
4. Valori, M., Scibilia, A., Fassi, I., Saenz, J. F., Behrens, R., Herbster, S., Bidard, C., Lucet, E., Magisson, A., Schaake, L., Bessler, J., Prange-Lasonder, G., Kühnrich, M., Lassen, A.

- B., Nielsen, K. (2021). "Validating Safety in Human-Robot Collaboration: Standards and New Perspectives." *Robotics*, 10, 65. (<https://www.mdpi.com/2218-6581/10/1/65>)
5. Ouyang, L., Yuan, Y., Wang, F. (2022). "Learning Markets: An AI Collaboration Framework Based on Blockchain and Smart Contracts." *IEEE Internet of Things Journal*, 9, 14273-14286. (<https://ieeexplore.ieee.org/document/9481001>)
6. Buerkle, A., Matharu, H., Al-Yacoub, A., Lohse, N., Bamber, T., Ferreira, P. (2021). "An adaptive human sensor framework for human-robot collaboration." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119, 1233-1248 (<https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-021-07228-1>)
7. Zhao, M., Simmons, R. G., Admoni, H. (2022). "The Role of Adaptation in Collective Human-AI Teaming." *Topics in cognitive science*. (<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/tops.12533>)
8. Nixdorf, S., Ansari, F., & Sihn, W. (2021). "Work-Based Learning in Smart Manufacturing: Current State and Future Perspectives." *Social Science Research Network*. ([https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3858379](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3858379))
9. Papadopoulos, T., Sivarajah, U., Spanaki, K., Despoudi, S., & Gunasekaran, A. (2022). "Editorial: Artificial Intelligence (AI) and data sharing in manufacturing, production and operations management research." *International Journal of Production Research*. (<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2021.2010979>)
10. Mourtzis, D., & Angelopoulos, J. (2020). "An intelligent framework for modelling and simulation of artificial neural networks (ANNs) based on augmented reality." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. (<https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-020-06192-y>)
11. Willcocks, L. (2020). "Robo-Apocalypse cancelled? Reframing the automation and future of work debate." *Journal of Information Technology*. (<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0268396220925830>)
12. Zhou, J., Zhou, Y., Wang, B., & Zang, J. Y. (2019). "Human-Cyber-Physical Systems (HCPSs) in the Context of New-Generation Intelligent Manufacturing." *Engineering*. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809919302905>)
13. Muller, M. J., Weisz, J. D. (2022). "Extending a Human-AI Collaboration Framework with Dynamism and Sociality." *2022 Symposium on Human-Computer Interaction for Work*. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3533406.3533407>
14. Esfahani, E., He, B., Chu, C.-H., Liu, Y., Rai, R., Ameta, G. (2022). "Special Issue: Symbiotic Human-AI Partnership for Next Generation Factories." *Journal of Computing and Information Science in Engineering*. <https://asmedigitalcollection.asme.org/computingengineering/article/22/5/050301/1141285/Special-Section-Symbiotic-Human-Artificial>
15. Bezrukova, K., Griffith, T. L., Spell, C., Rice, V., Yang, H. E. (2023). "Artificial Intelligence and Groups: Effects of Attitudes and Discretion on Collaboration." *Group & Organization Management*. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/10596011231160574>
16. Wang, D., Churchill, E., Maes, P., Fan, X., Shneiderman, B., Shi, Y., Wang, Q. (2020). "From Human-Human Collaboration to Human-AI Collaboration: Designing AI Systems That Can Work Together with People." *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3334480.3381069>

17. Tian Wang, Jiakun Li, Zhaoning Kong, Xin Liu, Hichem Snoussi, Hongqiang Lv, Digital twin improved via visual question answering for vision-language interactive mode in human-machine collaboration, Journal of Manufacturing Systems, Volume 58, Part B, 2021, Pages 261-269, ISSN 0278-6125, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.07.011>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612520301217>)
18. Inkpen, K., Chappidi, S., Mallari, K., Nushi, B., Ramesh, D., Michelucci, P., Mandava, V., Vepřek, L. H., Quinn, G. (2022). "Advancing Human-AI Complementarity: The Impact of User Expertise and Algorithmic Tuning on Joint Decision Making." TOCHI. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3534561>

**Комплексный обзор литературы по существующим основам  
взаимодополняемости человеческих навыков и технологий искусственного  
интеллекта в обрабатывающей промышленности**

**Лука Кемоклидзе, Отар Зумбуридзе, Колин Ригби, Борис Гитолендия**

**Резюме**

В статье предлагается оценочная структура для анализа внедрения ИИ на производстве. Она учитывает человеческий фактор наряду с техническими аспектами, такими как эффективность. Рассматривая исследования, статья подчеркивает многогранное влияние ИИ и предлагает ключевые показатели эффективности (КПЭ), такие как общий коэффициент эффективности оборудования (ОЕЕ) для измерения успеха. Структура гарантирует, что ИИ дополняет, а не заменяет человеческий интеллект.

**ყოვლისმომცველი ლიტერატურის მიმოხილვა წარმოების ინდუსტრიაში  
ადამიანის უნარებსა და ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიების  
კომპლემენტარულობის არსებული ჩარჩოების შესახებ  
ლუკა ქემოკლიძე, ოთარ ზუმბურიძე, კოლინ რიგბი, ბორის გითოლენდია  
რეზიუმე**

სტატიაში წარმოდგენილია შეფასების ჩარჩოს შექმნის საკითხები წარმოებაში, ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიათა (AI) დანერგვის ანალიზის მეშვეობით. ტექნიკურ ასპექტებთან ერთად აღნიშნულ ჩარჩოში გათვალისწინებულია ადამიანური ფაქტორები (გამოყენების სიმარტივე, ადაპტაბელობა, ა.შ.). არსებული ლიტერატურის მიმოხილვის გზით, სტატიაში განხილულია AI ტექნოლოგიების მრავალმხრივი გავლენა და გვთავაზობს შესრულების ძირითად ინდიკატორებს (KPI), როგორცაა მთლიანი აღჭურვილობის ეფექტურობა (OEE) და სხვა. აღნიშნული თეორიული ჩარჩო წარმოადგენს წინაპირობას მისი გამოცდისა და დახვეწისათვის.

# ხელოვნური ინტელექტის როლი ლოგისტიკისა და სატრანსპორტო სისტემების განვითარებაში

ვაჟა ზეიკიძე\*, გიორგი მაისურაძე\*\*, თამარ კილაძე\*\*\*,

იულია თედევი\*\*\*\*, მარი პაპიძე\*\*\*\*\*

\*ასოცირებული პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი; E-mail: [v.zeikidze@gtu.ge](mailto:v.zeikidze@gtu.ge)

\*\*პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი; E-mail: [g.maisuradze@gtu.ge](mailto:g.maisuradze@gtu.ge)

\*\*\*პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი; E-mail: [t.kiladze@gtu.ge](mailto:t.kiladze@gtu.ge)

\*\*\*\*ასისტენტ პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი; E-mail: [tedeviulia05@gtu.ge](mailto:tedeviulia05@gtu.ge)

\*\*\*\*\*სტუდენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი; E-mail: [maripapidze1998@gmail.com](mailto:maripapidze1998@gmail.com)

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, მ. კოსტავას ქ. №71, 0175, თბილისი,  
საქართველო)

**რეზიუმე:** ხელოვნური ინტელექტის (AI) გამოყენება თანამედროვე მსოფლიოში სწრაფად იზრდება და მასთან დაკავშირებული თემატიკა აქტიურად დომინირებს ლოგისტიკური და სატრანსპორტო სისტემების განვითარებაში. წარმოდგენილი სამეცნიერო ნაშრომი მიზნად ისახავს წარმოაჩინოს ქვეყანაში ლოგისტიკისა და სატრანსპორტო სისტემების მენეჯმენტის სფეროში თანამედროვე (AI) ტექნოლოგიების გამოყენების პროცესების გაუმჯობესება, ქვეყანაში უნიკალური უცხოური გამოცდილების გამოყენების დანერგვით ლოგისტიკური და სატრანსპორტო სისტემების მართვის სრულყოფას.

**საკვანძო სიტყვები:** ხელოვნური ინტელექტი, რობოტები, ლოგისტიკა, ტრანსპორტი.

## შესავალი

ნებისმიერ ქვეყანაში ხელოვნური ინტელექტის დანერგვისთვის აუცილებელია წინაპირობების არსებობა, როგორცაა: მაღალგანვითარებული ICT ინფრასტრუქტურა, ინფორმაციული სისტემების გამართული ფუნქციონირება, მონაცემთა ბაზების გაციფრულება, კვალიფიციური ადამიანური რესურსების არსებობა, ეთიკური სტანდარტების, საკანონმდებლო, სტრატეგიული და მარეგულირებელი ჩარჩოს ფორმირება. ყოველივე ეს მოიაზრება, როგორც ხელშემწყობი მექანიზმი ქვეყანაში ხელოვნური ინტელექტის წარმატებით განვითარებისთვის. თავის მხრივ ხელოვნური ინტელექტის განვითარება ქვეყანას მოუტანს ეკონომიკურ ზრდას, სოციალურ კეთილდღეობას, გაუმჯობესებულ ლოგისტიკურ და სატრანსპორტო სისტემების ფართო ქსელს.

