

სადოქტორო დისერტაცია

გიორგი ქუთელია

საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი | კახა ბენდუქიძის კამპუსი, დავით აღმაშენებლის
ხეივანი 240

სასოფლო სამეურნეო გუთნების საიმედოობის გაზრდა მათი
გაცვეთილი დეტალების აღდგენის რესურსდამზოგი
ინოვაციური ტექნოლოგიის გამოყენებით

დისერტანტი: გიორგი ქუთელია

სადისერტაციო ნაშრომი წარდგენილია
საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტის
ინჟინერიის სადისერტაციო საბჭოზე
ინჟინერიის დოქტორის ხარისხის მოსაპოვებლად

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ჯემალ კაციტაძე,
ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,
საქართველოს სოფლის მეურნეობის
მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი,
საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტის პროფესორი.

საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი
თბილისი, 2019

დარგობრივი კომისიის რეკომენდაცია

დისერტანტი: გიორგი ქუთელია

დისერტაციის სათაური:

სასოფლო სამეურნეო გუთნების საიმედოობის გაზრდა მათი გაცვეთილი დეტალების აღდგენის რესურსდამზოგი ინოვაციური ტექნოლოგიის გამოყენებით.

დისერტაციის დაცვის თარიღი:

რეცენზენტი 1: დიმიტრი ნატროშვილი

რეცენზენტი 2: ზაურ ფუტკარაძე

რეკომენდებულია დაცვისათვის ინჟინერიის სამეცნიერო მიმართულების კომისიის მიერ.

თავჯდომარე, რევაზ მახარობლიძე: _____

(ხელმოწერა)

წერი, ზაზა მეტრეველი: _____

(ხელმოწერა)

წერი, მამუკა ბენაშვილი: _____

(ხელმოწერა)

წერი, ზურაბ ჯიბუტი: _____

(ხელმოწერა)

სადოქტორო სკოლის კოორდინატორი,

ნატო კობახიძე: _____

(ხელმოწერა)

თარიღი:

ავტორის დეკლარაცია

„როგორც წარმოდგენილი სადოქტორო დისერტაციის ავტორი, ვაცხადებ, რომ ჩემი დისერტაცია წარმოადგენს ორიგინალურ ნაშრომს და მასში სხვა ავტორების აქამდე გამოქვეყნებული, გამოსაქვეყნებლად მიღებული ან დასაცავად წარდგენილი მასალები გამოყენებულია ციტირების სათანადო წესების დაცვით“.

გიორგი ქუთელია: _____ (ხელმოწერა)

თარიღი:

აბსტრაქტი

დამუშავებულია თეორიული საფუძვლები და ჩატარებულია ექსპერიმენტული სამუშაოები სასოფლო სამეურნეო გუთნების საიმედოობის გაანგარიშების, გაზრდისა და გაცვეთილი დეფიციტური დეტალების ინოვაციური რესურსდამზოგი ტექნოლოგიით აღდგენისათვის.

ჩატარებულია მანქანების დეტალების აღდგენის თანამედროვე მეთოდების ანალიზი და მის საფუძველზე გუთნების გაცვეთილი სახნისებისათვის დასაბუთებულია ყველაზე რაციონალური ხერხი, „მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღება“. დაპროექტებული და დამზადებულია ორიგინალური დანადგარი მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებისათვის, შემუშავებულია მეთოდური საფუძვლები და კერძო ორიგინალური მეთოდები მიღებული ლითონური საფარის ისეთი მნიშვნელოვანი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების გამოკვლევისა და ოპტიმიზაციისათვის, როგორცაა: ჩაჭიდების სიმტკიცე, სისალე და ცვეთამდეგობა. ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევების საფუძველზე მიღებულია აღდგენის ოპტიმალური რეჟიმები.

თეორიულ ბაზად მიზანმიმართული ექსპერიმენტული სამუშაოების ჩატარებისათვის გამოყენებულია ექსტრემალური ექსპერიმენტების დაგეგმვის თეორია, მსგავსობისა და განზომილებათა თეორია, მასობრივი მომსახურების თეორია და ალბათურ-სტატისტიკური მოდელირება. მიღებული მათემატიკური მოდელების ადეკვატურობის შემოწმებისათვის გამოყენებულია კოლმოგოროვის, პირსონის, სტიუდენტის, ფიშერისა და კოხრენის კრიტერიუმები. გამოკვლეულია საქართველოს სამთო პირობებში მომუშავე სასოფლო სამეურნეო გუთნების საექსლუატაციო საიმედოობის ისეთი ერთეული და კომპლექსური მაჩვენებლები, როგორცაა: უმტყუნო მუშაობის ალბათობა, ნამუშევარი მტყუნებაზე, მტყუნებათა ინტენსივობა, მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრი, მზადყოფნის კოეფიციენტი და ტექნიკური გამოყენების კოეფიციენტი. განსაზღვრულია გაცვეთილი დეტალების ცვეთის განაწილების დიფერენციალური და ინტეგრალური ფუნქციები, მიღებულია ცვეთის ადეკვატური ალბათურ-სტატისტიკური მოდელები და დადგენილია დეტალების ცვეთის ყველაზე გავრცელებული (მოდალური) მნიშვნელობანი, რომლის მიხედვითაც დასაბუთებულია გაცვეთილი დეტალების აღდგენის რაციონალური ხერხი. დაპროექტებული, დამზადებული და გამოცდილია შესაბამისი მოწყობილობები და დანადგარი, ჩატარებულია აღდგენის პროცესის ოპტიმიზაცია ციცაბო სვლის (ბოქს-უილსონის) მეთოდით. ოპტიმალური რეჟიმები ასეთია:

- დენის ძალა - $J = 220$ ა;
- ძაბვა - $V = 25$ ვ;
- ელექტროდის გამოტყორცნა - $e = 12$ მმ;
- ელექტროდის მიწოდების სიჩქარე - $V = 0,03$ მ/წმ;
- დადუღების სიჩქარე - $V_1 = 0,001$ მ/წმ.

აღნიშნული რეჟიმების მიხედვით დამუშავებულია გუთნების გაცვეთილი დეტალების აღდგენის რესურსდამზოგი ინოვაციური ტექნოლოგია, რომლის გამოყენებითაც მოხდა მათი აღდგენა და გამოცდა. გამოცდებმა გვიჩვენეს, რომ დეტალების რესურსი იზრდება 30...60 %-ით და მათ ენიჭებათ „მეორე სიცოცხლე“, რაც დიდ ეკონომიკურ მოგებას იძლევა. ჩვენს მიერ ჩატარებულმა გაანგარიშებებმა გვიჩვენეს, რომ მართო 800 ცალი გუთნების სახნისების მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულებით აღდგენა იძლევა მიახლოებით 1460 ევროს ეკონომიკურ ეფექტს.

საკვანძო სიტყვები: 1.საიმედოობა, 2.რესურსი, 3.ცვეთა, 4.ოპტიმიზაცია, 5.მდნობის ქვეშ დადულება.

Abstract

Theoretical grounds have been developed and experiments have been carried out to calculate and increase the reliability of agricultural plows, develop the innovative resource-saving technology for the restoration of deteriorated deficient parts.

Analysis of the modern methods of restoration of the parts of the plow has been carried out and based on the obtained results, the most rational method of the restoration of worn out plow ploughshares has been determined – automatic flux core welding. The original equipment is designed and manufactured for automatic flux core welding. Original methods have been developed for investigation and optimization of important physical-mechanical characteristics of metal surface – tensile strength, hardness and abrasion resistance. Based on the theoretical and experimental studies, the optimal recovery regimes are obtained.

As a theoretical basis for intended experimental works following theories were used: theory of planning of extreme experiments, similarity and dimensional theory, theory of mass service and probability-statistical modelling. The criteria of Kolmogorov, Pearson, Student, Fischer and Kohren are used to check the adequacy of mathematical models.

The following characteristics of the exploitation reliability of agricultural plows, operating in mountain conditions of Georgia were investigated: probability of failures during the operation, intensity of failures and the parameter of failure current, coefficient of readiness and technical use coefficient.

The differential and integral functions of the wearing out distribution of the details are determined, wearing out probabilistic-statistical models have been developed and the most widespread (modal) values of the detail wearing out characteristics have been determined as a rational method for restoration of the worn out parts. Appropriate devices and equipment are designed, manufactured and tested; optimization of the recovery process is performed using the steep ascent (Box-Wilson) method. Optimal regimes are as follows:

- Electricity power - $J = 220\text{a}$;
- Voltage - $v = 25\text{ V}$;
- Electrode shooting out - $e = 12\text{ mm}$;
- Electrode delivery speed - $V = 0,03\text{ m / s}$;
- Welding speed - $V_1 = 0,001\text{ m / s}$.

According to these regimes, the resource saving innovative technology is elaborated to restore the worn out details of the plows, which was used to restore and test them. The experiments indicate that the duration of the details is increased by 40% - 65% and they are given the "second life", which provides a substantial economic gain. The calculations carried out indicate that the automatic flux core welding of 800 pieces of plows gives the economic effect of about 1460 EUR.

Keywords: 1. Reliability, 2. Resource, 3. Wearing out, 4. Optimization, 5. Flux core welding.

მადლობა

დიდი მადლობა მინდა მოვახსენო ჩემი სადისერტაციო ნაშრომის ხელმძღვანელს ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორს, საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსს, საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტის პროფესორს ჯემალ კაციტაძეს იმ უანგარო შრომისა და სისტემატური მაღალკვალიფიციური კონსულტაციებისათვის, რომელსაც მიწევდა დისერტაციის მოზადების მთლიან პროცესში.

მადლობას ვუხდის „შოთა რუსთაველის ეროვნულ ფონდს“, სადოქტორო გრანტის დაფინანსებისათვის თემაზე „სასოფლო სამეურნეო გუთნების საიმედოობის გაზრდა მათი გაცვეთილი დეტალების აღდგენის რესურსდამზოგი ინოვაციური ტექნოლოგიის გამოყენებით“, **PhDF2016_26**.

მადლობას ვუძღვნი ასევე საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტის კონსტანტინე ამირაჯიბის ინსტიტუტის მთლიან შემადგენლობას პროფესორ ზაზა მეტრეველის ხელმძღვანელობით.

მადლიერი ვარ უნივერსიტეტის ადმინისტრაციისა, უნივერსიტეტის ინფრასტრუქტურაზე შეუზღუდავი წვდომის უფლებისათვის, ასევე სადოქტორო სკოლის კოორდინატორს პროფესორ ნატო კობახიძეს.

ჩემს მშობლებს, დედასა და ბებიას მზრუნველობისა და თანადგომისათვის, მათი დამსახურება ჩემი ახლანდელი მდგომარეობა, რაც ინჟინერიის დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენას გულისხმობს.

სარჩევი

დარგობრივი კომისიის რეკომენდაცია -----	ii
ავტორის დეკლარაცია -----	iii
აბსტრაქტი -----	iv
მადლობა -----	viii
სარჩევი -----	ix
ცხრილების სია -----	xi
ნახაზების სია -----	xii
სურათების სია -----	xiii
აბრევიატურა -----	xiv
1.შესავალი -----	1
1.1. თემის მიზნის გათვალისწინებით დასახული იქნა შემდეგი ამოცანები -----	4
2.სამეცნიერო ლიტერატურის მიმოხილვა -----	5
2.1. სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების ანალიზი სასოფლო სამეურნეო ტექნიკის საიმედოობის შესახებ -----	5
2.2. სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის გაცვეთილი დეტალების აღდგენის თანამედროვე ხერხების ანალიზი -----	7
3.მასალები და მეთოდები -----	13
3.1.საკვლევი ობიექტების რაოდენობის დასაბუთება -----	14
3.2.სასოფლო სამეურნეო გუთნების დეტალების ცვეთის შესახებ შეგროვილი სტატისტიკური მასალის დამუშავების მეთოდიკა -----	15
3.3.ემპირიული და თეორიული შედეგების დამთხვევის შემოწმება -----	19
3.4.სასოფლო სამეურნეო მანქანების საიმედოობის ერთეული და კომპლექსური მაჩვენებლების გაანგარიშების მეთოდიკა -----	20
3.5.მრავალფაქტორიანი ექსპერიმენტების დაგეგმვის მეთოდიკური საფუძვლები -----	25
3.5.1.მრავალფაქტორიანი ექსპერიმენტების მათემატიკური დაგეგმვის არსი. ექსპერიმენტების რანდომიზაცია -----	25
3.5.2.პარალელური ექსპერიმენტების რაოდენობის დადგენა და ძლიერი გავლენის მქონე ფაქტორების გამოყოფა ფაქტორული სიმრავლიდან -----	27
3.5.3.ფაქტორული ექსპერიმენტის გეგმის შედგენა და 2^n სრული ფაქტორული ექსპერიმენტის დაგეგმვა -----	30
3.5.4.რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების განსაზღვრა -----	32
3.5.5.რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების არსებითობის გამოკვლევა -----	33
3.5.6.მათემატიკური მოდელის ადეკვატურობის შემოწმება -----	35
3.5.7.ტექნოლოგიური პროცესის ოპტიმიზაცია. ციცაბო ასვლის მეთოდი -----	48
3.6.ექსპერიმენტული დანადგარი, მოწყობილობები და მასალები -----	44
4.შედეგები და მათი განხილვა -----	51

4.1.საქართველოს სამთო პირობებში მომუშავე გუთნების მუშაობის თავისებურებანი -----	51
4.2.სამთო პირობებში მომუშავე გუთნების საექსპლუატაციო საიმედოობის მაჩვენებლების გამოკვლევა -----	53
4.3.გუთნების ძირითადი დეტალების ცვეთის კანონზომიერებანი და მათი მოდალური ცვეთის განსაზღვრა აღდგენის რაციონალური ხერხის დასაბუთებისათვის -----	56
4.4.მდნობის ქვეშ დადუღებული ლითონური საფარის მიკროსტრუქტურის გამოკვლევა -----	64
4.5.მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით აღდგენილი ლითონური საფარის სისაღის გამოკვლევა მსგავსობითობისა და განზომილებათა თეორიის გამოყენებით -----	66
4.6.მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით მიღებული ლითონური საფარის სისაღის ოპტიმიზაცია ექსტრემალური ექსპერიმენტების დაგეგმვის თეორიის გამოყენებით -----	72
4.7.მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით აღდგენილი სახნისების საექსპლუატაციო გამოცდები -----	78
4.8.მანქანების გაცვეთილი დეტალების მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით აღდგენის რესურსდამზოგი ტექნოლოგია -----	79
4.8.1.მოსამზადებელი სამუშაოები -----	80
4.8.2.დეტალების მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით რეჟიმების შერჩევა -----	80
4.8.3.გამოსაყენებელი ელექტროდების მასალისა და ფლუსის შერჩევა -----	82
4.8.4.დეტალების მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით დეტალების აღდგენის ტექნოლოგიის თავისებურებანი -----	82
4.9.მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით სახნისების აღდგენის პროცესის ტექნიკურ-ეკონომიკური შეფასება -----	83
5.დასკვნები და რეკომენდაციები -----	88
ბიბლიოგრაფია -----	92
დანართები -----	98

ცხრილების სია

1. ცხრილი * α და $\frac{\varepsilon}{5}$ სიდიდეების მიხედვით -----	28
2. ჯამური ანკეტის ფორმა -----	29
3. სრულ ფაქტორიანი ექსპერიმენტი "2 ² " სახით -----	40
4. პარამეტრის ოპტიმიზაცია -----	44
5. ფლუსის შემადგენლობა დეტალების აღდგენისათვის -----	45
6. გუთნების მტყუნებების სტატისტიკური მაჩვენებლები -----	54
7. გუთნის სახნისის ცვეთის ვარიაციული რიგი -----	57
8. გუთნის სახნისის ცვეთის სტატისტიკური რიგი -----	57
9. გუთნის სახნისის სტატისტიკური მაჩვენებლები -----	57
10. მონაცემები გუთნის სახნისის საწყისი და ცენტრალური მომენტების განსაზღვრისათვის -----	59
11. მონაცემები გუთნის სახნისის განაწილების თეორიული სიხშირის გაანგარიშებისათვის -----	61
12. მონაცემები კოლმოგოროვის კრიტერიუმის გაანგარიშებისათვის -----	63
13. ფაქტორების ჩამონათვალი, რომლებიც მოქმედებენ მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულებით მიღებულ ლითონური საფარის სისაღეზე -----	67
14. ექსპერიმენტების დაგეგმვის მატრიცა -----	74
15. ექსპერიმენტების შედეგები -----	74
16. მონაცემები ციცაბოსვლისათვის -----	77
17. მონაცემები ეკონომიკური ეფექტიანობის გაანგარიშებისათვის -----	81
18. დეტალების მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულებით აღდგენის რეჟიმები -----	87

ნახაზები

1. მანქანების გაცვეთილი დეტალების აღდგენის ხერხები -----	8
2. მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღების პრინციპული სქემა -----	9
3. ნახშირორჟანგის არეში დადუღების სქემა -----	10
4. ვიბრორკალური დადუღების პრინციპული სქემა -----	10
5. მუდმივ დენზე ვიბრორკალური დადუღების ოსცილოგრამა -----	11
6. ერთმანეთთან დაკავშირებული პარამეტრების მოდელი -----	21
7. საკვლევი ობიექტის საწყისი მოდელი -----	21
8. სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის ფუნქციონირების სქემა -----	22
9. სამფაქტორიანი სივრცე: ა) ნატურალურ სიდიდეებში, ბ) კოდირებულ სიდიდეებში ---- -----	31
10. მათემატიკური მოდელის შემოწმება ადეკვატურობაზე -----	36
11. ციკაბო ასვლის ინტერპრეტაცია -----	40
12. ავტომატიზებული მაკოპირებელი მოწყობილობა გუთნების სახნისების -----	47
13. ფლუსის ქვეშ ავტომატური დადუღების სქემა -----	48
14. კოპირით ავტომატურად მართვადი დეტალების აღდგენის სქემა -----	49
15. მაკოპირებელი ავტომატური მართვის ამპრავების შეერთების სქემა -----	50
16. სასოფლო სამეურნეო გუთნის სლს საიმედოობის გაანგარიშებისათვის -----	53
17. გუთნების უმტყუნო მუშაობის ალბათობათა გრაფიკები -----	55
18. გუთნის სახნისის განაწილების ჰისტოგრამა (1) და პოლიგონი (2) -----	58
19. გუთნის სახნისის ცვეთის განაწილების: 1-ჰისტოგრამა, 2-ემპირიული მრუდი, 3- თეორიული მრუდი და 4-დაშვების დიაპაზონი. -----	62
20. ექსპერიმენტული დამოკიდებულებანი -----	71
21. ახალი და მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით აღდგენილი სახნისების ცვეთის დინამიკა -----	79
22. მანქანის ეკონომიკური ეფექტიანობის ცვლილება დროში -----	84

სურათები

1.ექსპერიმენტული დანადგარი გუთნების სახნისების მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებისათვის -----	46
2.Y8 მარკის ფოლადის ახალი შემადგენლობის ფლუსით დადუღებული ლითონური ფენის სტრუქტურა (X1000) -----	64
3.Y8 მარკის ფოლადის ახალი შემადგენლობის ფლუსითა დაფხვნილგულა საელექტროდე მასალისგამოყენებით დადუღებული ლითონური ფენის სტრუქტურა (X1000) -----	65
4.65Γ მარკის ფოლადის ახალი შემადგენლობის ფლუსით დადუღებული ლითონური ფენის სტრუქტურა (X1000) -----	65
5.65Γ მარკის ფოლადის ახალი შემადგენლობის ფლუსითა და ფხვნილგულა საელექტროდე მასალისგამოყენებით დადუღებული ლითონური ფენის სტრუქტურა (X1000) -----	65
6.ოპტიმალური რეჟიმებით აღდგენილი ლითონური საფარის მიკროსტრუქტურა (X1000) -----	66

აბრევიატურა:

- სლს- სტრუქტურულ-ლოგიკური სქემა;
- სსმ- სასოფლო სამეურნეო ტექნიკა;
- უმა- უმტყუნო მუშაობის ალბათობა;
- მტ- მტყუნებათა ინტენსივობა;
- ნმ- ნამუშევარი მტყუნებაზე;
- მნპ- მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრი;
- უმ- უეცარი მტყუნება;
- თმ- თანდათანობითი მტყუნება;
- ცი- ცვეთის ინტენსივობა;
- რტ- რესურსდამზოგი ტექნოლოგია;
- ადმქ- ავტომატური დადუღება მდნობის ქვეშ;
- დრ- დადუღების რეჟიმი;
- ოპ- ოპტიმიზაციის პარამეტრი;
- სკ- სტიუდენტის კრიტერიუმი;
- ფკ- ფიშერის კრიტერიუმი;
- კკ- კოხრენის კრიტერიუმი;
- კგ- კრიტერიალური განტოლება;
- მკ- მსგავსობის კრიტერიუმი;
- ეე- ეკონომიკური ეფექტიანობა;
- გვ- გამოსყიდვის ვადა.