## ძირითადი ტექსტი

ხელოვნური ინტელექტის გამოყენებით მხარდაჭერილ მომსახურებას დიდი სიკეთის მოტანა შეუძლია საქართველოს მოსახლეობისათვის. ამ ტექნოლოგიების დანერგვით სახეზე გვექნება ქვეყნის ეროვნული რესურსების დაზოგვის და ეკონომიკის ეფექტური გაძლიერების ფართო შესაძლებლობები. ამერიკის შეერთებულმა შტატებმა 2016

წელს პირველებმა შეიმუშავეს AI-ის ეროვნული სტრატეგია. აშშ სილიკონ ველის მაღალტექნოლოგიური ჰაბით და სტარტაპების კერძო სექტორით ინოვაციურ უპირატესობას ფლობს მსოფლიოში, მაგრამ ამავე დროს ევროკავშირიც სტრატეგიული და სამართლებრივ-ეთიკური ჩარჩოს ფორმირების მაღალი დონით გამოირჩევა. ევროკავშირის წევრ ქვეყნებს შემუშავებული აქვთ სტრატეგიული ჩარჩო და სამოქმედო გეგმა ხელოვნური ინტელექტის განვითარებისთვის.

ხელოვნური ინტელექტის განვითარების კუთხით მსოფლიოში აშშ და ჩინეთი ლიდერობენ. ამ ორ ქვეყანაში შექმნილ ხელოვნური ინტელექტის 4643 კომპანიაში ჯამურად 250 მილიარდი აშშ დოლარის ინვესტიცია განხორციელდა. რეიტინგში მესამე პოზიციას დიდი ბრიტანეთი იკავებს და 2013-2022 წლების პერიოდში ამ ქვეყანაში 630 ხელოვნური ინტელექტის სტარტაპი დაფუძნდა 18 მილიარდიანი აშშ დოლარის ინვესტიციით.

თანამედროვე მსოფლიოში ხელოვნური ინტელექტი მუდმივი განახლებადი სფეროა, რომელიც ადამიანის საქმიანობის არაერთი მიმართულება მოიცავს, მათ შორისაა ლოგისტიკური და სატრანსპორტო სისტემები. ხელოვნური ინტელექტი ლოგისტიკასთან, მიწოდების ჯაჭვთან და სატრანსპორტო სისტემებთან მჭიდროდ გადაჯაჭვული ინდუსტრიაა: თვითმართვადი სატრანსპორტო სისტემები, რობოტო ტექნიკით მართვადი სატრანსპორტო და სამრეწველო კონვეიერები. ავტომატურად მოძრავი ლიფტი ასეულ წელზე მეტია არსებობს, რკინიგზის მოძრავ შემადგენლობას და მეტროს ავტონომიურად ინტელექტუალურად უფრო მეტი შესაძლებლობა აქვს ხელოვნური ინტელექტის გამოყენების. მომავალში სატრანსპორტო სფეროში უნდა ველოდოთ ხელოვნური ინტელექტის ფართოდ გამოყენებას. AI-ზე მომუშავე ალგორითმების საშუალებით შესაძლებელია სატრანსპორტო მარშრუტების ოპტიმიზაცია, რასაც მივყავართ სატრანსპორტო ხარჯების შემცირებასთან, საწვავის ეკონომიასთან, ტვირთების მოწოდების დროის ოპტიმიზაციასთან.

ხელოვნური ინტელექტით დაპროგრამებულ რობოტებს შესწევთ უნარი გაამარტივონ სასაწყობო ოპერაციები, მაღალი სისუსტიდ უზრუნველყონ მასალების შეფუთვა, დასაწყობება და შეამცირონ შრომითი დანახარჯები ლოგისტიკის სფეროში. ლოგისტიკურ კომპანიებში მომხმარებლებთან სისტემატური კონტაქტი გადამწყვეტია. ლოგისტიკურ კომპანიებში ჩატბოტების გამოყენება მომხმარებელს საშუალებას მისცემს მყისიერად მიიღოს ინფორმაცია მიწოდების სტატუსის, ფასების, მიწოდების დროზე და ა.შ. ლოგისტიკის სფეროში ხელოვნური ინტელექტი წარმატებით ასრულებს სასაქონლო ნაკდების ეფექტური მეთოდებით დამუშავებას, როგორც საწყობებში ისე ტრანსპორტირების ფაზაში.

AI-ზე დაფუძნებულ საწყობის მენეჯმენტს წარმატებით შეუძლიათ შეასრულონ საწყობებში მიმდინარე ყველა აქტივობა. ამ კუთხით საუკეთესო მაგალითია კომპანია Boston Dynamics, რომელმაც ლოგისტიკის სამუშაოების გასამარტივებლად შექმნა რობოტები, რომელიც ავტომატურად ასრულებს მტვირთავის სამუშაოს, საქონელს ალაგებს ყუთებში და გადააქვს ისინი ერთი ადგილიდან მეორემდე. სამრეწველო რობოტების კომპანია ABB მიზნად ისახავს აქტიურად ჩაერთოს ლოგისტიკაში და მის მიერ წარმოებული რობოტები გამოყენებული იქნება დიდ საწყობებში, როგორცაა Amazon-ის საქონლის შეფუთვისა და გადაზიდვისათვის.

Boston Dynamics-მა შექმნა კომერციული რობოტი „სთრეჩი“, რომელსაც შესწევს უნარი დატვირთული სატვირთო ავტომობილის გადმოტვირთვის, ტვირთების საწყობში

განლაგების, რიგის მიხედვით დალაგების და ა.შ. სატრანსპორტო სექტორში კომპანია ჰიუნდაიმ წარმოადგინა Personal Mobility - მცირე ზომის თვითმართვადი სატრანსპორტო საშუალება, Logistics Mobility - კომერციული საქმიანობისთვის განკუთვნილი მცირე ზომის თვითმართვადი სატვირთო და შესწევს უნარი დამოუკიდებლად გადაიტანოს ტვირთი.

თანამედროვე ტექნოლოგიური კომპანიები სულ უფრო აქტიურად იყენებენ ხელოვნურ ინტელექტს, მაგალითად Amazoni-ის რობოტების და ადამიანური თანამშრომლების სტატისტიკამ 2013-2022 წლებში გვიჩვენებს, რომ ხელოვნური ინტელექტის წილი ამ პერიოდში თითქმის 52,0 ჯერ გაიზარდა. Amazon ძირითადად იყენებს რობოტებს ლოგისტიკასა და მომსახურების ოპერაციებისათვის, რომლებიც ახორციელებენ პროდუქციის საწყობებში გადაადგილებას, შეფუთვის და გაგზავნას. Amazon-ი წარმატებით იყენებს ხელოვნურ ინტელექტს პროდუქციის დახარისხების ცენტრებში, რომლის საშუალებითაც ხდება პაკეტების დახარისხება დანიშნულების მიხედვით. კომპანია ამაზონი ასევე წარმატებით იყენებს დრონებს საქონლის მომხმარებლებთან მიწოდებისათვის. შესაფუთი რობოტების გლობალური მსოფლიო ბაზარის მოცულობა 2027 წლისთვის 9 მილიარდ აშშ. დოლარს მიაღწევს.

ხელოვნური ინტელექტის სფეროში წარმატებით გამოირჩევიან ქართული სტარტაპები. კერძოდ Pulsar AI ავტო დილერებისათვის, რომელიც მათ დახმარებას უწევს შეხვედრების დისტანციურ დანიშვნაში. აღნიშნული ქართული სტარტაპი ამერიკულ ბაზარზე ტექნოლოგიურ გადაწყვეტილებებს ქმნის, რომელიც ავტომობილების დილერებს სწრაფად მომსახურების საშუალება აძლევს მომხმარებლებისთვის.

ლოგისტიკის სფეროში პროცესების ავტომატიზაციის და გაციფრულების კუთხით ქართული OMOFOX ქმნის SaaS გადაწყვეტილებას, რომელიც საცალო სავაჭრო ქსელის ორგანიზაციებისათვის ლოგისტიკური პროცესების ავტომატიზაციით უზრუნველყოფს სატრანსპორტო მიწოდების დაგეგმვასა და მონიტორინგის სახით. OMOFOX სატრანსპორტო გადაზიდვების სრულ მომსახურებას სთავაზობს მომხმარებლებს და იგი აციფრულებს ინფორმაციას ადგილმდებარეობის, მიწოდების სტატუსის და დოკუმენტაციის შესახებ.

ლოგისტიკური მომსახურების ვებ პლათფორმას წარმოადგენს საქართველოში მომქმედი სტარტაპი Cargon, რომელიც ტვირთების გამგზავნ და გადამზიდავ კომპანიებს მოქნილი სისტემის მეშვეობით ერთმანეთთან მარტივად აკავშირებს. იგი ოპტიმალური დანახარჯებით უსაფრთხო გადაზიდვების უმნიშვნელოვანესი ასპექტია, რომელიც თანამედროვე ტვირთბრუნვის და ეკონომიკის სტიმულირების მნიშვნელოვანი ფაქტორია. საქართველოში ხელოვნური ინტელექტის გამოყენების კუთხით საინტერესოა, საბაჟო ტერიტორიაზე დეკლარირებული საქონლის მიმართ საბაჟო კონტროლის განხორციელების ავტომატიზირებული სისტემა „ASYCUDA“-ს გამოყენება, საბაჟო გაფორმების რისკების მართვის პროცესში. შემოსავლების სამსახური ასევე იყენებს ჩატ ბოტებს საგადასახადო-საბაჟო კონსულტაციისა და დღგ-ის ზედმეტობის ავტომატურად დაბრუნების პროცესში.

აღმოსავლეთ პარტნიორობის ქვეყნებისათვის DG NEAR-ის და DG CONNECT-ს მიერ 2018 წელს ჩატარებული კვლევის თანახმად, ხელოვნური ინტელექტის განვითარების კუთხით საქართველო მნიშვნელოვნად ჩამორჩება ისეთ ქვეყნებს როგორცაა მოლდავეთი, სომხეთი, აზერბაიჯანი და ა.შ. რაც შეეხება OXFORD INSIGHT-ის მიერ ჩატარებულ კვლევას AI Readiness Index 2020 , რომლის ფარგლებში შეფასდა 172 ქვეყანა ხელოვნური ინტელექტის 10 მიმართულების მახასიათებლით და 33 ინდიკატორის მიხედვით,

საქართველოს ამ გლობალური ინდექსის კონტექსტში 72-ე ადგილი უკავია, ხოლო რეგიონში წარმოდგენილია მე-5 ადგილზე - თურქეთის, აზერბაიჯანის, ყაზახეთის და სომხეთის შემდეგ.

საქართველოს პირობებში კერძო და საჯარო სექტორში ხელოვნური ინტელექტის გამოყენების მაგალითები სახეზე გვაქვს, მაგრამ ქვეყანაში მისი განვითარების საკითხები ვიწრო ორგანიზაციულ სტილში მიმდინარეობს და სახეზე არ გვაქვს ერთიანი ეროვნული ხედვა. ქვეყნის ლოგისტიკურ და სატრანსპორტო სისტემებში ხელოვნური ინტელექტის წარმატებით გამოყენებისთვის მიზანშეწონილად გვესახება ხელოვნური ინტელექტის სამართლებრივი ბაზის, ეროვნული კონცეფციის და სტრატეგიის ფორმირება-განვითარება. თანამედროვე სწრაფად განვითარებად ტექნოლოგიურ ეპოქაში, მეტად მნიშვნელოვანია საქართველომაც დაიწყოს მსოფლიო ტენდენციების კვალდაკვალ სვლა. ამ კუთხით ქვეყანაში არსებობს უზარმაზარი პოტენციალი, აუცილებელია საჯარო და კერძო სტრუქტურებმა დაიწყონ AI-ით დაინტერესებული ახალგაზრდების წახალისება, რაც მომავალში საშუალებას მოგვცემს, დავიკავოთ მოწინავე პოზიციები მსოფლიოში.

## დასკვნა

საქართველომ აქტიურად უნდა იზრუნოს ხელოვნური ინტელექტის გამოყენების სტიმულირებისათვის, ამ მიზნით დროულად უნდა უზრუნველყოს საკანონმდებლო ნორმატიული ბაზის ფორმირება-დახვეწა, რომელიც მორგებული ქნება საქართველოში მომქმედ AI-ის სფეროში მომუშავე სტარტაპებზე. საქართველომ ეფექტურად უნდა გამოიყენოს ის სოციალ-ეკონომიკური სარგებელი, რაც ხელოვნური ინტელექტის დანერგვას ახლავს. ხელოვნური ინტელექტის დანერგვის ხელშეწყობა ქვეყანაში არის გადაუდებელი აუცილებლობა, რათა სამომავლოდ უზრუნველყოფილი იქნას თანამედროვე განვითარება და წინსვლა. ამ მიზნით ხელისუფლებამ აქტიურად უნდა იმუშაოს ხელოვნური ინტელექტის სფეროში მოწინავე ქვეყნების პრაქტიკული გამოცდილების გამოყენებისთვის.

ხელოვნური ინტელექტის გამოყენების კუთხით მნიშვნელოვანია ევროპული გამოცდილების გაზიარება სანდო ხელოვნური ინტელექტის შესახებ, რომლის თანახმადაც დაკმაყოფილებული უნდა იქნეს სამი ძირითადი მოთხოვნა: ა) ხელოვნური ინტელექტი უნდა იყოს კანონშესაბამისი, ბ) უნდა პასუხობდეს ეთიკურ და ღირებულებით პრინციპებს, გ) უნდა ქმნიდეს ძლიერ გარემოს ტექნოლოგიური და სოციალური კონიუნქტურის გათვალისწინებით.

## გამოყენებული წყაროები და ლიტერატურა

1. <https://www.coe.int/en/web/human-rights-rule-of-law/artificial-intelligence/glossary>
2. <https://ec.europa.eu/futurium/en/ai-alliance-consultation>
3. <https://www.cnbc.com/2018/03/21/facebook-cambridge-analytica-scandal-everything-you-need-to-know.html>
4. OECD-ის ხელოვნური ინტელექტის პრინციპები (<https://www.oecd.org/going-digital/ai/principles/>)
5. [https://ec.europa.eu/knowledge4policy/ai-watch/national-strategies-artificial-intelligence\\_en](https://ec.europa.eu/knowledge4policy/ai-watch/national-strategies-artificial-intelligence_en)
6. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ethics-guidelines-trustworthy-ai>
7. <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/81454?publication=3>



8. <https://gnta.ge/ge/emotion-are-georgia/>
9. <https://eufordigital.eu/wp-content/uploads/2019/10/3.ICT-innovation-and-start-up-ecosystems.pdf>

**The role of artificial intelligence in the development of logistics  
and transport systems**

**Vazha Zeikidze, George Maisuradze, Tamar Kiladze,  
Iulia Tedeevi, Mari Papidze**

**Abstract**

The use of artificial intelligence (AI) in the modern world is growing rapidly and related topics, are actively dominating the development of logistics and transportation systems. The presented scientific paper aims to demonstrate the improvement of the processes of using modern (AI) technologies in the field of logistics and transport systems management in the country, improving the management of logistics and transport systems by introducing the use of unique foreign experience in the country.

**Роль искусственного интеллекта в развитии логистических  
и транспортных систем**

**Важа Зейкидзе, Георгий Маисурадзе, Тамар Киладзе,  
Юлиа Тедеева, Мари Папидзе**

**Резюме**

Использование искусственного интеллекта (AI) в современном мире стремительно растёт и смежные темы активно доминируют в развитии логистических и транспортных систем. Представленная научная работа призвана продемонстрировать совершенствование процессов использования современных (AI) технологий в сфере управления логистическими и транспортными системами в стране, совершенствование управления логистическими и транспортными системами путем внедрения использования уникального зарубежного опыта в стране.

## შუა სატრანსპორტო დერეფანის განვითარების პერსპექტივები

ვაჟა ზეიკიძე\*, გიორგი მაისურაძე\*\*, ცირა ელგენდარაშვილი\*\*\*,  
ნატალია ელგენდარაშვილი\*\*\*\*

\*ასოცირებული პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: v.zeikidze@gtu.ge;

\*\*პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: [g.maisuradze@gtu.ge](mailto:g.maisuradze@gtu.ge);

\*\*\*ასოცირებული პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,

E-mail: [t.elgendarashvili@gtu.ge](mailto:t.elgendarashvili@gtu.ge);

\*\*\*\*ასისტენტ პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,

E-mail: [nataliko1710@yahoo.com](mailto:nataliko1710@yahoo.com);

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, მ. კოსტავას ქ. №71, 0175, თბილისი,  
საქართველო)

**რეზიუმე:** 2030 წლისთვის ცენტრალური აზიის ქვეყნებიდან შუა სატრანსპორტო დერეფანში ტვირთების მნიშვნელოვანი ნაკადების გადართვა მოხდება და საქართველოს სტრანსპორტო ინფრასტრუქტურამ უნდა უზრუნველყოს გაზრდილი ტვირთნაკადების გატარება. სტატიაში განხილულია ის ბარიერები, რომლებსაც მასში ჩართული ქვეყნები ემნიან. დასახულია შუა სატრანსპორტო დერეფანის განვითარების პერსპექტივები, რომელთა განხორციელების შედეგად საქართველო უმნიშვნელოვანესი სატრანსპორტო და ლოგისტიკური კვანძი გახდება ტრანსკასპიურ დერეფანში. სტატიაში საუბარია ტრანსპორტსა და ლოგისტიკაში ადამიანური კაპიტალის მართვასა და განვითარებაში საერთაშორისო პრაქტიკის დანერგვაზე, რომელიც ქვეყანას საშუალებას მისცემს სრულად აითვისოს არსებული პოტენციალი.