1. შესავალი

თანამედროვე მსოფლიოში ახალი ტექნოლოგიების შექმნა და დანერგვა დინამიკური პროცესია. იგი ადამიანის ყოველდღიური საქმიანობის შემადგენელი ნაწილია და ინტელექტუალური ცოდნის აუცილებლობას მოითხოვს.

ახალი ტექნოლოგიების დანერგვა, მანქანებისა და მოწყობილობების მუშა მდგომარეობაში შენარჩუნება დღეს მეტად აქტუალურია და მოითხოვს მეცნიერების მუდმივ ყურადღებას.

საყოველთაო კომპიუტერიზაციამ დააჩქარა ახალი ტექნოლოგიების შექმნის პროცესი და მათი დანერგვა მსოფლიოს თითქმის ყველა რეგიონში. გამონაკლისი არც საქართველოა, სადაც დაჩქარებული ტემპით მიმდინარეობს ახალი საინფორმაციო ტექნოლოგიების დანერგვა, რაც მისასაღმებელია.

კაცობრიობამ გააცნობიერა, რომ ტექნიკურმა პროგრესმა მიიღო საერთაშორისო ხასიათი და მსოფლიოს მოსახლეობა ცდილობს მომზადებული შეხვდეს ასეთ პროცესს, რომელშიც ჩართულია ჩვენი ქვეყნის მოსახლეობაც.

განსაკუთრებით აქტუალურია ახალი ტექნოლოგიების დამუშავება მანქანებისა და მოწყობილობების საიმედოობის გაზრდისათვის, რაც მსოფლიო მნიშვნელობის პრობლემაა, რადგანაც მაღალი საიმედოობა უზრუნველყოფს მანქანების კონკურენტუნარიანობას მსოფლიო ბაზარზე. საიმედოობის გაზრდის ერთერთი მიმართულებაა მანქანების ნამუშევარი დეტალების „მეორე სიცოცხლის“ შენარჩუნება მათი აღდგენის ენერგოდამზოგი ინოვაციური ტექნოლოგიური პროცესების გამოყენებით, რაც დიდ ეკონომიკურ ეფექტს იძლევა, რადგანაც მცირდება მოთხოვნილება დეფიციტურ სათადარიგო ნაწილებზე და მანქანების მოცდენა გადაუდებელი ტექნოლოგიური ოპერაციების შესრულების დროს. მნიშვნელოვანია ეს პრობლემა საქართველოსათვის, რომელიც სრული დამოუკიდებლობისათვის ეტაპობრივად წყვეტს რთულ საკითხებს, ცდილობს განთავისუფლდეს საბჭოური ეკონომიკური მარწუხებისაგან და აქტიურად ჩაერთოს ევროატლანტიკურ ინტეგრაციაში.

უნდა აღინიშნოს, რომ საქართველოს აგროსამრეწველო სექტორი ჯერ კიდევ ვერ გამოვიდა კრიზისული მდგომარეობიდან, რადგანაც მცირეა სასოფლო-სამეურნეო წარმოების ტექნიკური და ენერგეტიკული უზრუნველყოფა, დაბალია მანქანების საექსპლუატაციო საიმედოობა. მართალია, უკანასკნელ პერიოდში ქვეყნის ხელისუფლების ძალისხმევით იაპონიიდან, გერმანიიდან, იტალიიდან და სხვ. ქვეყნებიდან შემოტანილ იქნა თანამედროვე სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკა, მაგრამ მისი რაოდენობა ჯერ კიდევ ვერ პასუხობს სოფლის საქონელმწარმოებელთა მოთხოვნებს - ჯერ კიდევ დაბალია შემოტანილი ტექნიკის ტექნიკური მომსახურებისა და რემონტის ხარისხი, ხოლო თვითღირებულება კი მაღალი. ეს იმით არის გამოწვეული, რომ თანამედროვე რთული სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის რემონტის დროს საჭირო ხდება ისეთი დეტალების შეცვლა ან აღდგენა, რომლებიც ძვირადღირებული და დეფიციტურია. ამიტომ არის ცალკეული შემთხვევები, როდესაც რემონტის დროს იყენებენ არაკონდიციურ დეტალებსა და მომველებულ ტექნოლოგიებს, რაც იწვევს

მანქანების რემონტის შემდგომი რესურსის შემცირებას, ეს კი სრულებით ვერ პასუხობს მეცნიერებისა და ტექნიკის თანამედროვე მოთხოვნებს. ასე მაგალითად, უკანასკნელ წლებში ჩატარებული მეცნიერული კვლევების შედეგად დადგენილია, რომ სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის რემონტის შემდგომი რესურსი კანადაში შეადგენს ახალი მანქანის რესურსის 88-92 %-ს, ჩეხეთში 91-92%-ს, ბულგარეთში 90-91%-ს, რუსეთში 90%-ს, უკრაინაში 89-91%-ს, ხოლო საქართველოში კი 70-75%-ს. [4, 5, 8]. თანამედროვე სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის საექსპლუატაციო საიმედოობის გაზრდა დეფიციტური და ძვირადღირებული დეტალების აღდგენის პრინციპულად ახალი, ინოვაციური ტექნოლოგიური პროცესების გამოყენებით მნიშვნელოვანი ტექნიკურ-ეკონომიკური პრობლემაა მსოფლიო მასშტაბით და მისი გადაწყვეტა ტოლფასია მანქანების რაოდენობის გაზრდისა კაპიტალდაბანდებების გარეშე.

დეტალების აღდგენისას ნამზადის სახით გვევლინება თვით გაცვეთილი დეტალი, რომლის დამზადებაზე (მადანი, გამოდნობა, ჩამოსხმა, ტვიფრა, მექანიკური დამუშავება, თერმული და ქიმიურ-თერმული დამუშავება) დიდი შრომითი და მატერიალური დანახარჯებია გაწეული, რომლის გამოყენება კვლავაც არის შესაძლებელი. ევროპის მაღალგანვითარებული ქვეყნების სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის მწარმოებელი ფირმები ბოლო წლებში ინტენსიურად აწარმოებენ ნამუშევარი დეტალებისა და კვანძების აღდგენას, რაც ეკონომიკური თვალსაზრისით რენტაბელურია. ამ დროს დეტალის რესურსი მიიღწევა ახლის ტოლი, ზოგჯერ კი უფრო მეტი დონე, რის შედეგადაც მცირდება ძვირადღირებული დეფიციტური სათადარიგო ნაწილების ხარჯი, ხდება საწარმოო სიმძლავრეების გამოთავისუფლება, მცირდება მანქანის რემონტის თვითღირებულება და გაცილებით ნაკლებია შრომისა და მასალების დანახარჯები, ვიდრე ახალი დეტალების დამზადებისათვის. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, მეტად მნიშვნელოვანი სამეცნიერო პრობლემაა პრინციპულად ახალი, ინოვაციური ტექნოლოგიების დამუშავება თანამედროვე სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის დეტალების აღდგენისათვის, რომლებიც საშუალებას მოგვცემს მნიშვნელოვნად გავზარდოთ მათი რემონტის შემდგომი რესურსი.

საქართველოში სასოფლო სამეურნეო კულტურების მოვლა მოყვანის კომპლექსური მექანიზაციის პროცესში მეტად ნიშნელოვანია ნიადაგის ღრმად დამუშავება ანუ ხვნა, რომელიც სასოფლო სამეურნეო გუთნებით სწარმოებს.

სასოფლო-სამეურნეო გუთნებს მძიმე პირობებში უხდებათ მუშაობა, მათ კვანძებსა და დეტალებზე მუდმივად მოქმედებენ ნიშანცვლადი დინამიკური დატვირთვები, მუშა გარემოში არსებული აბრაზიული ნაწილაკები, გარემოს ნესტიანობა, რადიაცია, ხახუნის ძალები და სხვ. ყველა აღნიშნული ფაქტორი იწვევს დეტალებისა და შეუღლებების ინტენსიურ ცვეთას, მათი სიმტკიცის შემცირებას და საბოლოო ანგარიშით, გუთნების მუშაუნარიანობის დაკარგვას ანუ მტყუნებას. გარდა ამისა, მუშა ორგანოების (სახნისები, ფრთები) ზღვრული ცვეთის შემდგომ მუშაობისას მნიშვნელოვნად იზრდება წევის ძალა, ტრაქტორის საწვავის ხარჯი, უარესდება ნიადაგის ხვნის ტექნოლოგიური პროცესი, მცირდება აგრეგატის მწარმოებლურობა და შეიძლება წარმოიქმნას საავარიო სიტუაცია, რაც საფრთხეს უქმნის მომუშავე პერსონალის სიცოცხლეს.

უნდა აღინიშნოს, რომ საქართველო მწვავედ განიცდის განსაკუთრებით გუთნების სახნისების დეფიციტს, რომელთა შემოტანა სწარმოებს თურქეთიდან, გერმანიიდან, საფრანგეთიდან და ბელორუსიდან. მათი წლიური ხარჯი ქვეყნის მასშტაბით ოფიციალური მონაცემებით 4000-5000 ცალს შეადგენს, ამიტომ დეფიციტურ დეტალებს წარმოადგენდა, შესაბამისად, საბაზრო ფასი მაღალია.

გუთნების დეტალების რესურსის გაზრდის ყველაზე ხელმისაწვდომი და იაფი მეთოდებია ელექტრორკალური დადუღება სალი შენადნობების გამოყენებით და ელექტროიძულებული განმტკიცება, რომლებიც საშუალებას იძლევიან აღვადგინოთ მათი საწყისი, ანუ ნომინალური ზომები და მივიღოთ გაზრდილი ცვეთამედეგობის ლითონური ფენა. ამ მიმართულებით მეტად აქტუალურია დეტალების დადუღებით აღდგენა-განმტკიცება ახალი, ინოვაციური მასალების გამოყენებით, რომლებიც მზადდებიან ადგილობრივი ნედლეულის ბაზაზე და საშუალებას იძლევიან ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების გამოყენებით მივიღოთ ცვეთამედეგი ბიმეტალური ნაკეთობები [6, 9].

საქართველოში დასადუღებელი მასალების წარმოება სამწუხაროდ არ ხდება და მათი შემოტანა სწარმოებს უკრაინიდან, რაც ეკონომიკური თვალსაზრისით წამგებიანია მრეწველობისათვის. ხშირია შემთხვევები, როდესაც იყენებენ დაბალი ხარისხის დასადუღებელ მასალებს, რაც ამცირებს დეტალების რესურსს.

დასადუღებელი მასალების ნომენკლატურაში გამოყენების ყველაზე ფართო სფერო გააჩნია ფხვნილგულა მავთულს, რომელიც წარმოადგენს მილოვან ან უფრო რთული კონსტრუქციის უწყვეტ ელექტროდს ფხვნილოვანი შევსებით. მის უპირატესობას სტანდარტულ საელექტროდე მასალებთან შედარებით განაპირობებს ის, რომ მისი დამზადება ხდება მექანიკური ხერხებით და აღარ საჭიროებს მეტალურგიული წარმოების საკმაოდ რთული ტექნოლოგიების გამოყენებას.

გუთნების გაცვეთილი დეტალების აღდგენისათვის აქტუალურია ახალი, რესურსდამზოგი ტექნოლოგიის დამუშავება და მისი რეჟიმების ოპტიმიზაცია, რომელიც ითვლება ტექნოლოგიური პროცესების სრულყოფის მაგისტრალურ მიმართულებად. ამ დროს ხდება ისეთი პირობებისა და რეჟიმების დადგენა, რომლებიც უზრუნველყოფენ საბოლოო მაქსიმალურ ეფექტს. უნდა აღინიშნოს, რომ ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმიზაციის დროს მრავალი მეცნიერი იყენებს მოძველებულ „კლასიკურ“ მეთოდებს, როდესაც ექსპერიმენტს ატარებს მხოლოდ ერთი ფაქტორის ვარირებით, დანარჩენს კი არ ცვლის. გვინდა ხაზგასმით აღვნიშნოთ, რომ ასეთი მიდგომა არაეფექტურია და დიდ დროს მოითხოვს.

მრავალფაქტორიანი ექსტრემალური ამოცანების ოპტიმიზაციის დროს მნიშვნელოვან ინტერსს იწვევს ექსპერიმენტების დაგეგმვის მეთოდები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან მიღებულ იქნას მათემატიკური მოდელები, რომლებიც აკავშირებენ ერთმანეთთან ოპტიმიზაციის პარამეტრს და მასზე მოქმედ ფაქტორებს. ექსპერიმენტების დაგეგმვით შესაძლებელია ტექნოლოგიური პროცესის მექანიზმის შესწავლის გარეშე მიღებულ იქნას ტექნოლოგიური რეჟიმების ოპტიმალური მნიშვნელობები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მაქსიმალურ ეკონომიკურ ეფექტს.

ექსტრემალური ექსპერიმენტების დაგეგმვის თეორია ახალი სამეცნიერო მიმართულებაა, რომლის ობიექტია მეცნიერული ცდები. ამ დროს ფაქტორული ექსპერიმენტის, გრადიენტის მიმართულებით მოძრაობისა და რეგრესიული მოდელის აგების შერწყმის საფუძველზე მიიღება ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმალური პარამეტრები, ხდება დროისა და ტექნიკური საშუალებების მნიშვნელოვანი ეკონომია.

ზემოთაღნიშნულიდან გამომდინარე, სადისერტაციო ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს ტექნოლოგიური ღონისძიებების დამუშავება სასოფლო-სამეურნეო გუთნების საიმედოობისა და რესურსის გაზრდისათვის, მათი გაცვეთილი დეტალების აღდგენის ინოვაციური რესურსდამზოგი ტექნოლოგიური პროცესის და მოწყობილობის დასაბუთება, მისი რეჟიმების ოპტიმიზაცია და ტექნიკურ-ეკონომიკური შეფასება.

1.1. თემის მიზნის გათვალისწინებით დასახული იქნა შემდეგი ამოცანები:

- არსებული გამოკვლევების ანალიზი სასოფლო სამეურნეო ტექნიკის საიმედოობის, გაცვეთილი დეტალების აღდგენის შესახებ და პრინციპულად ახალი, რესურს და ენერჯიადამზოგი ტექნოლოგიის დამუშავების დასაბუთება.
- საქართველოს თავისებურ პირობებში მომუშავე სასოფლო სამეურნეო გუთნების საექსპლუატაციო საიმედოობის ერთეული და კომპლექსური მაჩვენებლების განსაზღვრა.
- გუთნების სახნისების ცვეთის ალბათურ-სტატისტიკური მოდელირება ყველაზე უფრო გავრცელებული (მოდალური) ცვეთის განსაზღვრა და მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულებით მათი აღდგენის ხერხის დასაბუთება.
- გუთნების გაცვეთილი დეტალების მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულებით აღდგენისათვის საჭირო მოწყობილობის დამუშავება, დამზადება, გამოცდა.
- მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულებით აღდგენილი საფარის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების გამოკვლევა, ოპტიმიზაცია და აღდგენის ინოვაციური რესურსდამზოგი ტექნოლოგიური პროცესის დამუშავება.
- მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულებით სასოფლო-სამეურნეო გუთნების გაცვეთილი დეტალების აღდგენის პროცესის ტექნიკურ-ეკონომიკური შეფასება.
- სამეცნიერო სამუშაოთა შედეგების საფუძველზე დასკვნებისა და მეცნიერული რეკომენდაციების შემუშავება.

2. სამეცნიერო ლიტერატურის მიმოხილვა

2.1. სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების ანალიზი სასოფლო სამეურნეო ტექნიკის საიმედოობის შესახებ

მანქანების საიმედოობის შესახებ გამოკვლევები უკანასკნელ პერიოდში მსოფლიო მასშტაბით ინტენსიურად მიმდინარეობს, ტარდება სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციები, სემინარები და სიმპოზიუმები მეცნიერთა შორის მიღებული მიღწევების ურთიერთგაზიარებისათვის, ქარხნებსა და ფირმებში შექმნილია მანქანების საიმედოობის სამსახური, რომლის მიზანია არსებული ტექნიკის დახვეწა და იმ კვანძებისა და დეტალების გამოვლენა, რომლებსაც გააჩნიათ დაბალი რესურსი და საიმედოობა, მუდმივად ხდება ახალი მასალებისა და კონსტრუქციების დამუშავება, სწარმოებს ინტენსიური სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები ტექნიკის საექსპლუატაციო საიმედოობის მაჩვენებლების გამოკვლევებისა და შესაბამისი მეცნიერული რეკომენდაციების დამუშავებისათვის.

უნდა აღინიშნოს, რომ ტერმინები “საიმედოობა” და “ხანგამძლეობა” მსოფლიოს თითქმის ყველა ენაზე დიდი ხანია არსებობდა, მაგრამ ტექნიკურ ჟურნალებში მე-20 საუკუნის 50-იან წლებამდე თითქმის არ გამოიყენებოდა იმის გამო, რომ ამ მიმართულებით სამეცნიერო-კვლევითი და საკონსტრუქტორო სამუშაოები არ მიმდინარეობდა. სამეცნიერო-ტექნიკურმა რევოლუციამ და განსაკუთრებით ახალმა საინფორმაციო ტექნოლოგიებმა, მოითხოვეს მაღალი ხარისხისა და საიმედოობის მქონე მოწყობილობებისა და მანქანების დამზადება და ამიტომ დაიწყო ამ მიმართულებით ინტენსიური სამუშაოები. ამჟამად თითქმის არ ტარდება არცერთი სამეცნიერო ფორუმი, სადაც არ განიხილებოდეს მანქანების საიმედოობისა და ხანგამძლეობის პრობლემა, არ გამოდის არცერთი ტექნიკური ჟურნალი, რომელსაც არ ჰქონდეს ცალკე რუბრიკა მანქანების ხარისხისა და საიმედოობის შესახებ.

თავდაპირველად საიმედოობის თეორია ჩამოყალიბებული იქნა ავიამშენებლობაში, კოსმოსურ ტექნიკაში და რადიოელექტრონიკაში. ამ საქმეში მნიშვნელოვანი როლი შეასრულეს ა.რემეტოვის, ი.შორის, ბ.გნედენკოს, რ.კუგელის და სხვა მეცნიერთა ფუნდამენტურმა გამოკვლევებმა [59, 62]. აღნიშნული მეცნიერების მიერ შესრულებული იქნა სამუშაოები ორი ძირითადი მიმართულებით: პირველი მიმართულებით, რომელიც წარმოიშვა თვითმფრინავთმშენებლობაში და რადიოელექტრონიკაში, ხდებოდა მათემატიკური მეთოდების გამოყენება რთული სისტემების მუშაობის პროცესისა და საიმედოობის რაოდენობრივი მაჩვენებლების მათემატიკური მოდელირებისათვის, სისტემების სტრუქტურული სქემების შედგენა, რომლებიც უზრუნველყოფენ მანქანების საიმედოობის მაღალ დონეს. მეორე მიმართულება წარმოიშვა მანქანათმშენებლობაში და იგი შეისწავლის მანქანების მტყუნებათა ფიზიკურ ბუნებას (ცვეთა, დაღლილობითი სიმტკიცე, კოროზია). ამ მიმართულების მიზანია ტექნოლოგიური ღონისძიების დამუშავება, რომლებიც უზრუნველყოფენ მანქანებისა და მოწყობილობების მაღალ სიმტკიცეს, ცვეთგამძლეობასა და შესაბამისად, საიმედოობას. ამჟამად უნდა აღინიშნოს, რომ მსოფლიო მასშტაბით მიმდინარეობს ორივე სამეცნიერო მიმართულების შერწყმა, ერთი

უბნიდან მეორეში გადატანა, კომპლექსური ღონისძიებების ფორმირება მანქანების მაღალი საიმედოობისა და ხარისხის უზრუნველყოფისათვის.

ბ.გნედენკოს მიერ [50] დამუშავებული საიმედოობის მათემატიკური თეორია ფართოდ არის დანერგილი საიმედოობის გაანგარიშებისა და პროგნოზირებისათვის. ამასთან საინტერესოა თვით ბ.გნედენკოს მოსაზრება აღნიშნული საკითხის მიმართ, რომელიც წერს: „მათემატიკა არის კვლევისა და გაანგარიშების მხოლოდ საშუალება და არა თვითმიზანი. სათავეში ყოველთვის უნდა იყოს საინჟინრო პრობლემა და მისი გადაჭრისათვის უნდა გამოვიყენოთ ის მეცნიერული აპარატი, რომელიც ყველაზე უფრო შესაბამეა გამოსაკვლევ მოვლენის ბუნებას“. მაგრამ საიმედოობის თეორიის მათემატიკური მეთოდები ყოველთვის ვერ ახდენენ მანქანების მუშაობისა და ტექნოლოგიური პროცესების შესრულების სრულ მოდელირებას და ზოგჯერ ვერ მიიღება ადეკვატური შედეგები. ამიტომ, ამ დროს წარმატებით გამოიყენება საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა გამოკვლევების შედეგები, რომლებიც შეისწავლიან მანქანების მასალების მსხვრევის, დაბერებისა და თვისებების გაუარესების ფიზიკურ-ქიმიურ პროცესებს. გარდა აღნიშნულისა, მანქანების საიმედოობის პრობლემა აუცილებლად უნდა იქნეს განხილული ეკონომიკური პოზიციიდან, რადგანაც ეკონომიკა წარმოადგენს ერთ-ერთ ძირითად კრიტერიუმს საიმედოობის პრაქტიკული საკითხების გადაწყვეტისათვის.

სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის საიმედოობის პრობლემის სრულფასოვანი შესწავლა შედარებით მოგვიანებით მე-20 საუკუნის 60-იანი წლებიდან დაიწყო. ამ მხრივ აღსანიშნავია ვ.ანილოვიჩის, ა.სელივანოვის, ვ.მიხლინის, ლ.ერმოლოვის, ვ.კრიაჟკოვის და სხვა მეცნიერთა შრომები [45, 52, 56, 57, 60].

ვ.ანილოვიჩმა [45, 46] დაამუშავა სასოფლო-სამეურნეო მანქანა-იარაღების საიმედოობის გაანგარიშების თეორიული საფუძვლები, ხოლო ა.სელივანოვმა და ი.არტემიევმა კი ანალოგიური კვლევები ჩაატარეს ტრაქტორებისა და ავტომობილების შესახებ [57].

ვ.მიხლინმა [60] შეისწავლა სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის საიმედოობის მართვის პროცესები თანამედროვე მათემატიკური მეთოდებისა და დიაგნოსტიკური მოწყობილობების გამოყენებით.

ლ.ერმოლოვმა პირველად შექმნა სრულფასოვანი სახელმძღვანელო სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის საიმედოობის, როგორც მეცნიერების შესახებ [52].

ვ.კრიაჟკოვმა [56] დაასაბუთა ძირითადი მიმართულებანი ტრაქტორებისა და სხვა სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის საიმედოობისა და ხარისხის გაზრდისათვის წარმოების, ექსპლუატაციისა და რემონტის დროს.

საქართველოში სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის საიმედოობის შესახებ სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები ძირითადად დაიწყო მე-20 საუკუნის 70-იანი წლებიდან, რ.მახარობლიძის, ჯ.კაციტაძის, ჯ.ბიწაძის, ნ.სარჯველაძის და სხვათა მიერ.

რ.მახარობლიძემ პირველად გამოსცა ა.ღუდუშაურთან ერთად სახელმძღვანელო სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის საიმედოობის საფუძვლები, სადაც ჩამოყალიბებული იქნა აღნიშნული მეცნიერების განვითარების ძირითადი პრინციპები.

ჯ.კაციტაძემ და ნ.სარჯველაძემ შეასრულეს სრულფასოვანი გამოკვლევები მობილური და მცირე მექანიზაციის მანქანების საიმედოობისა და რემონტისშემდგომი რესურსის გაზრდის შესახებ [4, 5, 11, 23, 24, 25].

ჯ.ბიწაძემ გამოიკვლია სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის პარამეტრების მართვის საკითხები რემონტის დროს და დაამუშავა ტექნოლოგიური ღონისძიებანი მათი გაზრდისათვის.

ბოლო პერიოდში ჯ.კაციტაძის, შ.ჭალაგანიძის, ი.კაპანაძისა და ნ.სარჯველაძის მიერ მნიშვნელოვანი სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები იქნა ჩატარებული საქართველოში საზღვარგარეთიდან შემოტანილი სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის საექსპლუატაციო საიმედოობის მაჩვენებლების განსაზღვრისა და სერვისის რაციონალური ფორმების დასაბუთებისათვის [7, 14]. მათ მიერ განსაზღვრული იქნა საზღვარგარეთის ეკონომიკურად განვითარებული ქვეყნებიდან შემოტანილი სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის საექსპლუატაციო საიმედოობის ერთეული და კომპლექსური მაჩვენებლები ქვეყნის თავისებურ პირობებში მუშაობის გათვალისწინებით და დამუშავებულია მეცნიერული რეკომენდაციები ტექნიკური სერვისის რაციონალური ორგანიზაციისათვის დილერული სამსახურის გათვალისწინებით. მაგრამ აღნიშნული კვლევები ჩატარებულია ძირითადად ტრაქტორებისა და ავტომობილებისათვის და თითქმის არ მოიცავს სასოფლო-სამეურნეო გუთნებს. მიგვაჩნია, რომ მთლიანად სასოფლო-სამეურნეო გუთნების საიმედოობის მაჩვენებლების გამოკვლევა საქართველოს პირობებში მუშაობის გათვალისწინებით აქტუალურ სამეცნიერო პრობლემას წარმოადგენს.

2.2. სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის გაცვეთილი დეტალების აღდგენის თანამედროვე ხერხების ანალიზი.

სასოფლო-სამეურნეო გუთნების მწარმოებლურობის გაზრდას, რაც მსოფლიო მასშტაბით გავრცელებული ტენდენციაა, თან ახლავს მისი მუშა ორგანოების სიჩქარის გაზრდა, რაც თავის მხრივ იწვევს მასზე მოქმედი დინამიკური ძალების მკვეთრ გადიდებას და შეუღლებებაში მყოფი დეტალების ინტენსიურ ცვეთას, იზრდება საწყისი ჩასმის ღრეჩო და გარკვეული პერიოდის შემდეგ, მანქანა იწყებს ავარიული ცვეთის რეჟიმში მუშაობას [4], აღნიშნული მდგომარეობის თავიდან აცილების და მანქანის ნორმალური მუშაობისათვის საჭიროა შეუღლებებში საწყისი ჩასმის აღდგენა, რაც უმეტეს შემთხვევაში, ხორციელდება გაცვეთილი დეტალების აღდგენით ნორმალურ ზომამდე. გაცვეთილი დეტალების აღდგენა დიდ ეკონომიკურ ეფექტს იძლევა, რადგანაც ამ დროს ხდება ნამუშევარი დეტალის ხელმეორედ გამოყენება, იზრდება მანქანის რესურსი და მცირდება სათადარიგო ნაწილების ხარჯი.

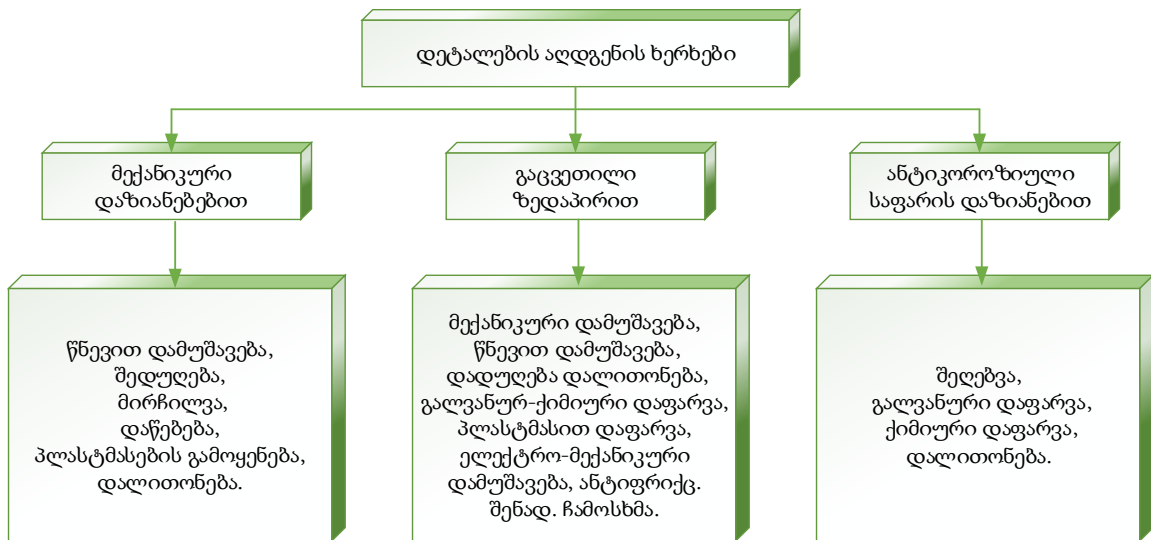
ჯ.კაციტაძის მონაცემებით [4] მანქანების გაცვეთილი დეტალების პროგრესული ხერხების გამოყენებით აღდგენისას 5...8-ჯერ უფრო ნაკლები საწარმოო ოპერაციები

სრულდება, ვიდრე ახალი დეტალების დამზადების დროს ხდება, ხოლო მათ აღდგენაზე დანახარჯები არ აღემატება ახალი დეტალის ღირებულების 30%-ს. ამჟამად დამუშავებულია სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის გაცვეთილი დეტალების აღდგენის ისეთი პროგრესული ხერხები, რომლებიც საშუალებას გვაძლევენ აღვადგინოთ არა მარტო მათი პირვანდელი ზომები და ხარისხი, არამედ მივიღოთ უფრო ხანგამძლე დეტალები, რომელთა რემონტისშემდგომი რესურსი, ზოგიერთ შემთხვევაში, აღემატება ახალს [58, 66].

უნდა აღინიშნოს, რომ, როგორც უცხოეთში, ასევე ჩვენთანაც ინტენსიური სამუშაოები მიმდინარეობს მანქანების გაცვეთილი დეტალების აღდგენის ახალი პროგრესული ხერხების შემუშავებისა და სარემონტო წარმოებაში დანერგვისათვის.

მანქანების რემონტისა და გაცვეთილი დეტალების აღდგენის თანამედროვე ხერხების გამოკვლევასა და დანერგვაში მეცნიერული საფუძვლები დამუშავებული იქნა ი.ლევიტსკის, ი.პეტროვის, ვ.შადრიჩევის, ვ.კაზარცევის, ა.სელივანოვის და სხვათა მიერ [32, 58, 64, 66]. მათ მიერ დასაბუთებული იქნა დეტალების აღდგენის პრინციპულად ახალი ხერხები, შესაბამისი მოწყობილობები და რეჟიმები.

საქართველოში ამ მიმართულებით მნიშვნელოვანი სამეცნიერო შრომები შეასრულეს ი.თუშიშვილმა, შ.ჭალაგანიძემ, ჯ.კაციტაძემ, ა.ბერეჩიკიძემ, ა.სახნიაშვილმა, ნ.სარჯველაძემ და სხვებმა [4, 23, 24]. აღნიშნული მეცნიერების მიერ შემუშავებული იქნა მანქანების ტიპობრივი დეტალების აღდგენის ხერხები და რეჟიმები საქართველოს თავისებურ პირობებში ტექნიკის მუშაობისას. ქვემოთ მოცემულია (ნახ. 2.1) გაცვეთილი დეტალების აღდგენის ტრადიციული და თანამედროვე ხერხები, რომელთა სქემა წარმოდგენილი იქნა ჯ. კაციტაძის მიერ [4].

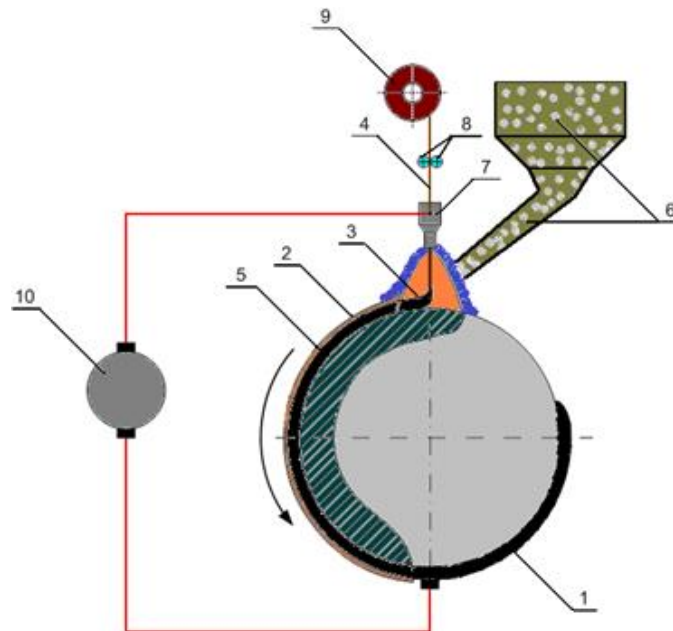


ნახ. 2.1 მანქანების გაცვეთილი დეტალების აღდგენის ხერხები.

ჩვენ შევეცადეთ განსაკუთრებული ყურადღება გაგვემახვილებინა დეტალების აღდგენის თანამედროვე ხერხებისადმი, რომლებიც წარმატებით გამოიყენება სარემონტო საწარმოებში. ძველი, ტრადიციული მეთოდები, როგორცაა საწყისი ჩასმის აღდგენა

სარემონტო ზომების გამოყენებით, წნევით დამუშავება, დაწებება, გაფრქვევით დალითონება, ელექტრო-მექანიკური და ანოდურ-მექანიკური დამუშავება კარგადაა შესწავლილი და დაწვრილებით არის განხილული თითქმის ყველა ნაშრომში, რომელიც დეტალების აღდგენის ხერხებს შეეხება, ამ მხრივ ყურადღებას იმსახურებს ისეთი ფართოდ გავრცელებული ხერხები, როგორცაა დადუღების მექანიზებული მეთოდები: მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღება, დადუღება დამცავ არეში, ფოლადის ლენტის ავტომატური დადუღება და სხვ. ამ საკითხებისადმი მიძღვნილია მრავალი ნაშრომი, რომელშიც წარმოდგენილია საჭირო მოწყობილობები, დანადგარები, სამარჯვები და აღდგენის ოპტიმალური რეჟიმები.

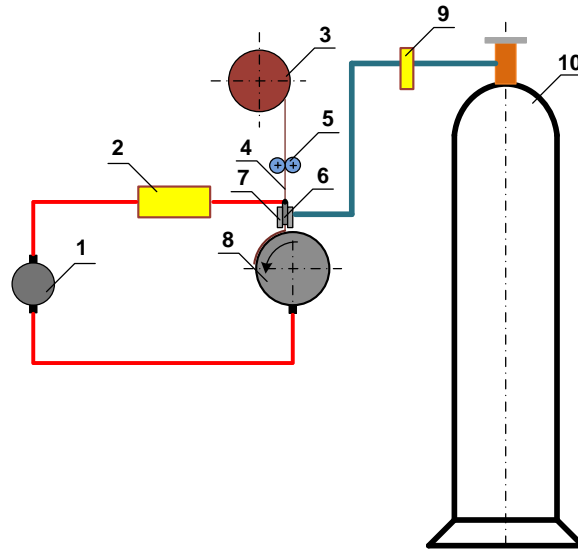
მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებისას ელექტრული რკალის არეში შეჰყავდათ მდნობი (ფლუსი), რომელიც წარმოქმნის დამცავ გარსს და ეს უკანასკნელი იცავს დადუღებულ ლითონის ფენას ატმოსფეროს მავნე ზემოქმედებისაგან [4, 11, 15]. ნახ. 2.2-ზე მოცემულია მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღების პრინციპული სქემა და იქვე ნაჩვენებია დანადგარის შემადგენელი ელემენტები.



ნახ. 2.2 მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღების პრინციპული სქემა.

1. დადუღებული დეტალი; 2. წიდის ქერქი; 3. ელექტრული რკალი; 4. საელექტროდე მავთული; 5. დადუღებული ფენა; 6. მოწყობილობა მდნობის მიწოდებისათვის; 7. სატუჩი; 8. მიმწოდებელი მექანიზმი; 9. კოჭი; 10. დენის წყარო (გენერატორი).