**საკვანძო სიტყვები:** სატრანსპორტო დერეფანი, სარკინიგზო გადაზიდვები, პორტები, სატრანსპორტო ლოგისტიკა.

### შესავალი

შუა სატრანსპორტო დერეფანის განვითარებას დიდ ყურადღებას უთმობენ ცენტრალური აზიის და სამხრეთ კავკასიის ქვეყნები და მას განიხილავენ როგორც ერთ-ერთ მთავარ და უმოკლეს სატრანსპორტო ტვირთზიდვების მიმართულებად ჩინეთიდან ევროპისკენ. „აბრეშუმის გზის ფორუმზე“ საქართველომ დაფიქსირა ინფრასტრუქტურული პროექტების დასრულება 2024 წლის ბილოს, რომლის განხორციელების შედეგა საქართველოზე გამავალი შუა დერეფანის სატრანსპორტო დერეფანის ინფრასტრუქტურა არსებითად უპასუხებს სატრანსპორტო ტვირთზიდვის მოთხოვნებს. შუა სატრანსპორტო დერეფანს დიდი პოტენციალი გააჩნია და მისი პრობლემების დროული მოგვრება შესაძლებელია გახდეს ცენტრალური აზიისათვის ერთ-ერთ მთავარ ტვირთზიდვის მიმართულებად. წარმოდგენილ სტატიაში განხილულია შუა დერეფანის განვითარების არსებული პრობლემები და მოცემულია მისი დაძლევის მიმართულებები, რომლის შედეგადაც შუა სატრანსპორტო დერეფანი გახდება ერთ-ერთ კონკურენტულ მიმართულებად აზიიდან ევროპისკენ ტვირთების ტრანსპორტირებაში.

### ძირითადი ტექსტი

საქართველოზე ევროპასა და აზიას შორის დამაკავშირებელი ერთ-ერთი სატრანსპორტო მარშრუტი – შუა დერეფანი გადის. რუსეთ-უკრაინის ომმა არსებითი ცვლილებები მოახდინა საერთაშორისო გადაზიდვის სისტემაშიც და შუადერეფნის სატრანსპორტო სისტემა არსებითად კონკურენტუნაიანი გახდა ჩრდილოეთის მიმართულების. ჩრდილოეთის დერეფანი განსაკუთრებით 2014 წლიდან გაძლიერდა, როცა ჩინეთში One Belt Initiative წამოიწიეს. ჩინურმა ინვესტიციებმა რუსეთის გავლით სარკინიგზო გადაზიდვა განავითარა. ამ მიმართულების პიკი იყო 2019-2020 წლებში, რეოდესაც დიდი მოცულობის ტვირთი მოძრაობდა ჩრდილოეთის მარშრუტით. ჩრდილოეთის მარშრუტზე ჩინეთიდან ტვირთი გადაიტვირთებოდა ყაზახეთის რკინიგზაზე, ყაზახეთის რკინიგზის გამოყენებით გადიოდა რუსეთში, რუსეთიდან – ბელარუსში და ბელარუსის გავლით შედიოდა ევროპაში.

პანდემიის პერიოდში განსაკუთრებით გაიზარდა რუსეთზე გამავალი ჩრდილოეთის მარშრუტის როლი, იმ ფონზე, რომ ამ პერიოდში გარკვეული პრობლემები შეიქმნა თავის მხრივ საზღვაო გადაზიდვების კუთხით. ჩრდილოეთის დერეფანი ძირითადად (რუსეთზე) გადის და მოიცავს მხოლოდ სარკინიგზო გადაზიდვებს, განსხვავებით შუა დერეფნიდან, რომელიც საზღვაო-სახმელეთო გადაზიდვების კომბინაცია და რამდენიმე ქვეყნის ინტერესების გათვალისწინებაა საჭირო.

რუსეთ-უკრაინის კონფლიქტმა განსაკუთრებით აქტუალური გახადა შუა დერეფანი ევროპისათვის, ენერგეტიკული რესურსების მიწოდების და სატვირთო გადაზიდვების კუთხით. მიუხედავად იმისა, რომ მსოფლიოში მიმდინარე გეოპოლიტიკური ცვლილებებმა მნიშვნელოვნად გაზარდა შუა დერეფნის აქტუალურობა, მაგრამ ჩინეთიდან და ცენტრალური აზიიდან წამოსული ტვირთების უმრავლესობა შუა დერეფანში ვერ გადმოერთო, რადგან არის მთელი რიგი პრობლემები, რომელიც ხელს უშლის შუა დერეფანში ტვირთგამტარიანობის ზრდას და მათ დროულ გადაჭრაზე დამოკიდებული ამ დერეფნის სრული დატვირთვით ამოქმედება.

შუა დერეფნის გამართულად ფუნქციონირებას ხელს უშლის მასში შემავალი ქვეყნების სატრანსპორტო პოლიტიკის დაქსაქსულობა, ამ მიზნით აუცილებელია შუა დერეფნის ერთი ფანჯრის პრინციპით ამოქმედება და იგი მასში ჩართულმა სახელმწიფოებმა უნდა გაკეთონ. შუა დერეფნის სრული დატვირთვით ამოქმედება მნიშვნელოვნად უკავშირდება გამართული სარკინიგზო მეურნეობის ქონას, სამწუხაროდ საქართველოს და აზერბაიჯანს მოძველებული სარკინიგზო პარკი აქვს და საჭიროა რკინიგზის მოდერნიზაცია. უნდა განახლდეს სავაგონო პარკი და მოეწყოს გაზის ტრანსპორტირებისათვის ინფრასტრუქტურა. საქართველოს მონაკვეთზე სარკინიგზო ტვირთბრუნვის გაზრდისათვის აუცილებელია 2024 წლის ბოლომდე რკინიგზის მოდერნიზაციის პროექტის დასრულება, რომლის შედეგადაც რკინიგზის გამტარუნარიანობა გაორმაგდება. რკინიგზაზე აქტიურად უნდა იქნენ დაშვებული კერძო ოპერატორები, რომლებსაც საკუთარი ვაგონები და ლოკომოტივები გააჩნიათ და იყენებენ მხოლოდ სარკინიგზო ინფრასტრუქტურას. კერძო ოპერატორების დაშვება რკინიგზაზე მნიშვნელოვნად მოაგვარებს ვაგონების სიმცირით გამოწვეულ პრობლემებს.

შუა დერეფნისათვის მნიშვნელოვან ელემენტს წარმოადგენს ბათუმის, ფოთის პორტების და ყულევის ტერმინალის სრული დატვირთვით ამოქმედება. საქართველოს

პორტებს არ აქვს ტერმინალები, რომლებიც სხვადასხვა სახის ტვირთებს მოემსახურება და საქართველოს გვერდის ავლით, ეს ტვირთები სხვა პორტებში მიდის. უკანსკნელი სამი წლის განმავლობაში უამინდობის გამო საქართველოს პორტები 70 დღის განმავლობაში დაკეტილი იყო, რაც დერეფნის სანდობაზე ნეგატიურ გავლენას ახდენს და ხდება ტვირთების გადამისამართება სხვა სატრანსპორტო დერეფანში.

შუა დერეფანში შავი ზღვის პორტების მოდერნიზაციასთან ერთად საჭიროა, კასპიის ზღვის პორტებში ინფრასტრუქტურული პროექტების განხორციელება, ასევე მნიშვნელოვანია კასპიის ზღვაზე საბორნე და საკონტეინერო გადაზიდვების გაუმჯობესება, რათა მიღწეული იქნეს როგორც ტარიფების ისე ტვირთების გადაზიდვის დროის შემცირება. დერეფნის სანდობა მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია საზღვრის კვეთის და ვაჭრობის ხელშეწყობასთან დაკავშირებულ ბარიერებზე, რომლებიც ჯერ კიდევ მრავლადაა კასპიის ზღვის აუზის ქვეყნებში, რაც გადაზიდვების ფასს და დროს არაპროგნოზირებადს ხდის. ამ მიზნით აუცილებელია შუა დერეფნის ქვეყნების მთავრობებს შორის ურთიერთთანამშრომლობის გაღრმავება და არსებული ხელშემშლელი ბარიერების აღმოფხვრა. საპორტო ოპერირების ეფექტიანობა უზრუნველყოფს, რომ შუა დერეფანმა კონკურენცია გაუწიოს, არამარტო ჩრდილოეთის მარშრუტს, არამედ სამხრეთის მარშრუტსაც აღმოსავლეთ აზიიდან ცენტრალურ აზიამდე, ირანის გავლით.

შუა დერეფნის სრული დატვირთვით ამოქმედების ერთ-ერთ მთავარ პრობლემად დერეფნის გაციფრულება წარმოადგენს, მისი ამოქმედება ხელს შეუწყობს მოძრავი ტვირთების მონიტორინგს და ტვირთების გადაადგილებას დერეფანში უფრო პროგნოზირებადს გახდის.