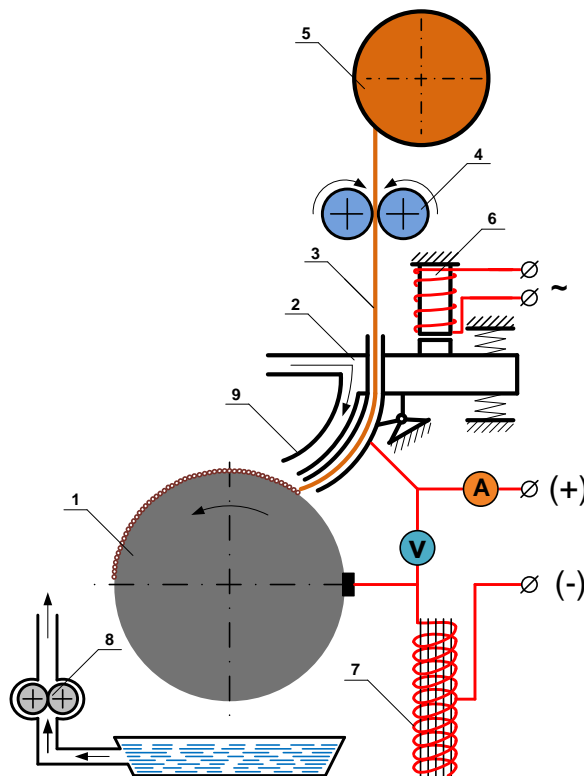
მდნობის ქვეშ დადუღების მინიმალური სისქეა 1 მმ, მაქსიმალური კი პრაქტიკულად შემოსაზღვრული არ არის. ნახ. 2. 3-ზე მოცემულია ნახშირორჟანგის არეში დადუღების სქემა:



ნახ. 2.3 ნახშირორჟანგის არეში დადუღების სქემა.

1.გენერატორი; 2.ელექტროგამანაწილებელი მოწყობილობა; 3.კოჭა; 4.საელექტროდე მავთული; 5.მიმწოდებელი მექანიზმი; 6.სატუჩი (მუნდმტუკი); 7.სანთურა; 8.დეტალი; 9.ელექტროგამაცხელებელი; 10.ბალონი.

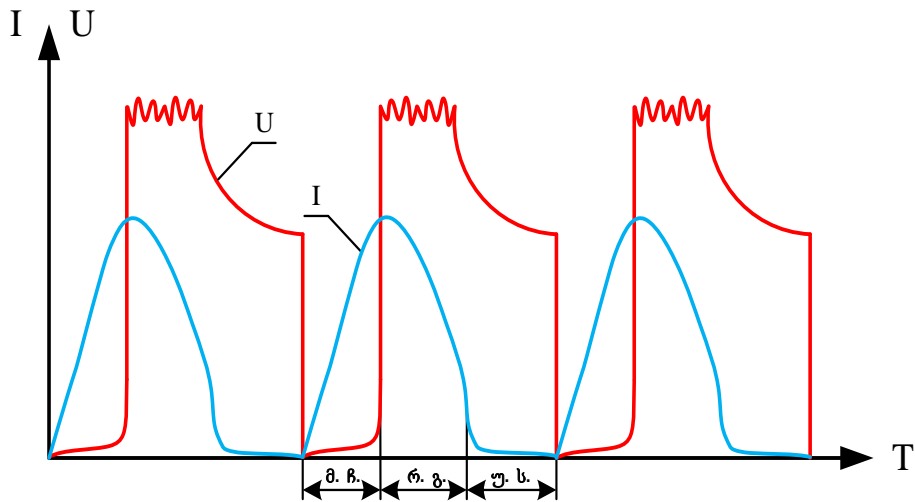
ამჟამად სარემონტო საწარმოებში ფართოდ იყენებენ ავტომატურ ვიბრორკალურ დადუღებას, რომელიც პირველად დამუშავებული იქნა ი.ულმანისა და ა.კლეკოვკინის მიერ [64]. ნახ. 2.4-ზე მოცემულია ავტომატური ვიბროდადუღების პრინციპული სქემა და მისი ელემენტები.



ნახ. 2. 4. ვიბრორკალური დადუღების პრინციპული სქემა.

1. დასადუღებელი დეტალი; 2. რხევადი სატუჩი (მუნდშტუკი); 3. საელექტროდის მასალა; 4. მიმწოდებელი მექანიზმის გორგოლაჭები; 5. დოლი; 6. ელექტრომაგნიტური ვიბრატორი; 7. თვითინდუქციის კოჭი; 8. ტუმბო; 9. არხი გამაგრებელი სითხის მიწოდებისათვის.

ვიბრორკალური დადუღების დროს რხევადი ელექტროდი პერიოდულად კრავს შედუღების წრედს და ამით ცვლის ძაბვისა და დენის ძალის მნიშვნელობას. ვიბრორკალურ დადუღებას აწარმოებენ მუდმივ დენზე 14-20 ვ ძაბვის დროს უკუპოლარობით. ვიბრაციის თეორიული ციკლის დროს შეიძლება გამოიყოს სამი პერიოდი: მოკლე ჩართვის, რკალური განმუხტვისა და უქმი სვლის პერიოდები. (ნახ. 2. 5).



ნახ. 2. 5. მუდმივ დენზე ვიბრორკალური დადუღების ოსცილოგრამა.

მ.ჩ.- მოკლე ჩართვა; რ.გ.- რკალური განმუხტვა; უ.ს - უქმი სვლა; I-ძაბვა; U-დენის ძალა; T-დრო.

წრედის გაწყვეტის პერიოდში ელექტროდის მოშორებისას ძაბვა იზრდება თვითინდუქციის ელექტრომაგნიტური ძალის გავლენით და იქმნება პირობები მოკლე დროის განმავლობაში რკალური განმუხტვისათვის. ელექტროდის გადნობის ზომისა და მისი მოძრაობის მიხედვით იზრდება მანძილი ელექტროდსა და დეტალს შორის, ხოლო დენის ძალა მნიშვნელოვნად მცირდება. რკალური განმუხტვის პერიოდი ამით მთავრდება და იწყება უქმი სვლის პერიოდი.

რკალური განმუხტვის დროს გამოიყოფა სითბოს 70-95%. ამავე პერიოდში მიმდინარეობს ელექტროდის მასალის გადატანა დეტალზე.

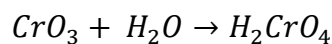
ვიბრორკალური შედუღების დროს შეგვიძლია მივიღოთ მცირე სისქის და მაღალი სიმტკიცის მქონე ფენა (სისქით 0,8...2,5 მმ ერთ მხარეს), წრიული კვეთის დეტალებისათვის, რომელთა დიამეტრიც შეიძლება იცვლებოდეს 15-დან 300 მმ-მდე. ამას ხელს უწყობს გამაგრებელი სითხე, რომელიც ამცირებს დეტალის ტემპერატურას (თერმული მოქმედების ზონას) და დეფორმაციას. ვიბრორკალური დადუღება მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ ისეთი დეტალების აღსადგენად, რომელთა ცვეთა სიმეტრიულია და არ აღემატება 2 მმ-ს ერთ მხარეს.

დადუღების ზემოთაღნიშნული მექანიზებული წესები ფართოდ არის დანერგული სარემონტო საწარმოებში და მათი საშუალებით ხდება დეტალების ალდგენის სამუშაოების 60...70%-ის შესრულება.

ამ ხერხების დადებითი მხარეებია: ალდგენის პროცესის მაღალი მწარმოებლურობა და ავტომატიზაცია, მაღალი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მქონე ფენის მიღების შესაძლებლობა და ფართო ნომენკლატურის დეტალების რემონტი. ამასთან მათ გააჩნიათ ნაკლოვანი მხარეებიც, კერძოდ: დადუღებისას დეტალი ხურდება მაღალ ტემპერატურამდე, რაც უარყოფით გავლენას ახდენს მის სტრუქტურასა და მექანიკურ თვისებებზე, შეუძლებელია მცირე დიამეტრის და მცირე ცვეთის მქონე დეტალების ალდგენა, ამავე დროს გამოიყენება სპეციალური საელექტროდე მასალა, რომელიც აძვირებს დადუღებით ალდგენის პროცესს [49, 60].

სარემონტო ტექნიკაში, ზემოთაღნიშნული ალდგენის ხერხების გარდა ფართოდ გამოიყენება დაქრომვა. ელექტროლიტურ ქრომს გააჩნია შესანიშნავი დეკორატიულ-დაცვითი თვისებები, მნიშვნელოვანი სისაღე (400-1200 HV) ხახუნის მცირე კოეფიციენტი (0,3 ბაბიტზე ხახუნის დროს და 0,66 ფოლადთან ხახუნის დროს), კარგი ცვეთგამძლეობა, როგორც ხახუნის ჩვეულებრივ პირობებში, ასევე აქტიურ კოროზიულ გარემოში, ლამაზი გარეგანი სახე და მაღალი ჩაჭიდების სიმტკიცე. დაქრომვა არ იწვევს ძირითადი ლითონის სტრუქტურის ცვლილებებს. დანიშნულების მიხედვით ელექტროლიტური დაქრომვა შეიძლება გამოყენებული იქნეს ცვეთამდეგი, ანტიკოროზიული და დეკორატიული ფენის მისაღებად. სარემონტო წარმოებაში გამოიყენება ჰპოვა დაქრომვის პირველმა სახემ [12].

ქრომოვანი ელექტროლიტების მთავარ შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს ქრომის მჟავა, რომელიც მიიღება ქრომოვანი ანჰიდრიდის წყალში გახსნით.



ქრომის მჟავას სუფთა ხსნარისგან ლითონის გამოყოფა კათოდზე არ ხდება. ამ პროცესისათვის საჭიროა ელექტროლიტში იყოს უცხო ანიონების უმნიშვნელო რაოდენობა (კატალიზატორები). ამ როლს ყველაზე ხშირად თამაშობს სულფატების ანიონები SO_4 , რომელთა წყაროს წარმოადგენს გოგირდმჟავა, რომელიც ხსნარს ემატება ქრომის ანჰიდრიდის CrO_3 -ის 1%-მდე. ხარისხიანი ქრომის ფენა მიიღება შემდეგი ფარდობის დროს.

$$\frac{CrO_3}{H_2SO_4} = 90 \dots 120$$

ქრომირების მიმდინარე პროცესები ჯერ კიდევ არ არის მთლიანად გამორკვეული, გავრცელებულია თეორია (მ.შლუგერის მიხედვით), რომლის თანახმად ელექტროლიტული ქრომის დაფარვა კათოდზე იწყება. დენის სიმკვრივის ქვემოთ მიმდინარეობს ექვსვალენტიანი ქრომის სამვალენტიანად ალდგენა, ხოლო მის ზემოთ კი $Cr^{+6} \rightarrow Cr^{+3}$ რეაქციასთან ერთად, ხდება აიროვანი წყალბადისა და ლითონური ქრომის

გამოყოფა $H^+ \rightarrow H$; $Cr^{+6} \rightarrow Cr$ მაშასადამე, კათოდზე ერთდროულად მიმდინარეობს სამი პროცესი:

- ექვსვალენტიანი ქრომიდან სამვალენტიანი ქრომის აღდგენა;
- წყალბადის გამოყოფა;
- ლითონური ქრომის გამოყოფა.

ანოდზე მიმდინარეობს აიროვანი ჟანგბადის გამოყოფა $OH^- \rightarrow O$ და სამვალენტიანი ქრომის დაჟანგვა ექვსვალენტოვნად $Cr^{+3} \rightarrow Cr^{+6}$ იმისათვის, რომ ელექტროლიტი ნორმალურად მუშაობდეს საჭიროა დაცულ იქნეს ფარდობა:

$$\frac{Cr_2O_3}{CrO_3} = 0,03 \dots 0,04$$

ამისათვის ანოდების ზედაპირების ფართობები 1,5-2-ჯერ მეტი უნდა იყოს კათოდის ზედაპირის ფართობზე. ქრომოვანი ანჰიდრიდის კონცენტრაცია ელექტროლიტში შეიძლება იცვლებოდეს ფართო დიაპაზონში და პრაქტიკაში გავრცელებულ ცხელ ელექტროლიტებში („ცხელი“ ეწოდებათ ელექტროლიტებს, რომელთა ტემპერატურა მაღალია და მერყეობს ზღვრებში $t = 40 - 100^\circ C$ – მდე) იცვლება ზღვრებში 150-დან 350 გრ/ლ.

სარემონტო წარმოებაში უფრო გამოყენებულია ბრწყინვალე და რძისფერი ფერის ქრომოვანი ნალექი, რომლებიც ხასიათდება მაღალი სისალით და ცვეთგამძლეობით. ზემოთ აღნიშნული ელექტროლიტები ხასიათდებიან დენზე დაბალი გამოსავალით (10...16%) და შემადგენლობის ცვალებადობით, რის გამოც მცირდება მწარმოებლურობა და უარესდება დაფენილი ნალექის ხარისხი.

მიგვაჩნია, რომ საჭიროა თანამედროვე კვლევის მეთოდებისა და ექსტრემალური ექსპერიმენტების დაგეგმვის თეორიის გამოყენებით მოხდეს მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღების პროცესის ოპტიმიზაცია, მისი გამოყენებით გუთნების სახნისების აღდგენის რესურსდამზოგი ინოვაციური ტექნოლოგიისა და მოწყობილობების დამუშავება. მნიშვნელოვანია ასევე ახალი შემადგენლობის მდნობებისა და ფხვნილოვანი ელექტროდული მასალების დამუშავება.

3. მასალები და მეთოდები

სადისერტაციო ნაშრომის შესრულებისათვის სამეცნიერო ხელმძღვანელთან ერთად ჩვენს მიერ შედგენილი და შემდგომში რეალიზებული იქნა ზოგადი და კერძო მეთოდიკები თეორიულ-ექსპერიმენტული სამუშაოების ჩატარებისათვისათვის საკვლევი ობიექტების ოპტიმალური რაოდენობის დასაბუთებისათვის, სასოფლო სამეურნეო გუთნების საექსპლუატაციო საიმედოობის განსაზღვრისა და მათი ალბათურ-სტატისტიკური მოდელების მიღებისათვის, ექსპერიმენტული მოწყობილობის დაპროექტებისა და გაცვეთილი დეტალების აღდგენის რესურსდამზოგი ინოვაციური

ტექნოლოგიის დამუშავებისათვის. კვლევების თეორიულ ბაზად გამოყენებულ იქნა ისეთი თანამედროვე მათემატიკური მეთოდები, როგორცაა: ალბათურ-სტატისტიკური მოდელირება, მსგავსობითობისა და განზომილებათა თეორია, ექსტრემალურ ექსპერიმენტების დაგეგმვა და მასობრივი მომსახურების თეორია. საკვლევ ობიექტს წარმოადგენდა გუთნების გაცვეთილი სახნისები, ფრთები და სხვა დეტალები, ჩვენი პატენტით დამზადებული, დაპროექტებული და დამზადებული სტენდი სახნისების მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებისათვის, შესაბამისი მაკოპირებული მოწყობილობა, ორიგინალური შემადგენლობის მასალები-ფლუსები, ფხნილგულა ელექტროდები და დამდუღებელი მუნდშტუკები.

ქვემოთ წარმოდგენილია ჩვენს მიერ დამუშავებული, რეალიზებული მეთოდები და მოწყობილობები

3.1. საკვლევ ობიექტების რაოდენობის დასაბუთება

სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის საექსპლუატაციო საიმედოობის ერთეული და კომპლექსური მაჩვენებლების განსაზღვრისათვის მეტად მნიშვნელოვანია სანდო სტატისტიკური მონაცემები მათი მუშაობის შესახებ, რომლებშიც უნდა აისახოს თითოეული მარკის მანქანის მუშაობის დადებითი და უარყოფითი მომენტები, გამოვლინდეს საქართველოს თავისებურ პირობებში მომუშავე ყველაზე უფრო დაბალი საიმედოობის მქონე დეტალები და დაისახოს ღონისძიებანი მისი საიმედოობის გაზრდისათვის ყველაზე ნაკლებად საიმედო კვანძების მოდერნიზაციის მიზნით. პროფ. ჯ. კაციტაძის ხელმძღვანელობით დამუშავებული იქნა სპეციალური ჟურნალი საიმედოობის შესახებ სტატისტიკური მონაცემების მისაღებად, სადაც აღინიშნებოდა გამოსაკვლევ გუთნის მარკა, რეგიონის, რაიონისა და მეურნეობის (ან სოფლის) დასახელება სადაც მუშაობდა მ მექანიზატორის გვარი და სახელი, დამამზადებელი ქვეყანა, წელი, გუთნის ნომერი, ნამუშევარი მტყუნებაზე, მტყუნების სახე, მიზეზი და მის აღმოფხვრაზე საჭირო დრო, ყველაზე ნაკლებად საიმედო კვანძები და ინტენსიურად ცვეთადი დეტალები, მათი მაქსიმალური ცვეთა და სხვა მონაცემები. აღნიშნული ჟურნალი წარმოდგენილია დანართში.

ტექნიკის ნამუშევარი ძირითადად გამოისახებოდა ჰა-ში ან საათებში. განსაკუთრებული ყურადღება ექცეოდა მტყუნებათა ხასიათს, მიზეზებსა და სირთულის ჯგუფს, იძულებით და რეგლამენტირებულ მოცდენებს, მტყუნებათა აღდგენის დროს და მათ აღმოფხვრაზე საჭირო ფულად დანახარჯებს, ცვეთის შესახებ მონაცემების აღების დროს, გაცვეთილი დეტალის გაზომვა ხდებოდა სამ ადგილზე და აიღებოდა ცვეთის მაქსიმალური მნიშვნელობა.

გამოკვლევები სწარმოებდა ამბროლაურის, ონის, ასპინძისა და ახალციხის მთიან რაიონებში, სადაც აღნიშნული ტექნიკის საექსპლუატაციო საიმედოობის მაჩვენებლები ჯერ კიდევ არ არის გამოკვლეული ადგილობრივ პირობებში მუშაობის გათვალისწინებით.

აღნიშნული მეთოდის მიხედვით გამოსაკვლევ ობიექტების რაოდენობის შერჩევა ხდება შემდეგნაირად:

1. განისაზღვრება გამოსაკვლევი ობიექტის მაჩვენებლის საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა - \bar{x} , საშუალო კვადრატული გადახრა - σ და ვარიაციის კოეფიციენტი V ;

2. ვარიაციის კოეფიციენტის მიხედვით შეირჩევა გამოსაკვლევი პარამეტრის განაწილების თეორიული კანონი. თუ ვარიაციის კოეფიციენტი $V = 1$ შეირჩევა ექსპონენციალური განაწილების კანონი, თუ $V < 0,32$ - ნორმალური განაწილების კანონი, ხოლო თუ $V > 0,32$ - ვეიბულის განაწილების კანონი, იმ შემთხვევაში, როდესაც უცნობია აპრიორული ინფორმაცია, ვარიაციის კოეფიციენტის გამოთვლისათვის, გამოსაკვლევი პარამეტრის განაწილების თეორიულ კანონად ლიაპუნოვის თეორემის მიხედვით [4] შეირჩევა ნორმალური განაწილება;

[4]-ში ციტირებულია ლიაპუნოვის თეორემა.

3. შეირჩევა სანდო ალბათობა α და ფარდობითი სიზუსტე - ε ;

4. სპეციალური ცხრილების ან ნომოგრამების გამოყენებით V , α და ε -ის მიხედვით განისაზღვრება გამოსაკვლევი ობიექტის რაოდენობა. ჩვენი ექსპერიმენტების შემთხვევაში უმეტესად ვარიაციის კოეფიციენტი $V \leq 0,28$, $\varepsilon = 0,1$, ხოლო $\alpha = 0,25$.

ამ მონაცემების მიხედვით ვ. მიხლინის მიერ შედგენილი სტატისტიკური ცხრილების გამოყენებით [60] მივიღეთ გამოსაკვლევი ობიექტების რაოდენობა $N = 96$.

კვლევის სიზუსტის გაზრდის მიზნით აღნიშნული შედეგი გავზარდეთ და საბოლოოდ მივიღეთ $N = 100$.

3.2. სასოფლო სამეურნეო გუთნების დეტალების ცვეთის შესახებ შეგროვილი სტატისტიკური მასალის დამუშავების მეთოდოლოგია

საქართველოს სამთო პირობებში მომუშავე სასოფლო-სამეურნეო გუთნების საექსპლუატაციო საიმედოობის მაჩვენებლების შესახებ შეგროვილი სტატისტიკური მასალების დამუშავებას ვაწარმოებდით ალბათობის თეორიისა და მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდების გამოყენებით. ამისათვის გამოყენებული იყო სტატისტიკური მომენტების მეთოდი, რომელიც დაზუსტებული იქნა ჯ. კაციტაძის მიერ [4].

დაკვირვების შედეგად მიღებული სტატისტიკური რიგის მიხედვით, ხდებოდა ვარიაციული რიგის შედგენა პირობით $x_1 < x_2 < x_3 \dots < x_n$, ამის შემდეგ განისაზღვრებოდა ინტერვალთა რიცხვი სტერჟესის ფორმულით:

$$K = 1 + 3,2 \cdot \lg N, \text{ სადაც } N \text{ არის ცდათა რიცხვი.}$$

დეტალების ცვეთის ინტერვალის სიგანე (ბიჯი) გამოითვლებოდა ფორმულით:

$$h = \frac{x_{max} - x_{min}}{K}$$

სადაც x_{max} და x_{min} - შესაბამისად დეტალების ცვეთის მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობებია.

ამის შემდეგ ხდებოდა სტატისტიკური მომენტების გამოთვლა ფორმულებით:

$$v_1 = \frac{\sum_{i=1}^K x' m_i}{N},$$

$$v_2 = \frac{\sum_{i=1}^K (x')^2 m_i}{N},$$

$$v_3 = \frac{\sum_{i=1}^K (x')^3 m_i}{N},$$

$$v_4 = \frac{\sum_{i=1}^K (x')^4 m_i}{N},$$

$$\mu_2 = v_2 - v_1^2,$$

$$\mu_3 = v_3 - 3v_2v_1 + 2v_1^3,$$

$$\mu_4 = v_4 - 4v_3v_1 + 6v_2v_1^2 - 3v_1^4,$$

$$x' = \frac{x_i - x_0}{h},$$

სადაც: v_1, v_2, v_3 და v_4 - შესაბამისად წარმოადგენენ პირველი, მეორე, მესამე და მეოთხე რიგის საწყის მომენტებს;

μ_2, μ_3 და μ_4 - მეორე, მესამე და მეოთხე რიგის ცენტრალურ მომენტებს;

x_i - ინტერვალის საშუალო მნიშვნელობაა;

x_0 - x_i -ის ისეთი მნიშვნელობაა, რომელსაც შეესაბამება მაქსიმალური ემპირიული სიხშირე.

სტატისტიკური მომენტები საშუალებას იძლევიან უფრო მეტი სიზუსტით განისაზღვროს ცვეთის მაჩვენებლები.

მათი გაანგარიშების შემდეგ ხდებოდა დეტალების ცვეთის განაწილების გენერალური მახასიათებლების განსაზღვრა შემდეგი თანმიმდევრობით:

- ცვეთის საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა:

$$\bar{x} = x_0 + v_1 h ,$$

- საშუალო კვადრატული გადახრა:

$$\sigma = h\sqrt{\mu_2} ,$$

- ასიმეტრიის კოეფიციენტი:

$$A = \frac{\mu_3}{\sqrt{\mu_2^3}} ,$$

- ექსცესის კოეფიციენტი:

$$\beta = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 3 ,$$

- ვარიაციის კოეფიციენტი:

$$V = \frac{\sigma}{x} ,$$

- საშუალო მნიშვნელობის საშუალო ცდომილება:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} ,$$

- კვლევის სიზუსტე:

$$\delta = \frac{\sigma_{\bar{x}}}{x} ,$$

- მედიანა:

$$Me = L + \frac{\left(\frac{\sum_{i=1}^K m_i}{2} - S_d \right)}{m_{Me}}$$

L - მედიანური ინტერვალის დასაწყისია;

S_d - დაგროვილი ფარდობითი სიხშირეა, რომელიც აიღება შემდეგი პირობის დაცვით:

$$S_d \leq \frac{\sum_{i=1}^K m_i}{2},$$

m_{Me} - მედიანურ ინტერვალში მყოფი ინტერვალის ემპირიული სიხშირეა.

დეტალების ცვეთის ყველაზე უფრო გავრცელებული ანუ მოდალური მნიშვნელობა განისაზღვრებოდა ფორმულით:

$$M_o = \bar{x} + 3(Me - \bar{x}),$$

ემპირიული შედეგების აპროქსიმაციისათვის ალბათურ-სტატისტიკური მოდელირებისას თეორიულ კანონად გამოყენებული იყო ექსპონენციალური, ნორმალური და ვეიბულის განაწილებები, რომლებიც საკმარისი ადექვატურობით ასახავენ გამოსაკვლევი მაჩვენებლის ემპირიულ განაწილებას.

თეორიული სიხშირე განისაზღვრებოდა ფორმულით:

$$m_x = Nhf(x),$$

სადაც $f(x)$ - არის დეტალის ცვეთის განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია ანუ ალბათობის სიმკვრივე და მისი განსაზღვრა ხდებოდა თეორიული კანონის მიხედვით შემდეგი ფორმულებით:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x},$$

- ექსპონენციალური განაწილებისათვის;

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}},$$

- ნორმალური განაწილებისათვის;

$$f(x) = \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b},$$

- ვეიბულის განაწილებისათვის.

მოცემულ ფორმულაში λ - არის ცვლელის ინტენსივობა,

$$\lambda = \frac{1}{x}$$

a და b - ვეიბულის განაწილების მუდმივი კოეფიციენტებია და ისინი განისაზღვრებიან ცდით.

3.3. ემპირიული და თეორიული შედეგების დამთხვევის შემოწმება

სტატისტიკური მასალის თვალსაჩინოდ გამოსახვისათვის ხდებოდა მათი შედეგების გრაფიკული სახით გამოსახვა ჰისტოგრამების სახით, შემდეგ კი აიგებოდა პოლიგონი ანუ განაწილების ემპირიული მრუდი, შეირჩეოდა საიმედოობის მაჩვენებლის განაწილების თეორიული კანონი, აიგებოდა მისი გრაფიკი და ბოლოს ხდებოდა თეორიული და ემპირიული დიაგრამების ურთიერთდამთხვევის შედარება ვიზუალურად.

მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ საფუძვლიანი მეცნიერული შედეგების მიღება თეორიული და ემპირიული შედეგების შესაბამისი გრაფიკების ვიზუალური შეფასებით ცხადია, საკმაოდ არაზუსტია. განსაკუთრებით არ ამართლებს ეს მეთოდი მაშინ, როდესაც ვარიაციის კოეფიციენტი იცვლება ზღვრებში: $V = 0,32...0,35$. ამ შემთხვევაში ადექვატური შეიძლება იყოს როგორც ნორმალური, ასევე ვეიბულის კანონი, ამიტომ ამ დროს სარწმუნო დასკვნის გაკეთება გაძნელებულია.

იმისათვის, რომ უფრო ზუსტად მოხდეს სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის საექსპლუატაციო საიმედოობის მაჩვენებლების ემპირიული და თეორიული განაწილების ურთიერთდამთხვევის შემოწმება, საიმედოობის თეორიაში გამოიყენება შეთანხმების კრიტერიუმები.

აღნიშნული კრიტერიუმები მრავალგვარია მაგრამ სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკისათვის ყველაზე უფრო მისაღები კოლმოგოროვისა და პირსონის კრიტერიუმებია. [4, 36, 41] სწორედ აღნიშნული კრიტერიუმები იქნა გამოყენებული ჩვენს მიერ ემპირიული და თეორიული შედეგების ადექვატურობის შემოწმებისათვის.

კოლმოგოროვის კრიტერიუმების გამოყენებისას ჯერ განისაზღვრებოდა ფარდობითი სიხშირე სტატისტიკურ ინტერვალში ფორმულით:

$$W_i = \frac{m_i}{N}$$

დაგროვილი ფარდობითი სიხშირე:

$$W_d = \sum_{i=1}^k W_i$$

ხოლო შემდეგ ინტეგრალური ფუნქცია სამივე თეორიული განაწილებისათვის:

$$F(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\phi(t)$$

ნორმალური განაწილებისათვის;

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$$

ექსპონენციალური განაწილებისათვის;

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}$$

ვეიბულის განაწილებისათვის.

$\phi(t)$ - არის ლაპლასის ინტეგრირებული ფუნქცია და ტოლია:

$$\phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt,$$
$$t = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma},$$

ამის შემდეგ ხდებოდა λ - პარამეტრის განსაზღვრა ფორმულით:

$$\lambda = |W_d - F(x)|_{\max} \sqrt{N},$$

ხოლო λ -ს მიხედვით სპეციალური ცხრილებიდან [4] ხდებოდა ემპირიული და თეორიული შედეგების დამთხვევის ალბათობის შემოწმება პირობით: [6, 41]

$$P(\lambda) \geq 0,15$$

3.4. სასოფლო სამეურნეო მანქანების საიმედოობის ერთეული და კომპლექსური მაჩვენებლების გაანგარიშების მეთოდოლოგია

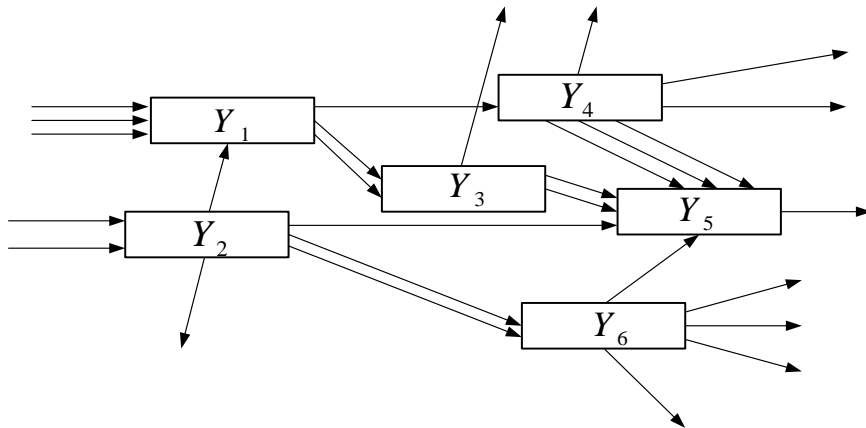
უკანასკნელ პერიოდში ჩატარებულია მნიშვნელოვანი გამოკვლევები და დამუშავებულია საიმედოობის ზოგადი თეორია. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ სასოფლო სამეურნეო ტექნიკისათვის მსგავსი გამოკვლევები არასაკმარისია. ავიაციაში, რადიოელექტრონიკაში, ავტომატიკასა და მანქანათმშენებლობაში დამუშავებული საიმედოობის ზოგადი თეორიის გამოყენებისას საჭიროა გათვალისწინებული იქნას სასოფლო სამეურნეო ტექნიკის, ჩვენს შემთხვევაში გუთნების კონსტრუქციული თავისებურებანი, მუშაობის სპეციფიკური პირობები და რეჟიმები, რადგანაც მათში სტაციონარულ მტყუნებათა ნაკადი იწყება გაცილებით გვიან. გარდა ამისა, არარემონტირებადი მანქანებისაგან განსხვავებით, სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის

საიმედოობა არ არის მუდმივი და დამოკიდებულია სარემონტო-პროფილაქტიკურ ზემოქმედებებზე [9, 10, 38, 39].

კვლევის ობიექტი-სასოფლო ტექნიკის საიმედოობის მაჩვენებელი ზოგად შემთხვევაში შეიძლება წარმოდგენილი იქნას შემდეგი სიმრავლის სახით:

$$Y_n\{y_1, y_2, y_3 \dots y_n\}$$

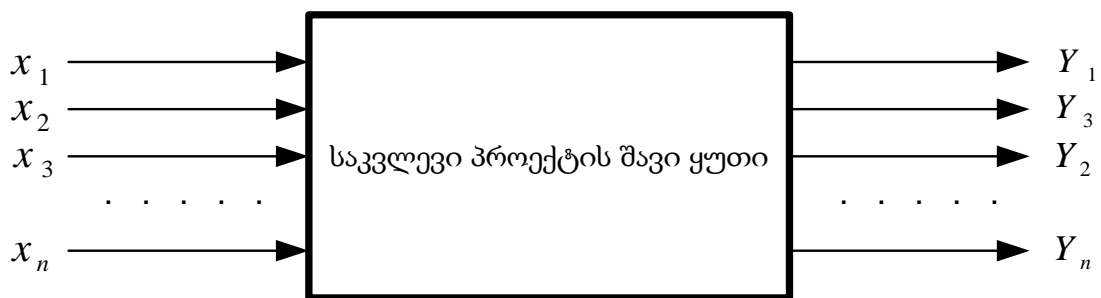
ეს სიმრავლე შეიძლება პირობითად დაიყოს ორ ქვესიმრავლედ: y_m და y_n , ე.წ. "შავ" და "ნათელ" ყუთებად (ნახ . 3.1)



ნახ . 3.1 ერთმანეთთან დაკავშირებული პარამეტრების მოდელი.

ნახაზის მიხედვით კვლევის ობიექტი ექსპერიმენტული ამოცანების ქვესიმრავლეებით $y_n\{y_1, y_2, y_3 \dots y_n\}$ და $y_m\{y_3, y_6\}$ გამოყოფილია ჩაკეტილი წირით. გამოსაკვლევი ობიექტის კომპონენტებისა და საიმედოობის მაჩვენებლებს შორის კავშირი ნაჩვენებია ისრებით.

ამის შემდეგ შეიძლება შედგენილი იქნას საკვლევი პარამეტრის საწყისი მოდელი -"შავი ყუთი" (ნახ.3.2)

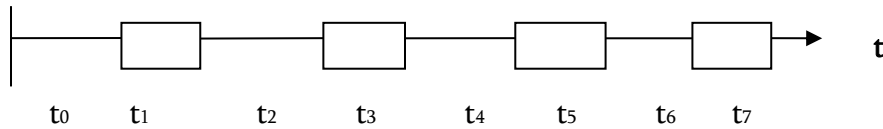


ნახ. 3. 2 საკვლევი ობიექტის საწყისი მოდელი

"ნათელ ყუთსა" და y_n ქვესიმრავლეს მიეკუთვნებიან ტრადიციული ექსპერიმენტული ამოცანები, ე.ი. ისეთი ამოცანები, რომელთა გადაწყვეტა ხდება ცნობილი ფიზიკური ან მათემატიკური მოდელებითა და მარტივი ექსპერიმენტებით.

“შავი ყუთი” აღნიშნავს ნაკლებად ან ძნელად გამოსაკვლევ ობიექტის კიბერნეტიკულ მოდელს, რომელშიაც შემავალი დამოუკიდებელი ცვლადი სიდიდეები $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ (ფაქტორები) მოქმედებენ $y_1, y_2, y_3 \dots y_n$ გამომავალ ცვლადებზე (ოპტიმიზაციის პარამეტრებზე). ასეთი ობიექტების წარმოადგენს. ჩვენს შემთხვევაში ოპტიმიზაციის პარამეტრად შერჩეული იქნება მანქანის საიმედოობის მაჩვენებელი-რესურსი, უმტყუნო მუშაობის ალბათობა, მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრი, მზადყოფნის კოეფიციენტი და სხვა.

ნახ. 3.3-ზე მოცემულია სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის ფუნქციონირების სქემა.



ნახ . 3.3. სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის ფუნქციონირების სქემა.

სქემის მიხედვით შესაძლებელია სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის ფუნქციონირების შემდეგი ეტაპები:

$(t_0 \dots t_1), (t_2 \dots t_3), (t_4 \dots t_5), (t_6 \dots t_7)$ - ტექნიკა მუშაუნარიანია

$(t_1 \dots t_2), (t_3 \dots t_4)$ - ტექნიკა არამუშაუნარიანია-სწარმოებს რეგულირება.

$(t_5 \dots t_6)$ - ტექნიკა არამუშაუნარიანია-სწარმოებს ტექნიკური მომსახურება.

$(t_7 \dots t_8)$ - ტექნიკა არამუშაუნარიანია-სწარმოებს რემონტი.

აღნიშნული გრაფიკი გამოსახავს ერთ რემონტთაშორისო ციკლს და მის მიხედვით შეიძლება ზოგადად შეფასდეს სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის საიმედოობა. კერძოდ, რაც უფრო მოკლეა მონაკვეთები, მით ნაკლებია მანქანის უმტყუნობა.

თუ ეს მონაკვეთები გრძელია და ნაკლებად გვხვდება მონაკვეთები $(t_1 \dots t_2), (t_3 \dots t_4), (t_5 \dots t_6), (t_7 \dots t_8)$, - მანქანის საიმედოობა მაღალია.

ზოგად შემთხვევაში სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის საიმედოობა რთული ფუნქციაა და შეიძლება ასე იქნეს წარმოდგენილი:

$$\varphi(t) = \varphi(A, B, C, D, E, K)$$

A – უმტყუნობის მაჩვენებლებია;

B – ხანგამძლეობის მაჩვენებლები;

C – სარემონტოდ ვარგისობის მაჩვენებლები;

B – შენარჩუნებადობის მაჩვენებლები;

E – საიმედოობის კომპლესური მაჩვენებლები;

K – ფაქტორები, რომლებიც ითვალისწინებენ სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის კონსტრუქციულ და მუშაობის თავისებურებებს.

ზოგად შემთხვევაში მანქანის უმტყუნო მუშაობის ალბათობა(უმა) იანგარიშება ფორმულით:

$$P(t) = \frac{e^{-\lambda t}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} e^{-\frac{(t-T)^2}{2\sigma^2}} dt.$$

$P(t)$ – მანქანის უმტყუნო მუშაობის ალბათობა

σ - საიმედოობის მაჩვენებლის საშუალო კვადრატული გადახრა.

T-უმტყუნო მუშაობის დროის მათემატიკური ლოდინი

ჩვენს გამოკვლევებში ძირითადად გამოვიყენეთ ჯ.კაციტაძის მეთოდის, რომელიც ითვალისწინებს სამთო პირობების გავლენას მანქანების საიმედოობაზე და სტრუქტურულ-ლოგიკური სქემების შედგენას [1, 3, 4, 9, 52]. ამისათვის საწყის ეტაპზე შევადგინეთ გუთნის სტრუქტურულ-ლოგიკური სქემა (სლს), რომელიც ითვალისწინებს დარეზერვებას დამატებითი კორპუსების გამოყენებით მათი საიმედოობის გაზრდისათვის (სქემა ნაჩვენებია მეოთხე ნაწილში, ნახ.4.1)

ამ სქემის მიხედვით საიმედოობის განგარიშება ხდება ფორმულით:

$$P(t) = K \cdot P_1(t)P_2(t).$$

სადაც:

P (t)-გუთნის უმტყუნო მუშაობის ალბათობაა (უმა);

$P_1(t)$ -უმა უეცარი მტყუნების დროს;

$P_2(t)$ -უმა თანდათანობითი მტყუნების დროს;

K-სამთო პირობების მაკორექტირებელი კოეფიციენტი.