თანამედროვე მსოფლიოში ლოგისტიკის დარგი წარმოადგენს მაღალტექნოლოგიურ დარგს, რომლის მართვა მოითხოვს მოწინავე ტექნოლოგიებს და კვალიფიციურ ადამიანურ რესურსს. ინვესტიციები ძვირად ღირებულ ინფრასტრუქტურასა და ტექნოლოგიებში ვერ მოიტანს შედეგს, თუ შუა დერეფნის ქვეყნებმა ვერ შეძლეს შესაბამისი კომპეტენციების განვითარება. ლოგისტიკაში კომპეტენციების დეფიციტი განსაკუთრებით კრიტიკულია საქართველოსთვის. რასაც მსოფლიო ბანკის ლოგისტიკის ეფექტიანობის ინდექსიც მოწმობს (LPI), რომლის მიხედვითაც საქართველო რეგიონში ერთ-ერთ ბოლო ადგილზეა.

შუა დერეფნის სატრანსპორტო კორიდორის ოპერირების გაუმჯობესების მიზნით ბოლო პერიოდში ინფრასტრუქტურული პროექტების განხორციელება აქტიურად მიმდინარეობს, რომლის დასრულების შედეგად 2030 წლისათვის კასპიის ზღვის პორტების გამტარუნარიანობა 33 მილიონ ტონას მიაღწევს, ხოლო საქართველოს რკინიგზის გამტარუნარიანობა 48 მილიონ ტონას შეადგენს. ამავე პერიოდისათვის ანაკლიის პორტის ამოქმედება მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებს შუა დერეფნის საიმედობას, რადგან ანაკლიის ღრმაწყლოვანი პორტი შეძლებს ახალი ტექნოლოგიებით კონტეინერების დამუშავებას, რაც გაზრდის პორტის გამტარუნარიანობას და ეფექტიანობას, რომელიც დადებითად აისახება კონტეინერების დამუშავების ფასზე.

## დასკვნა

კვლევის შედეგად ნათლად ჩანს, რომ შუა დერეფნის გამართული ფუნქციონირებისათვის აუცილებელია საზღვაო პორტებს, რკინიგზებს და

ლოგისტიკურ ცენტრებს შორის სტრატეგიული პარტნიორობის განვითარება. შუა დერეფნის პარტნიორობებს შორის ამგვარი პარტნიორობის ჩამოყალიბება საშუალებას მისცემთ მათ, რომ შეამცირონ გადაზიდვების ტარიფები, განახორციელონ ერთიანი სატარიფო პოლიტიკა, რომ საბოლოო ჯამში ეფექტური გახადონ გადაზიდვების ხარჯები და ამით გაზარდონ შუა დერეფნის საიმედოობა.

### გამოყენებული წყაროები და ლიტერატურა

1. ლ. დავითაშვილი, ტრანსკასპიური დერეფანი, ეფექტური გზა ევროპასა და აზიას შორის ვაჭრობის გასაძლიერებლად. <https://1tv.ge/news/levan-davitashvili-transkaspiani-derevani-es-aris-efekturi-gza-evropasa-da-azias-shoris-vachrobis-gasadzliereb>
2. გია სურგულაძე, გიორგი სურგულაძე, ირაკლი ქარქაშაძე, არჩილ მჭედლიშვილი, ლოგისტიკის მენეჯმენტის მხარდამჭერი საინფორმაციო სისტემის აგება. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბ. 2020.
3. <https://www.amerikiskhma.com/a/7330250.html>
4. <https://publika.ge/article/shua-derevani-saqartvelos-perspektiva-da-gamowvevebi/>
5. <https://forbes.ge/saqarthvelo-rogorts-shua-de/>
6. <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/546a9efb934f04645c39f8502d524362-0080012023/original/Middle-Corridor-press-release-GEO.pdf>
7. <https://goldway.com.ge/>

### Development prospects of the middle transport corridor

Vazha Zeikidze, George Maisuradze, Tsira Elgendarashvili, Natali Elgendarashvili

#### Abstract

By 2030, there will be a significant shift of cargo flows from the Central Asian countries to the Middle Transport Corridor, and the transport infrastructure of Georgia must ensure handling of the increased cargo flows. The article discusses the barriers created by the countries involved in it. Prospects for the development of the Middle Transport Corridor are outlined, as a result of which Georgia will become the most important transport and logistics hub in the Trans-Caspian Corridor. The article talks about the implementation of international practices in the management and development of human capital in transport and logistics, which will allow the country to fully grasp the existing potential.

### Перспективы развития среднего транспортного коридора

Важа Зейкидзе, Георгий Маисурадзе, Цира Елгендарашвили, Натали Елгендарашвили

#### Резюме

К 2030 году произойдет значительный сдвиг грузопотоков из стран Центральной Азии в Средний транспортный коридор, и транспортная инфраструктура Грузии должна обеспечить обработку возросших грузопотоков. В статье рассматриваются барьеры, создаваемые участвующими в ней странами. Обозначены перспективы развития Среднего транспортного коридора, в результате чего Грузия станет важнейшим транспортно-логистическим узлом Транскаспийского коридора. В статье говорится о внедрении международного опыта управления и развития человеческого капитала в сфере транспорта и логистики, что позволит стране в полной мере реализовать имеющийся потенциал.

## საქართველოს პოტენციალი და „შუა დერეფნის“ გამოწვევები

ნათია ბუთხუზი\*, ნინო კოჭლამაზაშვილი\*\*

\*პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: n.butkhuzi@gtu.ge;

\*\*დოქტორანტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, E-mail: office@mintrans.ge

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, მ. კოსტავას ქ. № 71, 0175, თბილისი, საქართველო)

**რეზიუმე:** სტატიაში დასაბუთებულია საქართველოს სატრანსპორტო სისტემის უნიკალური გეოგრაფიული პოზიცია, რომელიც მდებარეობს ორ მსოფლიო ეკონომიკურ ცენტრს - ევროპასა და აზიას შორის, რაც საქართველოსთვის კონკურენტული უპირატესობაა. სტატიაში შემოთავაზებულია მშრალი პორტის პროექტი, რომლის დანერგვით საგრძნობლად გააუმჯობესდება ეკოლოგიური მდგომარეობა, შეამცირდება გზის გადატვირთულობა, გაიზრდება მოძრაობის უსაფრთხოება და გაუმჯობესდება საქართველოს შიდასახელმწიფოებრივი ტვირთების გადაადგილების სისტემა.

**საკვანძო სიტყვები:** ავტოპარკი, ექსპორტი, ინფრასტრუქტურა, იმპორტი, მშრალი პორტი, ტვირთი, ტრანზიტი, სატრანსპორტო სისტემა, ტრანზიტი.

### შესავალი

საქართველოს სატრანსპორტო სისტემა მნიშვნელოვნად უკავშირდება ისტორიულ „აბრეშუმის გზას“, ჩვენი ქვეყნის მიმართ ინტერესი, როგორც სატრანსპორტო დერეფანი, ბოლო პერიოდში, განსაკუთრებით კი მას შემდეგ, რაც დასავლეთის მიერ დაწესებული სანქციების გამო რუსეთის გავლით ტვირთების მიწოდების პრობლემები შეიქმნა, უფრო გაიზარდა. მიმდინარე საომარმა ვითარებამ გლობალური მიწოდების ჯაჭვში წყვეტა გამოიწვია. ამ მხრივ, საქართველოს იდეალური პოზიცია აქვს - ევროპის, კასპიის ზღვის, შუა აზიისა და ჩინეთის ბაზრების ვაჭრობის ზრდის პარალელურად, ჩვენი ქვეყნის ეკონომიკური ზრდის შესაძლებლობაც. მნიშვნელოვნად გაიზრდება მოთხოვნა საქართველოს გავლით ტვირთის ტრანსპორტირების შავი ზღვიდან კასპიის ზღვამდე და პირიქით. ეს მოითხოვს როგორც სახმელეთო, ისევე სარკინიგზო ტრანსპორტის ჩართულობას და სადაც ვაწყდებით ინფრასტრუქტურულ შეფერხებებს. აღნიშნული კი დაკავშირებულია საქართველოს, აზერბაიჯანისა და თურქეთის ერთობლივ კოორდინაციაზე.

გეოპოლიტიკური ადგილმდებარეობიდან გამომდინარე, საქართველოს გააჩნია რეალური შესაძლებლობა გაატაროს, გადაამუშაოს ტვირთების ნაკადი, რაც გამოიწვევს როგორც შემოსავლების ზრდას, ასევე გააუმჯობესებს პირობებს წარმოებისა და ვაჭრობის სფეროს. ლოგისტიკური ინფრასტრუქტურის განვითარება უმნიშვნელოვანესია საქართველოს ყველაზე პერსპექტიული და პრიორიტეტული დარგების განვითარებისათვის, როგორცაა ვაჭრობა, წარმოება, სოფლის მეურნეობა და ტურიზმი. ჩვენს ქვეყანას გააჩნია იმის პოტენციალი, რომ გახდეს რეგიონული სატრანზიტო ცენტრი და სატრანზიტო ტვირთებში საკუთარი წილი გაზარდოს.

## ძირითადი ტექსტი

სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის განვითარება, როგორც ნებისმიერი ლოგისტიკური ეკოსისტემის ძირითადი რგოლი, დაკავშირებული არა მხოლოდ ეროვნული სატრანსპორტო სისტემის სტრატეგიულ განვითარებასთან, არამედ მაქსიმალურად დაბალანსებული მსოფლიო ბაზარზე გაბატონებულ ტენდენციებთან და მომხმარებელთა მოთხოვნების დაკმაყოფილებასთან.