როგორც ადრე აღვნიშნეთ, გუთნების მუშაობა დაკავშირებულია დამატებით სირთულეებთან, რომლებიც გამოწვეულია მთიანი ზონის გამო წნევის მნიშვნელოვანი შემცირებით და ტრაქტორის ძრავის მუშაობის უნარის დაქვეითებით, ნიადაგის დახრილობით და ტალღოვანი ექსპოზიციით, მცირე კონტურიანობით, აბრაზიული ნაწილაკებით, მაღალი ნესტიანობით და განსაკუთრებით ნიშანცვლადი დინამიკური ძალებით.

ყველა ეს ფაქტორი არსებით გავლენას ახდენს მანქანების საიმედოობაზე და იწვევს მათი რესურსის შემცირებას. ი. ჯებაშვილის მიერ ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე დადგენილია, რომ სამთო პირობებში მუშაობისას მანქანების მუშაუნარიანობაზე მეტად უარყოფით გავლენას ახდენს დატვირთვის რეჟიმი, ვიდრე სიჩქარითი. იგივე ავტორის მიერ დასაბუთებულია, რომ ამ დროს დეტალების ცვეთის ინტენსივობა იზრდება 1,5...2-ჯერ. აღნიშნულის გათვალისწინებით ჩვენს მიერ გამოყენებული იქნა ჯ. კაციტაძისა და ნ.სარჯველამის მიერ დამუშავებული სპეციალური მეთოდიკა [5] ტექნიკის საიმედოობის რაოდენობრივი მაჩვენებლების გაანგარიშებისათვის.

აღნიშნული მეთოდიკა ითვალისწინებს საიმედოობის გასაანგარიშებელ კლასიკურ ფორმულებში K კოეფიციენტს, რომელიც გამოხატავს მთიანი პირობების გავლენას სასოფლო-სამეურნეო მანქანებზე და ტოლია:

$$K = \frac{H_1}{H},$$

H_1 - მანქანის საშუალო ნამუშევარია მტყუნებაზე სამთო პირობებში მუშაობისას, ძრ.სთ.

H - იგივე პარამეტრი ვაკე პირობებში მუშაობისას, ძრ.სთ.

მცირე მექანიზაციის სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის საექსპლუატაციო საიმედოობის მაჩვენებლების განსაზღვრა ხდებოდა შემდეგი ფორმულების გამოყენებით:

- უმტყუნო მუშაობის ალბათობა:

$$\bar{P}(H) = \frac{N - n}{N}$$

- ექსპონენციალური განაწილებისათვის;

$$P(H) = Ke^{-\lambda H}$$

- ნორმალური განაწილებისათვის;

$$P(H) = K \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \phi(t) \right)$$

- ვეიბულის განაწილებისათვის.

$$P(H) = Ke^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}$$

სადაც $P(\bar{H})$ და $P(H)$ - შესაბამისად წარმოადგენენ უმტყუნო მუშაობის ალბათობის ემპირიულ და თეორიულ მნიშვნელობებს.

H - ნამუშევარი, ძრ.სთ;

N - მთლიან ცდათა რიცხვი;

n - მტყუნებათა რიცხვი გამოცდისას;

- მტყუნებათა ინტენსივობა:

$$\lambda = \frac{1}{H}, \text{ ძრ. სთ.}^{-1},$$

\bar{H} - არის ნამუშევრის საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა.

ამის შემდეგ ვახდენდით სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის საიმედოობის კომპლექსური მაჩვენებლების გაანგარიშებას:

- მზადყოფნის კოეფიციენტი:

$$K_m = \frac{t_1}{t_1 + t_2},$$

- ტექნიკური გამოყენების კოეფიციენტი:

$$K_{t.g.} = \frac{T_1}{T_1 + T_2},$$

t_1 - მანქანის გამართულად მუშაობის დროა, სთ.;

t_2 - მოცდენის დრო, სთ.;

T_1 - უმტყუნო მუშაობის დრო, სთ.;

T_2 - მტყუნების აღმოფხვრაზე საჭირო დრო, სთ.

3.5. მრავალფაქტორიანი ექსპერიმენტების დაგეგმვის მეთოდოლოგიური საფუძვლები

3.5.1. მრავალფაქტორიანი ექსპერიმენტების მათემატიკური დაგეგმვის არსი.
ექსპერიმენტების რანდომიზაცია

როგორც ცნობილია, ექსპერიმენტების დაგეგმვა ნიშნავს ჩასატარებელი ექსპერიმენტების პირობების შერჩევას, რომელიც გამომდინარეობს დასმული ამოცანის მოთხოვნილი სიზუსტით გადაწყვეტის აუცილებლობისა და საკმარისობის პირობიდან [13].

დავუშვათ, რომელიმე ობიექტის კვლევის პროცესში დავადგინეთ, რომ მათი რომელიმე ჩვენთვის საინტერესო თვისება (რომელსაც y – ით აღვნიშნავთ და პარამეტრს ვუწოდებთ) დამოკიდებული ყოფილა x_1, x_2, \dots, x_n სიდიდეებისაგან, ანუ ფაქტორებისაგან (n – მათი რაოდენობაა). მაშინ ექსპერიმენტული კვლევის მიზანია მოიძებნოს ანალიზური დამოკიდებულება.

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

გეომეტრიულად ეს განტოლება წარმოადგენს ჰიპერზედაპირის ($n + 1$) განზომილებიან სივრცეში, რომელსაც ჩვენ ფაქტორულ სივრცეს ვუწოდებთ, ხოლო ამ ზედაპირს კი ამოძახილს ზედაპირს, ანუ, მოკლედ, ამოძახილს უწოდებენ. ცხადია, ორგანზომილებიან სივრცეში იგი მხოლოდ მრუდს წარმოადგენს.

ვინაიდან ცდის დასაწყისში განტოლების ჭეშმარიტი სახე არაა ცნობილი, ამოძახილის აღწერისათვის გამოიყენება მარტივი სახის მათემატიკური მოდელები, კერძოდ, პოლინომები, რომელთა ზოგადი სახეა

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i,j=1}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 + \dots$$

სადაც x_1, x_2, \dots, x_n დამოუკიდებელი ცვლადია, ანუ ფაქტორებია, y – დამოკიდებული ცვლადი, ანუ პარამეტრია, ხოლო b_i, b_{ij} – წარმოადგენენ კოეფიციენტებს, რომელთა სიდიდეები განსაზღვრავენ ამოძახილის ზედაპირის ფორმას.

ვინაიდან აღნიშნული კოეფიციენტები განისაზღვრებიან ჩვენს შემთხვევაში მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდებით, მათ უწოდებენ რეგრესიის კოეფიციენტებს, ხოლო გამოსახულებას – რეგრესიის განტოლებას.

მრავალფაქტორიანი ექსპერიმენტების მათემატიკური დაგეგმვის მიზანია განისაზღვროს რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტები, რომლის შედეგაც ტარდება მთლიანი განტოლების სტატისტიკური, კერძოდ, დისპერსიული კვლევა, რის შედეგადაც დავადგინთ განტოლების კოეფიციენტების არსებითობას.

ექსპერიმენტის წინ სწარმოებს კვლევის ობიექტის წინასწარი შესწავლა ლიტერატურული წყაროებით, საწარმოო მონაცემებით, სპეციალისტთა გამოკითხვის გზით და თვით მკვლევარის ინტუიციური შეხედულებებითაც კი. ასეთი სახის ინფორმაციულ მონაცემებს აპრიორული ანუ წინასაექსპერიმენტო ინფორმაცია ეწოდება.

ასეთი ინფორმაციის მიზანია დადგინდეს ყველა ის ფაქტორი, რომელსაც გავლენა აქვთ შესასწავლ ობიექტზე, დაზუსტდეს მათი განსაზღვრის არეები და გავლენის ხარისხი.

ფაქტორი წარმოადგენს ცვლად სიდიდეს, რომელსაც დროის განმსაზღვრელ მომენტში შეუძლია მიიღოს გარკვეული მნიშვნელობა და შესაბამისი გზით მოქმედებს საკვლევ ობიექტზე. ფაქტორებს მოეთხოვებათ აგრეთვე მართვადობა. სასურველია, რომ ფაქტორი არ იყოს დამოკიდებული სხვა ფაქტორისაგან, რადგან ამით რთულდება რეგრესიის განტოლება. ფაქტორი უნდა იზომებოდეს მაღალი სიზუსტით, ვინაიდან ექსპერიმენტის შედეგის სიზუსტე ძირითადად მისგანაა დამოკიდებული.

საკვლევ ობიექტის პარამეტრიც, რომლის ოპტიმიზაციითაც ჩვენ ვართ დაინტერესებული (მას შემდგომ ოპტიმიზაციის პარამეტრს ვუწოდებთ), ფასდება რიცხობრივი სიდიდეებით. მისი ძირითადი მახასიათებელია ეფექტურობა და უნივერსალურობა. არნიშნული ობიექტის მახასიათებლებიდან მხოლოდ ერთი შეიძლება იყოს ოპტიმიზაციის პარამეტრიც, დანარჩენი განიხილება როგორც შემომსაზღვრელი პირობა.

ექსპერიმენტების ჩატარების პროცესს თან ახლავს შემთხვევითი და სისტემური ცდომილებები. ექსპერიმენტების დაგეგმვისა და შედეგების მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდებით დამუშავების შედეგად შემთხვევითი ცდომილებები მინიმუმამდე დაიყვანება. სისტემატური ცდომილებები წარმოადგენენ გარეშე ფაქტორების ცდომილებათა შედეგს, რომელთა გამორიცხვა ძალიან ხშირად დაკავშირებულია დიდ ტექნიკურ სირთულეებთან.

სისტემატური ცდომილებების მინიმუმამდე შემცირების საშუალებას იძლევა ე.წ. რანდომიზაცია, ანუ ექსპერიმენტების ჩატარება შემთხვევითი რიცხვების მიხედვით. ამ დროს გარეშე ფაქტორების გავლენა ექსპერიმენტების პირობების მიხედვით ოპტიმიზაციის პარამეტრებზე თითქმის თანაბრად ნაწილდება.

3.5.2. პარალელური ექსპერიმენტების რაოდენობის დადგენა და ძლიერი გავლენის მქონე ფაქტორების გამოყოფა ფაქტორული სიმრავლიდან

ექსპერიმენტის პროცესში გაზომვათა სიზუსტის გაზრდის მიზნით თითოეულ ვარიანტს ვიმეორებდით რამდენიმეჯერ-ვატარებდით პარალელურ ცდებს. ცხადია, მათი რაოდენობის გაზრდით გაზომვის სიზუსტეც ამაღლდება, მაგრამ ზედმეტად გაზრდით სიზუსტის ზრდის ეფექტი თანდათან მცირდება, ხოლო დრო და დანახარჯები კი საგრძნობლად იზრდება. ამიტომ საჭიროა განისაზღვროს პარარელური ექსპერიმენტების ოპტიმალური რაოდენობა. ამ ამოცანის გადაწყვეტა ხდება სხვადასხვა მეთოდით.

პარალელური (ხშირად მას განმეორებითსაც უწოდებენ) ექსპერიმენტების დადგენის დროს უნდა გავითვალისწინოთ ექსპერიმენტების შედეგების საიმედოობის α დონე და გაზომვის დასაშვები ცდომილება ϵ . ცხადია, რაც უფრო მაღალი იქნება α დონე, მით უფრო მეტი განმეორებითი ექსპერიმენტის ჩატარება მოგვიწევს. ϵ სიდიდე გამოსახება ექსპერიმენტული მონაცემების საშუალო კვადრატული გადახრით. N ერთი

და იგივე პარამეტრის მრავალჯერადი გაზომვით შედეგები პრაქტიკულად $\pm 3 \varepsilon$ - ის ზღვრებში თავსდება. შესაძლებელია უფრო მაღალი სიზუსტეც იქნეს მოთხოვნილი.

ქვემოთ მოყვანილია პარალელური ექსპერიმენტების რაოდენობის ცხრილი * α და $\frac{\varepsilon}{S}$ სიდიდეების მიხედვით:

ცხ.3.1

$\frac{\varepsilon}{S}$	საიმედოობის დონე			
	0,8	0,9	0,95	0,99
3,0	1	2	3	4
2,0	2	3	4	5
1,0	4	5	7	11
0,5	9	13	18	31
0,3	20	32	46	78
0,1	166	273	377	668

თუ წინასწარ არაა ცნობილი დასაშვები ცდომილების სიდიდე, მაშინ ვიღებთ $\varepsilon = 3$.

ნებისმიერ საკვლევ ობიექტზე ფაქტორთა დიდ სიმრავლეს აქვს გავლენა, მაგრამ თითოეული მათგანის ხარისხი სხვადასხვაა. ამიტომ ექსპერიმენტის პროცესი საგრძნობლად გამარტივდება, თუ სიმრავლიდან გამოვყოფთ ძლიერი გავლენის მქონე ფაქტორებს.

კვლევის პროცესების დასაწყისში სხვადასხვა აპრიორული ანუ წინასაექსპერიმენტო საშუალებებით დადგინდება ფაქტორული სიმრავლე, თითოეული ფაქტორის განსაზღვრის არე, მათი გაზომვის მეთოდები და სხვა. მაგრამ ძალიან ძნელია ინდივიდუალურად დავადგინოთ თითოეული ფაქტორის გავლენის ხარისხი ოპტიმიზაციის პარამეტრზე. გავლენის ხარისხის ანუ რანგების მიხედვით ფაქტორების დალაგების პროცესს აპრიორულ რანჟირებას უწოდებენ.

ფაქტორების აპრიორული რანჟირებისათვის სხვადასხვა მეთოდს მიმართავენ, რომელთაგან ყველაზე მეტი გავრცელება ჰპოვა სპეციალისტების გამოკითხვის მეთოდმა.

სპეციალისტების გამოკითხვის შედეგად მიღებული მასალები მუშავდება სტატისტიკურად. ამ მიზნით m სპეციალისტს დაურიგდებათ სპეციალური ანკეტები, რომლებშიც ჩამოთვლილი იქნება სავარაუდო ფაქტორები. ანკეტის შევსების დროს თითოეულმა სპეციალისტმა თავის მოსაზრებით ფაქტორები უნდა დაალაგოს ოპტიმიზაციის პარამეტრზე გავლენის ხარისხის კლებადობის მიხედვით. თითოეულ ფაქტორს მიეწერება რიგითი ნომერი. ანუ რანგი a_{ij} , სადაც $i = 1.2 \dots k$ – ფაქტორის რიგითი ნომერია, $j = 1.2 \dots m$ სპეციალისტის რიგითი ნომერია. სპეციალისტებს შეუძლიათ ანკეტაში მოყვანილ ფაქტორებს დაუმატონ სხვა ფაქტორებიც. ჯამური ანკეტის ფორმა შესაძლებელია ასეთიც იყოს:

სპეციალისტები	ფაქტორები			
	A_1	A_2	.....	A_K
პირველი	a_{11}	a_{21}	.....	a_{k1}
მეორე	a_{12}	a_{22}	.....	a_{k2}
მესამე	a_{13}	a_{23}	.....	a_{k3}
...
m - ური		a_{1m}	.....	a_{km}
ჯამი $\sum_{j=1}^m a_{ij}$	$\sum_{j=1}^m a_{1j}$	$\sum_{j=1}^m a_{2j}$	.....	$\sum_{j=1}^m a_{kj}$

ამის შემდეგ იწარმოებს მონაცემების სტატისტიკური დამუშავება. გამოითვლება სიდიდეები:

$$L = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m a_{ij};$$

$$S = \sum_{j=1}^k \left(\sum_{i=1}^m a_{ij} - L \right)^2;$$

$$W = \frac{12S}{m(k^3 - k)}$$

სადაც L – რანგების საშუალო მნიშვნელობა ფაქტორების მიხედვით.

S – გადახრათა კვადრატების ჯამია.

W – კონკორდაციის (შეთანხმების) კოეფიციენტია.

ცნობილია, რომ x^2 განაწილება შესაძლებელია შეფასდეს $m(k - 1)W$ სიდიდით.

ამიტომ x^2 – ის საანგარიშო ფორმულა იქნება [33, 35].

$$x^2 = m(k - 1)W = \frac{12S}{mk(k + 1)}$$

როდესაც x^2 - ის საანგარიშო მნიშვნელობა აჭარბებს შესაბამის ცხრილურ მნიშვნელობას, მაშინ კონკორდაციის კოეფიციენტი საკმაოდ ალბათურია და არაა შემთხვევითი. ე.ი. სპეციალისტების აზრი ეთანხმება ერთმანეთს.

3.5.3. ფაქტორული ექსპერიმენტის გეგმის შედგენა და 2^n სრული ფაქტორული ექსპერიმენტის დაგეგმვა.

როგორც ცნობილია, ფაქტორული ექსპერიმენტის დროს პარამეტრების ზუსტი განსაზღვრის მიზნით ფაქტორებს ვაფიქსირებთ სხვადასხვა დონეზე. მაგრამ აქ ისმება კითხვა, თუ რამდენ დონეზე ჯობს ფაქტორების ვარირება. თუ ფაქტორული ექსპერიმენტის დროს გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ დისპერსიული ანალიზის საფუძველზე ექსპერიმენტატორს პირველ რიგში სჭირდება იმის დადგენა, თუ რამდენად არსებითია ან არაარსებითია ესა თუ ის ფაქტორი. ან როგორია მათი ურთიერთმოქმედება, მაშინ საკმარისი იქნება ფაქტორების ვარირება მინიმალური რაოდენობის დონეზე. ამიტომ მრავალფაქტორიანი ექსპერიმენტების დაგეგმვის დროს (დისპერსიული ანალიზის საფუძველზე) ჩვეულებრივად იღებენ ფაქტორების ორ დონეს (ზედას და ქვედას). თუ პარამეტრიც ხასიათდება n ფაქტორით, მაშინ მოგვიხდება 2^n სხვადასხვა ვარიანტის ექსპერიმენტის ჩატარება, რითაც ამოვწურავთ ექსპერიმენტების ყველა შესაძლო კომბინაციას. მაგალითად, ორფაქტორიანი ექსპერიმენტის დაგეგმვის დროს სულ დაგვჭირდება - 4 ექსპერიმენტის ჩატარება, სამი ფაქტორისათვის - 8, ოთხ ფაქტორიანისათვის - 16 და ა.შ.