საერთაშორისო გადაზიდვების გავლენა ქვეყნების ეკონომიკაზე ძალზედ მნიშვნელოვანია. ის გადამწყვეტ როლს ასრულებს ვაჭრობის ხელშეწყობაში, სამუშაო ადგილების შექმნასა და ეკონომიკური ზრდის სტიმულირებაში. ეფექტურ საერთაშორისო გადაზიდვის ინდუსტრიას ასევე შეუძლია შეამციროს საქონლის ღირებულება და გააუმჯობესოს ბაზრებზე წვდომა, რითაც ხელს შეუწყობს კონკურენტუნარიანობის გაზრდას და ეკონომიკური განვითარების სტიმულირებას.

საქართველოს ინფრასტრუქტურის მდგომარეობა მეტ-ნაკლებად მაღალ შეფასებას იმსახურებს კომუნალური სერვისების ნაწილში, სადაც კერძო სექტორის როლი მკვეთრად გამოკვეთილია. თუმცა არასახარბიელო მდგომარეობაა სატრანსპორტო კუთხით. გლობალური კონკურენტუნარიანობის შეფასებით, საქართველოს სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის ხარისხი 100.0 -დან 46.0 ქულითაა შეფასებული, რითაც ფართო რეგიონის ქვეყნების უმეტესობას ჩამორჩება, ხოლო სამეზობლოდან – ყველას.

სატრანსპორტო კომპანიის ავტოპარკი მისი ინფრასტრუქტურის მნიშვნელოვანი კომპონენტია. ტერმინი „ავტოპარკი“ ჩვეულებრივ ეხება სატრანსპორტო საშუალებების კრებულს, როგორცაა სატვირთო მანქანები, რომლებსაც ფლობს და მართავს კომპანია საქონლის გადასაზიდად. განვითარებული სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურა გულისხმობს სატრანსპორტო ყოვლისმომცველ და ინტეგრირებულ სისტემას, რომელიც უზრუნველყოფს საქონლის, სერვისების და ადამიანების ეფექტურ გადაადგილებას რეგიონში ან ქვეყანაში.

საერთაშორისო გადაზიდვებისას, ევროპელი მომწოდებლების ერთ-ერთი მთავარი მოთხოვნაა მაღალი სტანდარტის სატრანსპორტო საშუალების მიწოდება დატვირთვის მისამართზე, იგულისხმება ევრო 5 და ევრო 6.

დღეისათვის გამოკვეთილია ამჟამად საუკეთესო შესაძლებლობაა „შუა დერეფანი“, რომელსაც წინაშე დომინანტური პოზიცია დაიმკვიდროს ევროპასა და აზიას შორის.

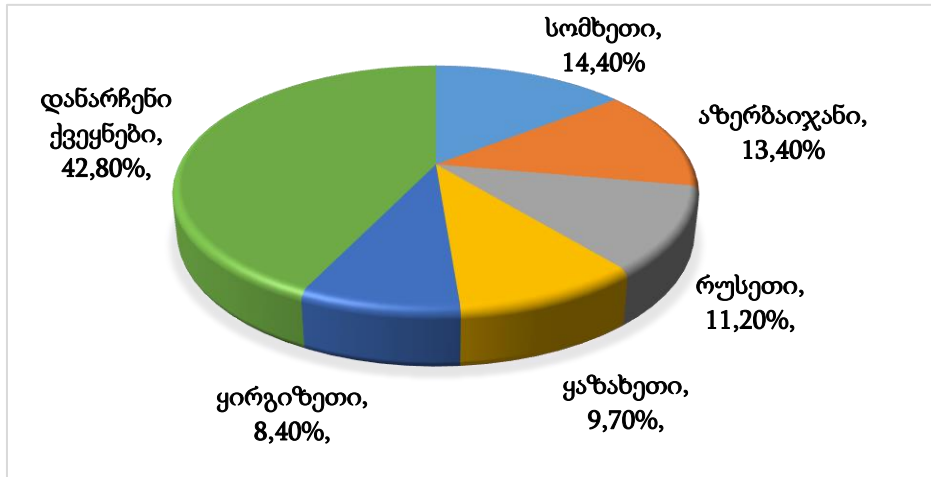
ჩინეთი არანაკლებ დაინტერესებულია „შუა დერეფნით“. ეს იმიტომ, რომ პეკინმა ყველა ახალი სავაჭრო გზა ევრაზიის მასშტაბით მიიჩნია, როგორც ფართოდ მომგებიანი. ისინი ჩინურ ინდუსტრიას უფრო დიდ წვდომას ანიჭებენ საერთაშორისო ბაზრებზე.

ჩინეთმა ინვესტიცია მოახდინა ლოგისტიკურ ინფრასტრუქტურაში, რომელიც მხარს უჭერს შუა კორიდორს. მან ააშენა ხორგოსის კარიბჭე და დააფინანსა ხორგოს-ადმოსავლეთ კარიბჭის სპეციალური ეკონომიკური ზონა, რომელიც ერთად წარმოადგენს უზარმაზარ სარკინიგზო გადაზიდვის ცენტრს, რომელიც გადაჭიმულია ჩინეთ-ყაზახეთის საზღვარზე. ცხადია, პეკინის პერსპექტივიდან გამომდინარე, ჩინეთისთვის სტრატეგიული მნიშვნელობა აქვს სავაჭრო მარშრუტის არსებობას, რომელზეც რუსეთი არ დომინირებს (როგორც ჩრდილოეთის დერეფნის შემთხვევაში)

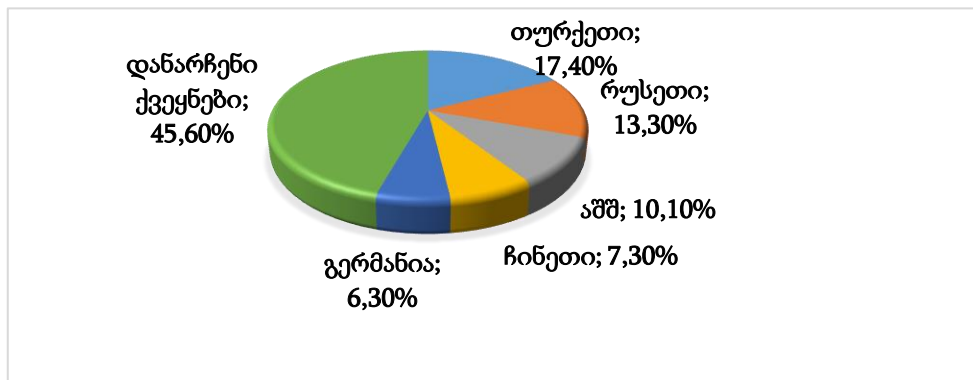
შუა დერეფნის ევროპულ ბოლოში მდებარეობს თურქეთი, ქვეყანა, რომლის ინტერესი დერეფნის მიმართ ემთხვევა, თუ არა აღემატება, ჩინეთის ინტერესს. ანკარამ

დერეფანი განიხილა, როგორც გზა ცენტრალურ აზიასთან უფრო ძლიერი ეკონომიკური კავშირების დასამყარებლად.

საქართველოს, როგორც სატრანზიტო კვანძს, მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია რუსეთსა და უკრაინას შორის მიმდინარე კონფლიქტის ფონზე - „ჩრდილოეთის დერეფანმა“, რომელიც რუსეთზე გადის და ჩინეთისა და ევროპის დამაკავშირებლად ყველაზე ხელსაყრელ გზად ითვლებოდა, აქტუალურობა დაკარგა. რამაც განაპირობა ინტერესი საქართველოს, როგორც „შუა დერეფნის“ მიმართ. ამას მოწმობს ის ფაქტი, რომ გასულ წელს ქვეყანაში ტვირთბრუნვის მკვეთრი ზრდა დაფიქსირდა და ალბათობა, რომ ეს მოცულობა მომდევნო წლებში კიდევ უფრო გაიზრდება, დიდია.



დიაგრამა 1. უმსხვილესი საექსპორტო ქვეყნების წილი ექსპორტში.



დიაგრამა 2. უმსხვილესი საიმპორტო ქვეყნების წილი იმპორტში.

მიღებული შემოსავალი	სატვირთოების რაოდენობა	გზათსარგებლობის მოსაკრებელი (ერთეულისთვის)	მიღებული შემოსავალი	სატვირთოების რაოდენობა	გზათსარგებლობის მოსაკრებელი (ერთეულისთვის)
70 257 681 ლ.	200 736	350 ლ.	31 468 750 ლ.	157 343	200 ლ.

ცხრილი 1. სატრანსპორტო დერეფანში გატარებული ტვირთის დინამიკა.



ცხრილის (1) ანალიზის საფუძველზე შესაძლებელია ვთქვათ, რომ:

- გზათსარგებლობის საფასურით მიღებული შემოსავალი 2023 წელს, გასულ წელთან შედარებით, 2.2-ჯერ - 123%-ით გაიზარდა.

- მიმდინარე წელს 27%-ით მეტმა სატრანზიტო ტრაილერმა(სატვირთო კონტეინერი) გაიარა საქართველოს დერეფანში.

საქართველოს, როგორც სატრანზიტო ქვეყნის მიმართ ინტერესი იზრდება. მომატებული ტრანსპორტის ნაკადი მომავალში გამოიწვევს გზების გადატვირთვას, რიგებს სასაზღვრო-გამშვებ პუნქტებზე. იმისათვის, რომ დაბალანსდეს სიტუაცია, საჭიროა საერთაშორისო მიმოსვლისათვის სასაზღვრო პუნქტებში დერეფნების დამატება, რაც ინფრასტრუქტურულ რეორგანიზებას და ფულად კაპიტალს საჭიროებს.

როგორც ჩვენთვის ცნობილია, საზღვაო გადაზიდვით საქართველოში იმორტირებული კონტეინერების საბოლოო დანიშნულების ადგილამდე მიტანა ხდება ისევე სახმელეთო ტრანსპორტით - ტრაილერებით, რაც კიდევ უფრო ტვირთავს და აფერხებს საზღვაო მიმოსვლას.

აღნიშნული პრობლემის გააუმჯობესებს „მშრალი პორტის“ (ზოგჯერ მოიხსენიებენ როგორც inland port) არსებობა საქართველოში . მშრალი პორტი, ეს იგივე არის პორტი, რომელიც არ არის დაკავშირებული ზღვასთან. მსგავსი პორტები არსებობს აფრიკაში, ინდოეთში, ირანში, ინდონეზიაში, ნეპალში, პაკისტანში, ევროპაში: ბელგია, ირლანდია, ლიტვა, ესპანეთი, შვედეთი; კანადაში, მექსიკაში, აშშ-ში, ავსტრალიაში, ახალ ზელანდიაში, ასევე ბრაზილიაში. „მშრალი პორტი არის შიდა ინტერმოდალური ტერმინალი, რომელიც პირდაპირ არის დაკავშირებული საზღვაო პორტ(ებ)თან, მაღალი სიმძლავრის სატრანსპორტო საშუალებებით, სადაც მომხმარებელს შეუძლია დატოვოს/აიღოს თავისი სტანდარტიზებული ერთეული, ისე როგორც პირდაპირ საზღვაო პორტში“.

ტვირთის გადაზიდის როლის გარდა, მშრალი პორტები ასევე შეიძლება მოიცავდეს საქონლის შესანახად და კონსოლიდაციის ობიექტებს, საგზაო ან სარკინიგზო ტვირთის გადამზიდავებისთვის ტექნიკურ მომსახურებას და განბაჟების მომსახურებას. ამ ობიექტების მშრალ პორტში მდებარეობა ამცირებს საზღვაო ნავსადგურების გადატვირთვას.

„მშრალ პორტს“ შეუძლია დააჩქაროს ტვირთების ნაკადი გემებსა და ძირითად სახმელეთო სატრანსპორტო ქსელებს შორის, შექმნას ცენტრალური განაწილების წერტილი; გააუმჯობესოს იმპორტისა და ექსპორტის მოძრაობა; ზოგიერთი ფუნქცია, რომელიც ტრადიციულად საზღვაო პორტში სრულდება, სხვაგან გადაიტანოს. დისტრიბუცია შეიძლება გახდეს უფრო ეფექტური შიდა პორტსა და საზღვაო პორტს შორის კავშირის დამყარებით, მაგალითად, სარკინიგზო გადაზიდვით, რომლის თვითღირებულება გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე კონტეინერების გადაზიდვა გზის (ტრაილერის) საშუალებით.

რომ „მშრალი პორტი“ იდეა დადებით გავლენას იქონიებს ქართულ სატრანსპორტო სისტემაზე, მყარდება. თუ ტვირთების ნაწილი, საუბარია საქართველოში მოძრავი ტვირთების ორ მესამედზე, რომელიც საზღვაო გზით გადაიზიდება, დანიშნულების ადგილიდან პორტამდე, და პირიქით, იმოდრავებს არა გზით, არამედ რკინიგზით გამოიწვევს გზების და ტერმინალების განტვირთვას. აღნიშნული მშრალი პორტი მაქსიმალურად თბილისთან ახლოს და შემოვლით გზაზე უნდა მდებარეობდეს.

დასკვნა

შესაძლებელია დასკვნის სახით ჩამოვყალიბოთ შემდეგი:

საქართველოს სატრანსპორტო სისტემას აქვს უნიკალური გეოგრაფიული პოზიცია, რომელიც მდებარეობს ორ მსოფლიო ეკონომიკურ ცენტრს - ევროპასა და აზიას შორის, რაც საქართველოსთვის კონკურენტული უპირატესობაა. ასეთი უნიკალური სატრანსპორტო მდებარეობა შესაძლებელს ხდის გამოყენებულ იქნეს საერთაშორისო სატრანსპორტო დერეფნების რესურსები, გაუმჯობესდეს სახმელეთო სატვირთო მიმოსვლის ხარისხი და მოხდეს ხარისხობრივი ნახტომი სატრანსპორტო ინდუსტრიის განვითარებაში. გადაზიდვების დიდი ნაკადი აძლიერებს ეკონომიკას, თუმცა, ინფრასტრუქტურული პროგრესი უნდა შეესაბამებოდეს მდგომარეობას.

- ყურადსაღებია იმ სასაზღვრო გამშვები პუნქტების რეორგანიზება, სადაც დიდი წილი ტვირთაკადების გადამუშავება ხდება. საქართველოში იმპორტირებული და ქვეყნიდან ექსპორტირებული ტვირთების დიდი წილი მოდის ევროპაზე, რუსეთზე, აზერბაიჯანსა და თურქეთზე. შესაბამისი გამშვები პუნქტები, როგორებიცაა ევროპასთან დამაკავშირებელი, თურქეთის საზღვართან არსებული სარფისა და კარწახის, აზერბაიჯანთან წითელი ხიდისა და დედოფლისწყაროს, ხოლო ჩრდილო მეზობელთან „ზემო ლარსის“, საჭიროებს დამატებითი დერეფნების დამატებას, რათა მოხდეს სატვირთოების შეუფერხებლად გადაადგილება.

„მშრალი პორტის“ პროექტის დანერგვით საგრძნობლად გაუმჯობესდება სიტუაცია ეკოლოგიის მხრივ, შეამცირდება გზის გადატვირთულობა, გაიზრდება მოძრაობის უსაფრთხოება და გაუმჯობესდება საქართველოს შიდასახელმწიფოებრივი ტვირთების გადაადგილების სისტემა.

გამოყენებული წყაროები და ლიტერატურა

1. სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის ინვესტიციების უფრო ფართო ეკონომიკური შედეგები - სატრანსპორტო გეოგრაფიის ჟურნალი, 19, 1-12. Lakshmanan <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.01.001> (გადამოწმებულია 06.06.23წ)
2. საზღვაო პორტის ეფექტურობა, პორტის გამტარუნარიანობა და ეკონომიკური ზრდა აფრიკაში - ენოკ კოჯო აიესუ ,დანიელ საკი, ალექსანდრე ბილსონ დარკო <https://doi.org/10.1057/s41278-022-00252-8> ; (გადამოწმებულია 05.05.23წ)
3. მწვანე ლოგისტიკის ეფექტურობა და ინფრასტრუქტურა მომსახურების ვაჭრობისა და გარემოსდაცვითი ფირმის მუშაობის და მომსახურების ხარისხის საზომი - იანგ ინგფეი, ჟანგ მენგზე, ლინ ზეიუ, ბაე კი-ჰიუნგი; <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101683> ; (გადამოწმებულია 06.06.23წ)
4. საზღვაო პორტები და ეკონომიკური ზრდა: ევროკავშირის პორტის რეგიონების პანელური მონაცემთა ანალიზი - გორან მუდრონი, ალენ იუგოვიჩი, <https://doi.org/10.3390/jmse8121017> ; (გადამოწმებულია 06.06.23წ)
5. <https://www.geostat.ge/ka> ; საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახური
6. <https://www.economy.ge/> საქართველოს ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტრო(გადამოწმებულია 06.06.23წ)
7. ფელიქს კ.ჩანგი / ვაჭრობა და გავლენის ამბიციები / Feb 21, 2023 / Foreign Policy Research Institute (გადამოწმებულია 06.06.23წ)

8. Khaslavskaya, A., Roso, V. Dry პორტები: კვლევის შედეგები, ტენდენციები და სამომავლო შედეგები. *Marit Econ Logist* 22, 265–292 (2020). <https://doi.org/10.1057/s41278-020-00152-9> (გადამოწმებულია 06.06.23წ)
9. <http://gla.ge> საქართველოს ლოგისტიკის ასოციაცია

## **Potential of Georgia and challenges of the "Middle Corridor"**

**Natia Butkhuzi, Nino Kochlamazashvili**

### **Abstract**

The article substantiates the unique geographical position of the transport system of Georgia, which is located between two world economic centers - Europe and Asia, which is a competitive advantage for Georgia. The article proposes a dry port project, the implementation of which will significantly improve the ecological situation, reduce road congestion, increase traffic safety, and improve the internal cargo movement system of Georgia.