პირველი სერიის ექსპერიმენტების დაგეგმვისათვის ჯერ უნდა შევირჩიოთ ფაქტორული სივრცე, ე.ი. თითოეული ფაქტორის განსაზღვრის კონკრეტული ლოკალური არე. რაც უფრო ვიწრო იქნება შერჩეული არე, მით უფრო მალე მივაღწევთ საბოლოო შედეგს და მით უფრო ნაკლები ექსპერიმენტების ჩატარება მოგვიწევს. ამის შემდეგ უნდა შევირჩიოთ ფაქტორის ძირითადი დონე, რომლიდანაც გადაიზომება ზედა და ქვედა დონეები. ძირითადი დონის ანუ გამოსავალი წერტილისათვის შერჩეული უნდა იქნეს ყველაზე საუკეთესო პირობები, რომელიც ცხადია, აპრიორული მონაცემებით განისაზღვრება.

ფაქტორების ვარირების ინტერვალის შესარჩევად უნდა გავითვალისწინოთ ბუნებრივი შეზღუდვები ქვემოდან (იგი არ უნდა იყოს ფაქტორის დონის ფიქსირების დონის ფიქსირების ცდომილებაზე ნაკლები, რადგან წინააღმდეგ შემთხვევაში ზედა და ქვედა დონეები ძნელად გასარჩევი იქნებიან) და ზემოდან (დონეები უნდა იზღუდებოდეს ლოკალური არეებით).

ძირითადი დონისა და ვარირების ინტერვალის შერჩევის შემდეგ შეიძლება ფაქტორული ექსპერიმენტის დაგეგმვის დაწყება.

როგორც ეს წინა პარაგრაფში იყო მოცემული, დაგეგმვის პირველი ეტაპი ფაქტორების ფიქსირება ზედა და ქვედა დონეებზე. $x_i^{(b)}$ და $x_i^{(j)}$, რომელიც სიმეტრიულად არიან დაშორებული ძირითადი დონიდან $x_i^{(0)}$. ვინაიდან თითოეული ფაქტორი დებულობს მხოლოდ ორ მნიშვნელობას, $x_i^{(0)} + \lambda_i$ და $y_i^{(0)} + \lambda_i$ სადაც λ_i ფაქტორის ვარირების ინტერვალის, ფაქტორულ მონაცემებს ამუშავებენ კოდირებული სახით.

ფაქტორების კოდირებული სახით დამუშავება საშუალებას იძლევა: ჩატარებულ იქნეს გაანგარიშება სტანდარტული ფორმით, ექსპერიმენტების პირობების ჩანაწერები გადმოიცეს გამარტივებული სახით, გამარტივდეს გაანგარიშებების პროცესი და ა.შ. ამიტომ ფაქტორების კოდირებულ მნიშვნელობებად აღებულია +1 და -1 სიდიდეები, ხოლო ძირითად დონედ კი "0" (ნახ.3.5).

საწყისი ცვლადებიდან უგანზომილებო კოდირებულ მნიშვნელობებზე გადასვლა წარმოებს შემდეგი სახით

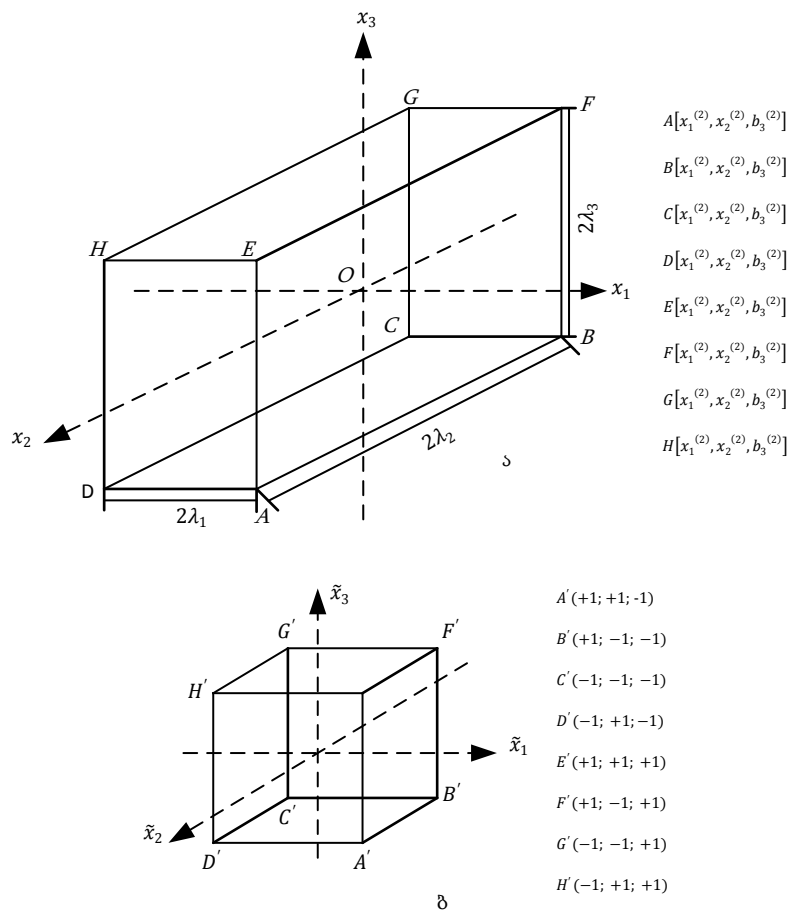
$$\bar{x}_i = \frac{1}{\lambda_i} (x_i - x_i^{(0)}), i = 1.2 \dots k. \quad (3.1)$$

სადაც x_i – ცვლადი ფაქტორის ნატურალური მნიშვნელობაა,

$x_i^{(0)}$ – მისი ნულოვანი დონეა;

λ_i – ვარირების ინტერვალია.

ცხადია, თუ $x_i = x_i^{(b)}$, მაშინ $\bar{x}_i = +1$ და თუ $x_i = x_i^{(t)}$, მაშინ $\bar{x}_i = -1$.



ნახ . 3.4 სამფაქტორიანი სივრცე: ა) ნატურალურ სიდიდეებში, ბ) კოდირებულ სიდიდეებში.

ექსპერიმენტული წერტილები +1 და -1 კოორდინატებით განლაგებული იქნება ჰიპერკუბის (n განზომილებიანი სივრცის კუბის) წვეროებზე. ამ წერტილებში წარმოებს ყველა ვარიანტის ექსპერიმენტის რეალიზაცია ყოველგვარი განმეორების გარეშე. ასეთ დაგეგმვას n^2 ტიპის დაგეგმვას უწოდებენ [20, 21].

3.5.4. რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების განსაზღვრა

მრავალფაქტორიანი ექსპერიმენტების დაგეგმვის მთავარი მიზანია რეგრესული განტოლების შედგენა და შემდეგ მისი კოეფიციენტის განსაზღვრა. რეგრესული განტოლება, როგორც პროცესის ამსახველი მათემატიკური მოდელი, სასურველია მაქსიმალურად მარტივი იყოს.

თავისი ფორმის მიხედვით ყველაზე მარტივი განტოლება იქნება წრფივი მოდელი, სადაც ფაქტორების ურთიერთქმედება გამორიცხულია

$$y = b_0 + b_1\tilde{x}_1 + b_2\tilde{x}_2 + \dots + b_n\tilde{x}_n$$

ექსპერიმენტების ჩატარების მიზანი სწორედ b_i კოეფიციენტების განსაზღვრაა. მაგრამ ვინაიდან ექსპერიმენტები ტარდება სიზუსტის გარკვეულ ზღვრებში და თანაც მათი რაოდენობა სასრულოა, ცხადია, კოეფიციენტების მიღებული შედეგები არ იქნება ზუსტი. ამიტომ აუცილებლად საჭიროა მათი შემოწმება დისპერსიული ანალიზის საფუძველზე თუ რამდენად არსებითი ან არაარსებითი არიან ისინი, ანუ როგორც ზოგადად იტყვიან, რამდენად ადეკვატურია მიღებული მოდელი (ადეკვატურობა ნიშნავს პროცესის აღწერას საკმარისი სიზუსტით).

უმცირეს კვადრატთა მეთოდის საფუძველზე მიღებულია განტოლების კოეფიციენტების განსაზღვრის ზოგადი ფორმულები:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \sum_{i=1}^N x_{ij}^2 - \sum_{i=1}^N y_i \tilde{x}_{ij} \sum_{i=1}^N \tilde{x}_{ij}}{N \sum_{i=1}^N x_{ij}^2 - (\sum_{i=1}^N \tilde{x}_{ij})^2}$$

$$b_i = \frac{N \sum_{i=1}^N y_i \tilde{x}_{ij}^2 - \sum_{i=1}^N y_i \tilde{x}_{ij} \sum_{i=1}^N \tilde{x}_{ij}}{N \sum_{i=1}^N \tilde{x}_{ij}^2 - (\sum_{i=1}^N \tilde{x}_{ij})^2}$$

სადაც N - ექსპერიმენტების რიცხვია, j - ფაქტორების ნომერია, i - ექსპერიმენტის რიგითი ნომერია დაგეგმვის მატრიცის სიმეტრიულობის გამო

$$\sum_{i=1}^N \tilde{x}_{ij} = 0$$

ხოლო ნორმირებით თვისების თანახმად

$$\sum_{i=1}^N \tilde{x}_{ij}^2 = N$$

ამ თვისების საფუძველზე (3.5) და (3.6) ფორმულები საგრძნობლად მარტივდება

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \bar{x}_{ij}$$

უკანასკნელი ფორმულებით ნებისმიერი სრულფაქტორიანი დაგეგმვის მატრიცის მიხედვით შესაძლებელია b_0 და b_i კოეფიციენტების განსაზღვრა. მაგალითად, სამფაქტორიანი ექსპერიმენტის დაგეგმვის შემთხვევაში ამ ფორმულების გამოყენებით შეგვიძლია დავწეროთ:

$$b_0 = \frac{1}{8}(y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8)$$

$$b_1 = \frac{1}{8}(-y_1 + y_2 - y_3 + y_4 - y_5 + y_6 - y_7 + y_8)$$

$$b_2 = \frac{1}{8}(-y_1 - y_2 + y_3 + y_4 - y_5 - y_6 + y_7 + y_8)$$

$$b_3 = \frac{1}{8}(-y_1 - y_2 - y_3 - y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8)$$

ურთიერთქმედების კოეფიციენტები ასე განისაზღვრებიან:

$$b_{12} = \frac{1}{8}(y_1 - y_2 - y_3 + y_4 + y_5 - y_6 - y_7 + y_8)$$

$$b_{13} = \frac{1}{8}(y_1 - y_2 + y_3 - y_4 - y_5 + y_6 - y_7 + y_8)$$

$$b_{23} = \frac{1}{8}(y_1 + y_2 - y_3 - y_4 - y_5 + y_6 - y_7 + y_8)$$

$$b_{123} = \frac{1}{8}(-y_1 + y_2 + y_3 - y_4 + y_5 - y_6 - y_7 + y_8)$$

3.5.5. რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების არსებითობის გამოკვლევა.

რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების დადგენისა და ექსპერიმენტის ცდომილების (დისპერსიის) განსაზღვრის შემდეგ საჭიროა კოეფიციენტების არსებითობის გამოკვლევა. შესაძლებელია ზოგიერთი მათგანი ნულის რიგის იყოს. მაშინ იგი უნდა ამოვიღოთ განტოლებიდან.

რეგრესიის განტოლება b_i კოეფიციენტების არსებითობის შემოწმება წარმოებს ორი მეთოდით: სანდო ინტერვალის დადგენითა და სტიუდენტის t კრიტერიუმის საშუალებით [27].

სანდო ინტერვალის დასადგენად პირველ რიგში განისაზღვრება რეგრესიის კოეფიციენტების დისპერსია:

$$S^2\{b\} = \frac{1}{N} S^2\{y\}$$

აქ $S^2\{y\}$ – ოპტიმიზაციის პარამეტრის დისპერსიაა.

N – ექსპერიმენტების ვარიანტების რიცხვია.

ეს ფორმულა გამოიყენება იმ შემთხვევაში, თუ პარალელური ცდები არაა ჩატარებული ექსპერიმენტების ვარიანტების მიხედვით, თუ პარალელური ცდები არსებობს. მაშინ კოეფიციენტების დისპერსია ასე განისაზღვრება

$$S^2\{b_i\} = \frac{1}{N} S^2\{\bar{y}\} = \frac{1}{Nm} S^2\{y\}$$

m – პარალელური ექსპერიმენტების რაოდენობაა.

\bar{y} – ოპტიმიზაციის პარამეტრის საშუალო მნიშვნელობაა. თვით სანდო ინტერვალს ვანგარიშობთ ფორმულით.

$$\Delta b_i = \pm t S\{b_i\}$$

სადაც t – სტიუდენტის კრიტერიუმის ცხრილური სიდიდეა.

$S\{b_i\}$ – კოეფიციენტების კვადრატული ცდომილებაა.

სტიუდენტის კრიტერიუმი განისაზღვრება $S^2\{y\}$ – ის თავისუფლების ხარისხის მიხედვით .

(4.18) – ის ეკვივალენტური ფორმულებია: პარალელური ცდების გარეშე

$$\Delta b_i = \pm t \frac{S\{y\}}{\sqrt{N}}$$

თანაბარი რაოდენობის პარალელური ექსპერიმენტების შემთხვევაში

$$\Delta b_i = \pm t \frac{S\{y\}}{\sqrt{mN}}$$

არათანაბარი რაოდენობის პარალელური ექსპერიმენტების შემთხვევაში

$$\Delta b_i = \pm t \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N S_n^2 P_n}{N \sum P_n}}$$

რეგრესიის კოეფიციენტი არსებითია, თუ დაკმაყოფილებელია პირობა

$$|b_i| > \Delta b_i$$

სტიუდენტის კრიტერიუმის საშუალებით რეგრესიის კოეფიციენტების არსებობის დადგენა ისევ იმავე საშუალებებით წარმოებს, როგორც სანდო ინტერვალის განსაზღვრის დრო, მხოლოდ მიმდევრობაშია სხვაობა. კერძოდ, ჯერ განისაზღვრება სტიუდენტის კრიტერიუმის ექსპერიმენტული მნიშვნელობა თითოეული კოეფიციენტისათვის.

$$t = \frac{|b_i|}{S|b_i|}$$

შემდეგ მიღებული სიდიდე შეედარება მის შესაბამის ცხრილურ მნიშვნელობას. თუ დაკმაყოფილებულია პირობა $t > t_{ცხრ}$, მაშინ კოეფიციენტი არსებითია. ცხადია, აქაც t კრიტერიუმი განისაზღვრება თავისუფლების ხარისხის π რიცხვისა და არსებობის x ალბათური დონის მიხედვით.

რეგრესიის კოეფიციენტები არაარსებითი ხდებიან შემდეგ შემთხვევებში:

თუ ფაქტორის ძირითადი დონე ძალიან ახლოსაა და ოპტიმიზაციის პარამეტრის კერძო ექსტრემუმთან ამ ფაქტორით. ე.ი.

$$b_i = \frac{\partial y(x_{io})}{\partial x_i} \approx 0$$

როდესაც ვარირების ბიჯი λ_i ძალზე მცირეა. მოცემულ ფაქტორს (ან ფაქტორთა ნამრავლს) არ გააჩნია რაიმე ფუნქციური კავშირი გამოსავალ y ობიექტთან.

როდესაც დიდია ექსპერიმენტის ცდომილება არამართვადი და უკონტროლო ფაქტორების არსებობის გამო.

სანდო ინტერვალის ზედა და ქვედა ზღვრებია:

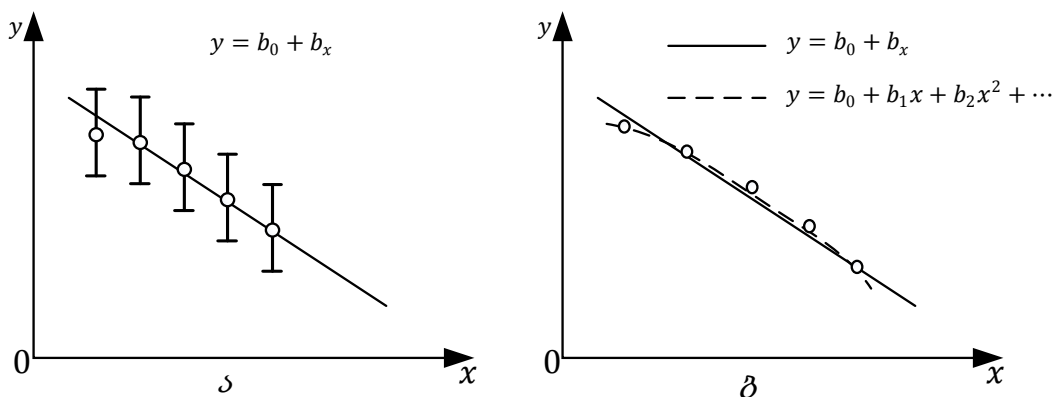
$$b_i + \Delta b_i \quad b_i - \Delta b_i$$

3.5.6 მათემატიკური მოდელის ადეკვატურობის შემოწმება.

ოპტიმიზაციის პარამეტრის დისპერსია, ანუ ექსპერიმენტის ცდომილება, წარმოადგენს მათემატიკური მოდელის ხარისხის საზომს. ამიტომ რეგრესიული განტოლების (ე.ი. მათემატიკური მოდელის) კოეფიციენტების განსაზღვრის შემდეგ საჭიროა შემოწმდეს მოდელის ვარგისიანობა ანუ ადეკვატურობა.

მოდელის ადეკვატურობის შემოწმების საილუსტრაციოდ მოვიყვანოთ მაგალითი.

ქვემოთ მოცემულია ორი დიაგრამა ექსპერიმენტული წერტილების ერთნაირი განლაგებით (ნახ.3.6).



ნახ.3.5 მათემატიკური მოდელის შემოწმება ადეკვატურობაზე.

ა) წრფივი მოდელი ადეკვატურია; ბ) წრფივი მოდელი არაადეკვატურია.

როგორც დიაგრამიდან ჩანს, ექსპერიმენტულ წერტილებში ცდომილებათა გაფანტვის ზონები სხვადასხვაა, თუ დიაგრამაზე აღებულ სწორ ხაზებს ჩავთვლით მიღებული მათემატიკური მოდელის გრაფიკულ გამოსახვად. (ე.ი. მოდელი წრფივია), მაშინ შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ პირველ შემთხვევაში ექსპერიმენტული წრფე არ გამოდის ფაქტორის ვარიაციის ზღვრიდან. მეორე შემთხვევაში ექსპერიმენტები ძალიან “ზუსტია” და მათი აპროქსიმაციისათვის უფრო რთული მოდელია საჭირო (კერძოდ, უფრო მაღალი ხარისხის), რათა მისი საშუალებით ნაწინასწარმეტყველები სიდიდის სიზუსტე შეესატყვისებოდეს ექსპერიმენტის სიზუსტეს.

მოდელის ადეკვატურობის ჰიპოთეზის შემოწმებისათვის საკმარისია შეფასდეს რეგრესიის განტოლებით მიღებული \hat{y} სიდიდეების გადახრები y ექსპერიმენტული მნიშვნელობებიდან ფაქტორული სივრცის სხვადასხვა წერტილში. ეს შეფასება წარმოებს ადეკვატურობის განსაზღვრის გზით:

$$S^2_{ად} = \frac{\hat{1}}{P} \sum_{n=1}^N (\bar{y}_n - \hat{y}_n)^2 \quad (4.25)$$

სადაც $p = N - d$ – თავისუფლების ხარისხია ადეკვატურობის დისპერსიისათვის;

N – ექსპერიმენტების ვარიანტების რიცხვია;

d – რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების რაოდენობაა ნულოვანი კოეფიციენტის ჩათვლით;

\bar{y}_n – ოპტიმიზაციის პარამეტრის საშუალო ვარიანტული სიდიდეა n -ური ვარიანტისათვის;

\hat{y}_n – რეგრესიის განტოლების მიხედვით გაანგარიშებული ოპტიმიზაციის პარამეტრის სიდიდეა n – ური ვარიანტისათვის.