## **Потенциал Грузии и вызовы «Среднего коридора»**

**Натия Бутхузи, Нино Кочламазашвили**

### **Резюме**

В статье обосновано уникальное географическое положение транспортной системы Грузии, которая находится между двумя мировыми экономическими центрами - Европой и Азией, что является конкурентным преимуществом для Грузии. В статье предлагается проект сухого порта, реализация которого позволит значительно улучшить экологическую обстановку, снизить заторы на дорогах, повысить безопасность движения, улучшить внутреннюю систему перемещения грузов Грузии.

სამეცნიერო ნაშრომის რედაქციაში წარმოდგენის წესი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო სისტემებისა და მექანიკის ინჟინერიის ფაკულტეტის ქურნალში - “ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა” სამეცნიერო ნაშრომის წარმოდგენა ხდება ქართულ, ინგლისურ და რუსულ ენებზე, რომლებიც უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

1. ნაშრომი უნდა შესრულდეს A4 ფორმატის ქაღალდის 1,15 ინტერვალით ნაბეჭდ გვერდზე ISO სტანდარტის მოთხოვნის მიხედვით:

- ა) ნაშრომი უნდა მომზადდეს Microsoft Word-ში ცხრილებისა და ფორმულების რედაქტორების გამოყენებით; შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს Microsoft Excel-ის პროგრამა;
- ბ) სამუშაო ქაღალდის მინდვრის ზომები: ზედა - 35 მმ, ქვედა - 25 მმ, მარცხენა - 25 მმ, მარჯვენა - 25 მმ;
- გ) ქართულ ენაზე შესრულებული ნაშრომი უნდა აიწყოს Sylfaen – ის გარნიტურის შრიფტით, ინგლისურ და რუსულ ენებზე შესრულებული ნაშრომი კი - Times New Roman შრიფტით;
- დ) ნაშრომის დასახელება უნდა აიწყოს Sylfaen გარნიტურის შრიფტით 18B; ავტორის სახელი (სრულად) და გვარი - Sylfaen გარნიტურის შრიფტით 14B; ავტორის თანამდებობა/წოდება/ხარისხი, ელ. ფოსტის მისამართი უნდა მიეთითოს შრიფტით 10; დასახელება ორგანიზაციის, სადაც შესრულდა სამუშაო, უნდა მიეთითოს ფრჩხილებში - შრიფტით 12B; ნაშრომის რეზიუმე უნდა შესრულდეს კურსივი შრიფტით 11; საკვანძო სიტყვები - შრიფტით 11; ნაშრომის ტექსტი - 11; რუსულ ენაზე შესრულებული ნაშრომი - შრიფტით 12; ლიტერატურის ჩამონათვალის შემდეგ ერთვის რეზიუმე ინგლისურ და რუსულ ენებზე შემდეგი მითითებით: ნაშრომის დასახელება, ავტორის/ავტორების სახელი (სრულად) და გვარი. რეზიუმეს მოცულობა უნდა იყოს 5-15 სტრიქონი;

2. ნაშრომი წარმოდგენილი უნდა იყოს ან კომპაქტ დისკზე (CD-R) და ერთ ეგზემპლარად A4 ფორმატის ქაღალდზე (მკაფიოდ) დაბეჭდილი ან ატვირთეთ შემდეგ მისამართზე: [journal.t.m@gtu.ge](mailto:journal.t.m@gtu.ge)

3. ნაშრომს თან უნდა ერთვოდეს მონაცემები ავტორის (ავტორების) შესახებ: აკადემიური ხარისხი/სამეცნიერო ხარისხი, თანამდებობა, სამუშაო ადგილი და ტელ. ნომერი;

4. ქურნალში ქვეყნდება მხოლოდ რეცენზირებადი ნაშრომები;

5. რედაქცია მხარს დაუჭერს ერთ ქურნალში ერთი და იგივე ავტორების მიერ შესრულებულ არაუმეტეს სამი სტატიის გამოქვეყნებას;

6. ნაშრომის გვერდების რაოდენობა განისაზღვრება 5-დან 30 გვერდამდე;

7. ავტორი პასუხს აგებს ნაშრომის შინაარსსა და ხარისხზე.

**FOR AUTHIORS**

**procedure for submission of scientific papers in journal**

In the Journal “Transport and Machine Building” of Transport and Mechanical Engineering Faculty of Georgian Technical University manuscripts will be submitted in Georgian, English and Russian languages with satisfying of the following conditions:

1. The paper must be performed on A4 page format with interval 1,15 by requirements of ISO standard:

a) The paper must be prepared in Microsoft Word with using of redactor for the tables and formulae; is possible to use the program Microsoft Excel.

b) Margins: top – 35 mm, bottom – 25 mm, left – 25 mm, right – 25 mm.

c) Performed in Georgian paper must be typed in Sylfaen, performed in English and Russian papers – in Times New Roman.

d) Title of paper must be typed in Sylfaen (18B); name and surname of author – in Sylfaen (14B); affiliation, in parenthesis – in 12B; abstract must be performed in italic 12; keywords – in 12; body-type – in 12; performed in Russian paper – in 12; after references should have the abstracts in English and Russian with following: title of paper, name and surname of author (authors). The abstract should not exceed 5-15 lines;

2. The paper must be submitted on compact-disk (CD-R) and one copy (legible) printed on format A4 Or upload to the following address: [journal.t.m@gtu.ge](mailto:journal.t.m@gtu.ge);

3. The paper should be accompanied with the information about author (authors): scientific degree, rank and position;

4. Only the peer reviewed works are published in the journal;

5. The editorial supports the publishing of no more than three articles published by the same authors in one journal;

6. Size of paper’s sheet is determined in range from 5 up to 30 pages;

7. The author is wholly responsible for the contents and quality of the paper.

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

### **Порядок представления в редакцию научных работ**

В журнал “Транспорт и машиностроение” транспортного и машиностроительного факультета Грузинского технического университета научные работы представляются на грузинском, английском и русском языках с соблюдением следующих требований:

1. Работа должна быть выполнена на бумаге форматом А4 с интервалом 1,15 на печатном листе согласно требованиям стандарта ISO:

а) Работа подготавливается в Microsoft Word с использованием редакторов таблиц и формул; возможно использование программы Microsoft Excel.

б) размеры поля рабочего листа: верхнее – 35 мм, нижнее – 25 мм, левое – 25 мм, правое – 25 мм.

в) выполненная на грузинском языке работы должна быть набрана шрифтом Sylfaen, выполненный на английском и русском языках работы – шрифтом Times New Roman.

г) название работы должно быть набрано шрифтом Sylfaen (18B); имя и фамилия автора – шрифтом Sylfaen (14B); название организации, где выполнена работа, указывается в скобках – шрифтом 13B; резюме работы выполняется курсивным шрифтом 12; ключевые слова – шрифтом 12; текст работы – шрифтом 12; выполненная на русском языке работа – шрифтом 12; после литературы прилагается резюме на английском и русском языках со следующим указанием: название работы, имя и фамилия автора (авторов). Объём резюме не должен превышать 5-15 строк;

2. Работа должна быть представлена на компакт-диске (CD-R) и в одном экземпляре (разборчиво) напечатанной на бумаге формата А4 Или загрузите по следующему адресу: [journal.t.m@gtu.ge](mailto:journal.t.m@gtu.ge);

3. К работе прилагаются данные об авторе (авторах): научная степень, звание и должность;

4. В журнале публикуются только рецензируемые работы;

5. Редакция согласится напечатать в одном журнале не более трёх статей выполненных одним и тем же автором;

6. Количество листов работы определяется от 5 до 30 страниц;

7. Автор несёт ответственность за содержание и качество работы.

ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა №1 (59) 2024

TRANSPORT AND MACHINEBUILDING №1 (59) 2024

ТРАНСПОРТ И МАШИНОСТРОЕНИЕ №1 (59) 2024

სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი  
SCIENTIFIC – TECHNICAL JOURNAL  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

გამოდის პერიოდულობით წელიწადში სამჯერ

Published periodically for three times a year

Журнал выходит в год три раза

გამომცემლობა „ტრანსპორტი & მანქანათმშენებლობა“

Publishing House „TRANSPORT & MACHINEBUILDING“

Издательство „ТРАНСПОРТ & МАШИНОСТРОЕНИЕ“

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 2024წ. 27 მარტი;  
გამოცემის ფორმატი 60X84 1/8; ფიზიკური ნაბეჭდი  
თაბახი 11.25; საბეჭდი ქაღალდი - ოფსეტური №1.  
Signed for printing 27: 03: 2024; Editor size 60X84 1/8; printed  
sheet 11.25; printing paper - Offset N1.  
Подписано к печати 27: 03: 2024г; Формат издания л. 60X84 1/8;  
Физичесих печатных листов 11.25; Печатная бумага - офсетная №1.

تعمیر و نگهداری تجهیزات پزشکی

بسم الله الرحمن الرحيم