რიცხვითი სიდიდე ტოლია იმ ცდების საერთო (N) რაოდენობისა რომელთა შედეგები გამოიყენება რეგრესიული განტოლების კოეფიციენტების გაანგარიშებისათვის თავისუფლების ხარისხის რიცხვითი სიდიდე ტოლია იმ ცდების საერთო (N) რაოდენობისა, მინუს რეგრესიის განტოლების გამსაზღვრელი კოეფიციენტების რაოდენობა.

მაგალითად, " 2^{4-1} " გეგმის შემთხვევაში, თუ რეგრესიის განტოლება წრფივია, კოეფიციენტების რაოდენობაა $d = 5$, ხოლო ჩასატარებელი ექსპერიმენტების რაოდენობა იქნება $2^3 = 8$. ამრიგად, $p = 8 - 5 = 3$. აქ სულ ტარდება 12 ექსპერიმენტი, აქედან 8 დაგეგმვის მატრიცის მიხედვით, 4 – ნულოვანი. ვინაიდან ამ 4 ექსპერიმენტის შედეგები კოეფიციენტების განსაზღვრისათვის არ გამოიყენება, იგი არ მიიღება მხედველობაში თავისუფლების ხარისხის განსაზღვრის დროს.

მოდელის ადეკვატურობის შემოწმება პრაქტიკულად შესაძლებელია ფიშერის კრიტერიუმის [21] საშუალებით. კერძოდ, იანგარიშება ფიშერის კრიტერიუმის ექსპერიმენტული მნიშვნელობა.

$$F = \frac{S^2_{ად}}{S^2\{y\}}$$

სადაც $S^2\{y\}$ – ოპტიმიზაციის პარამეტრის დისპერსიაა მთელი მატრიცისათვის.

შემდეგ F – ის მიღებულ მნიშვნელობას ადარებენ შესაბამისი ცხრილურ მნიშვნელობას, თუ დაკმაყოფილებული იქნა პირობა $F < F_{ცხრ}$. მაშინ მოდელი ადეკვატურია.

წრფივი მოდელი არ შეიძლება ადეკვატური იყოს, თუ არსებითი აღმოჩნდება თუნდაც ერთი ურთიერთქმედების ეფექტი.

ფიშერის კრიტერიუმი საშუალებას იძლევა შევამოწმოთ ადეკვატურობის ნულ – ჰიპოთეზა $S^2_{ად}$ და $S^2\{y\}$ დისპერსიების ტოლობის შესახებ. როდესაც ეს კრიტერიუმი (4.26) ფორმულით გამოისახება, აქ, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, მრიცხველის თავისუფლების ხარისხია $p = N - d$, ხოლო მნიშვნელისა კი $N(m - 1)$. სადაც m პარალელური ექსპერიმენტების რაოდენობაა თითოეულ ვარიანტში (იგულისხმება, რომ პარალელური ექსპერიმენტების რაოდენობა ვარიანტების მიხედვით თანაბარია). ფიშერის ცხრილური მნიშვნელობა შეირჩევა როგორც თავისუფლების ხარისხების მიხედვით, ასევე არსებითობის ალბათური a % დონის მიხედვით.

თუ ადეკვატურობის ნებისმიერად შერჩეული დისპერსია $S^2\{y\}$ - ზე ნაკლები ან მისი ტოლი აღმოჩნდება, მაშინ F ყოველთვის დააკმაყოფილებს პირობას $F < F_{ცხრ}$ და მათემატიკური მოდელი შემოწმების გარეშე შეიძლება ჩაითვალოს ადეკვატურად.

3.5.7. ტექნოლოგიური პროცესის ოპტიმიზაცია. ციკაზო ასვლის მეთოდი

ოპტიმიზაციის პარამეტრის ანუ ამოძახილის გეომეტრიული წარმოსახვა წარმოადგენს რთულ K განზომილებიან ჰიპერზედაპირს, რომლის ექსპერიმენტული წერტილები შეესაბამება ოპტიმუმის არეებს. ამ წერტილების შესაბამისი სიდიდეები კი ოპტიმალური მნიშვნელობის არიან.

სრული და წილადფაქტორული ექსპერიმენტების დაგეგმვის ადრე განხილული მეთოდებით ვსწავლობდით ოპტიმიზაციის პარამეტრებს (შესამოწმებელ ობიექტს) რაიმე ვიწრო განსაზღვრულ ანუ ლოკალურ არეში, რომელიც გარკვეული მიახლოებით წარმოდგენილი გვქონდა სიბრტყის სახით. ლოკალურ არეში მიღებული მათემატიკური მოდელით შეგვიძლია ვიწინასწარმეტყველოთ ოპტიმიზაციის პარამეტრის ცვლილება განმსაზღვრელი ფაქტორებისაგან დამოკიდებულებით.

მაგრამ, თუ ლოკალური არე შევირჩიეთ ამოძახილის ზედაპირის ექსტრემალურ არესთან ახლოს, მაშინ წრფივი მათემატიკური მოდელი აღარ აღმოჩნდება ადეკვატური, რადგან ამ არეში ზედაპირს დიდი სიმრუდეები გააჩნია. აქ უფრო რთული, მაღალ ხარისხის მოდელია საჭირო.

როდესაც პროცესის აღწერისათვის არაა საკმარისი ვიწრო ლოკალური არით შემოფარგვლა, მაშინ ექსპერიმენტატორის მიზანია იპოვოს ოპტიმუმის ე.ი. კვაზისტაციონარული არე. ამ სახის ძიებას ადარებენ გორაკის კალთაზე მდგომი თვალახვეული ადამიანის ცდებს – მიაგნოს გორაკის წვეროს უმოკლესი მანძილით. ამისათვის იგი გააკეთებს ნაბიჯებს სხვადასხვა მიმართულებით, ამით მიაგნებს ყველაზე დიდ აღმართს და მოძრაობას განაგრძობს ამ მიმართულებით. წვერზე ასვლის შემდეგ წვეროს სიმრუდის შესამოწმებლად ისევ გააკეთებს რამდენიმე ნაბიჯს სხვადასხვა მიმართულებით.

ეს მაგალითი წარმოადგენს ოპტიმუმის არის ძიების ილუსტრაციას. ექსპერიმენტის პირობებში კი მისი ძებნა შემთხვევითი ექსპერიმენტებით ძალიან შრომატევადია, განსაკუთრებით, თუ განმსაზღვრელი ფაქტორების რიცხვი დიდია.

ამ მხრივ ყველაზე ეფექტურია 1951 წელს ბოქსისა და ვილსონის მიერ შემოთავაზებული “ციკაზო ასვლის მეთოდი”, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს: სრული და წილადფაქტორული ექსპერიმენტების გეგმები, რომლებიც გამოიყენებიან ამოძახილის ზედაპირის ლოკალური არის წრფივად აღწერისათვის, გვამღევენ საშუალებას ვიპოვოთ ექსტრემალური არისაკენ პირდაპირი მიმართულება დისპერსიების საკმაოდ მცირე მნიშვნელობით (ე.ი. მცირე ცდომილებით). მიმართულების დადგენა წარმოებს გრადიენტის განსაზღვრის გზით. ამოძახილის ზედაპირის განტოლება მკვლევარისათვის წინასწარ ცნობილი არ არის, ხოლო ლოკალური არე, რომლის აპროქსიმაციასაც ფაქტორული დაგეგმვით მიღებული მოდელი წარმოადგენს, საკმაოდ დაშორებულია ოპტიმუმის არეს.

დავუშვათ, ამოძახილის ზედაპირის გაანგარიშებულ აპროქსიმირებულ სიბრტყესთან გააჩნია ერთი შეხების წერტილი $M(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{k0})$. აღნიშნული ჰიპერსიბრტყის განტოლება

$$\varphi = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k$$

აქ $\varphi_M = b_0$ ამ ფუნქციის მნიშვნელობაა M წერტილში. ხოლო თითოეული დანარჩენი კოეფიციენტი წარმოადგენს ფუნქციის კერძო წარმოებულს შესაბამისი ცვლადით (ფაქტორით):

$$b_i = \frac{\partial \varphi}{\partial x_i}$$

ეს კოეფიციენტები, როგორც ანალიზური გეომეტრიიდან არის ცნობილი, განსაზღვრავენ ჰიპერსიბრტყის მდებარეობას კორდინატული სიბრტყეების მიმართ M წერტილში.

განვსაზღვროთ ციცაბო ასვლის 1 მიმართულება. ამისათვის უნდა ვიპოვოთ $\frac{\partial \varphi}{\partial l}$ წარმოებული, ცნობილია, რომ

$$\frac{\partial \varphi}{\partial l} = |\mathit{grad}\varphi| \cos(l, \mathit{grad}\varphi),$$

აქედან

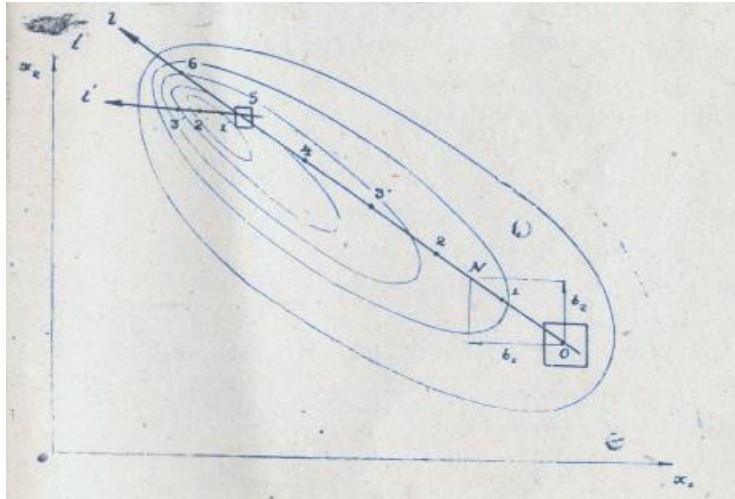
$$\left(\frac{\partial \varphi}{\partial l}\right)_{\max} = |\mathit{grad}\varphi| = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i}\right)^2}$$

სადაც $-\mathit{grad}\varphi$ – ჰიპერსიბრტყისადმი M წერტილში გავლებული ნორმალის მიმართულების ვექტორია.

$$\mathit{grad}\varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x_1} i_1 + \frac{\partial \varphi}{\partial x_2} i_2 + \dots + \frac{\partial \varphi}{\partial x_k} i_k$$

$i_1, i_2 \dots i_k$ – ერთეული ვექტორებია (ორტები).

უფრო მეტი სიცხადისათვის, წარმოვიდგინოთ ციცაბო ასვლა გეომეტრიულად. დავუშვათ, ოპტიმიზაციის პარამეტრიც დამოკიდებულია ორი ფაქტორისაგან. კოორდინატულ სიბრტყეზე მათი ერთნაირი გამოსავალი მოცემულია მრუდების სახით, რომლებიც იზოგიფსებს, ან იზობარებს წააგავს.



ნახ.3.6 ციკაბო ასვლის ინტერპრეტაცია

O წერტილის კოორდინატებია x_{10} და x_{20} . ეს წერტილი მივიღოთ ექსპერიმენტის ცენტრად და დავგეგმოთ მის გარშემო სრულ ფაქტორიანი ექსპერიმენტი "2²" სახით.

დავუშვათ მივიღეთ ასეთი მატრიცა.

ცხრილი 3.3

n	\tilde{x}_1	\tilde{x}_2	y
1	-	2	72
2	-	+	74
3	+	-	76
4	+	+	78

რეგრესიის კოეფიციენტების განსაზღვრის შემდეგ მივიღებთ მოდელს

$$\hat{y} = b_0 + b_1\tilde{x}_1 + b_2\tilde{x}_2 = 75 + 2\tilde{x}_1 + \tilde{x}_2$$

რომელიც ამოძახილის ზედაპირის აპროქსიმაციას წარმოადგენს ლოკალურ არეში (ნახაზზე კვადრატითაა ეს არე აღნიშნული).

მიღებული მოდელის ადეკვატურობის შემთხვევაში b_0 კოეფიციენტი ამოძახილის ტოლი იქნება ექსპერიმენტის ცენტრში, ე.ი. O წერტილში b_1 და b_2 კოეფიციენტები განსაზღვრავენ ციკაბო ასვლის მიმართულებას. კერძოდ, O წერტილიდან ღერძის მიმართულებით b_1 და b_2 კოეფიციენტების (ან მათი პროპორციული სიდიდეების) გადაზომვით მიიღება N წერტილი, ხოლო N და O წერტილებზე გამავალი წრფე კი დაემთხვევა I მიმართულებას.

ჩვენი შემდგომი მიზანია ექსპერიმენტების რეალიზაცია მოვახდინოთ ციცაბო ასვლის I მიმართულების წრფის გასწვრივ. ამისათვის საჭიროა შეირჩეს ბიჯი I წრფეზე.

სამწუხაროდ, ჯერჯერობით არ არსებობს ბიჯის შერჩევის რაიმე ფორმირებული მეთოდი, იგი ძირითადად მკვლევარის ინტუიციასა და დამოკიდებულებას. მართლაც, თუ ბიჯს მცირეს ავიღებთ, მაშინ ბევრი ექსპერიმენტის ჩატარება მოგვიწევს, სანამ ოპტიმიზაციის არეს მაქსიმალურად მივუახლოვდებით, ხოლო თუ ბიჯის სიდიდე დიდი იქნა, მაშინ იქნება ოპტიმიზაციის არეზე გადახტომის საშიშროება.

როგორც ცნობილია, კოდირებული ფაქტორი ნატურალურით ასე გამოისახება:

$$\tilde{x}_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\lambda_i}, \text{ ე.ი. } \tilde{x}_i = \frac{x_i}{\lambda_i} - \frac{x_{i0}}{\lambda_i}$$

ამრიგად, კოდირებული \tilde{x}_i ფაქტორის ერთი ერთეულით შეცვლა იწვევს ნატურალური ფაქტორის λ_i ერთეულით შეცვლას მაშინ, პროპორციულობიდან გამომდინარე, \tilde{x}_i კოდირებული ფაქტორის ერთეულით შეცვლა გამოიწვევს ნატურალური x_i ფაქტორის $b_i \lambda_i$ ერთეულით შეცვლას.

აქედან გამოგვაქვს დასკვნა, რომ I მიმართულებით რომელიმე წერტილში ექსპერიმენტების რეალიზაციისათვის ექსპერიმენტის ცენტრიდან უნდა გადაიზომოს რეგრესიის კოეფიციენტების პროპორციული სიდიდეები. საჭიროა მხოლოდ ერთი რომელიმე ფაქტორისათვის ავირჩიოთ შესაბამისი ბიჯის სიდიდე, ხოლო შემდეგ მის მიხედვით პროპორციულად ვიანგარიშოთ დანარჩენი ფაქტორების ბიჯების სიდიდეები. განვიხილოთ ციცაბო ასლისამოცანის პრაქტიკული გადაწყვეტა

თუ I მიმართულებით რომელიმე წერტილის კოორდინატებისა და b_i კოეფიციენტების პროპორციულობის კოეფიციენტებს აღვნიშნავთ ε სიდიდით, მიიღება

$$\tilde{x}_i = \varepsilon b_i$$

ე.ი. ნატურალურ სიდიდეებზე გადასვლის შემდეგ მიიღება

$$x_i - x_{i0} = \varepsilon b_i \lambda_i \quad (i = 1, 2, \dots, k)$$

უკანასკნელი გამოსახულება წარმოადგენს I წრფის განტოლებას სახელდებული ცვლადებით. x_i წერტილები, რომლებიც ამ განტოლებას აკმაყოფილებენ, განლაგებული არან I წრფეზე. ε სიდიდის ცვლილებით შესაძლებელია რამდენიმე წერტილი კოორდინატების განსაზღვრა მოცემულ წრფეზე, რითაც განვსაზღვრავთ \hat{y} პარამეტრს. ამ უკანასკნელის მაქსიმალური მნიშვნელობა კი გვიკარნახებს ოპტიმუმის არესთან მიახლოების მომენტს.

ციცაბო ასვლის მეთოდით ოპტიმუმის არის მოძებნა წარმოებს შემდეგი პრაქტიკული საფეხურებით:

თავდაპირველად ვაწარმოებთ სრულ ფაქტორიან ან წილადფაქტორიანი ექსპერიმენტების დაგეგმვას, რომლის ცენტრი ($x_{10}, x_{20} \dots x_{k0}$) წერტილში იქნება. შემდეგ ვახდენთ მიღებული სიდიდეების სტატისტიკურ ანალიზს. კერძოდ, გამოითვლება რეგრესიის b_i კოეფიციენტები, შემოწმდება მათი სიზუსტე, ერთგვაროვნება, მოდელის ადეკვატურობა [54].

ამის შემდეგ შევარჩევთ პარამეტრის რამდენიმე მნიშვნელობას, რომლებიც განსაზღვრავენ წერტილებს უსწრაფესი ასვლის მიმართულებით. პარამეტრის მნიშვნელობების შერჩევა სხვადასხვა მეთოდებით წარმოებს. გავარჩიოთ ეს მეთოდები.

პირველი მეთოდი: ა) გამოითვლება $b_i \lambda_i$ ნამრავლები და შეირჩევა მათგან მაქსიმალური სიდიდე $|b_{\text{უდ}}| \lambda_{\text{უდ}}$. ამ ნამრავლს ბაზური ფაქტორი ვუწოდოთ. ბ) შეირჩევა ε_1 პარამეტრი ციკაბო ასვლის მიმართულების პირველი წერტილის მისაღებად. ეს სიდიდე შეირჩევა ისე, რომ $(x_{\text{უდ}} - x_{\text{უდი}})$ სხვაობა, რომელიც ბაზური ფაქტორის ძვრას წარმოადგენს, ტოლი იყოს ვარიანტის ინტერვალის, ან მისი ნაწილის. ე.ი. $\mu \lambda_i (0 \leq \mu \leq 1)$. ეს პირობა ასე გამოისახება

$$\varepsilon_1 |b_{\text{უდ}}| \lambda_{\text{უდ}} = \mu \lambda_{\text{უდ}}$$

საიდანაც

$$\varepsilon_1 = \frac{\mu}{|b_{\text{უდ}}|}$$

გ) გამოითვლება ციკაბო ასვლს ბიჯები და პირველი წერტილის კოორდინატები:

$$x_{i1} - x_{i0} = \frac{\mu}{|b_{\text{უდ}}|} (b_i \lambda_i) = \varepsilon_1 b_i \lambda_i$$

აქედან

$$x_{i1} = \varepsilon_1 b_i \lambda_i + x_{i0}$$

დ) ამ ხაზზე შემდეგ წერტილების ბიჯები და კოორდინატები განისაზღვრებიან განტოლებებით

$$x_i h - x_{i0} = \varepsilon_h b_i \lambda_i = h \varepsilon_h b_i \lambda_i$$

$h = 1, 2, 3, \dots$ - ბიჯების ნომერია ციკაბო ასვლის მიმართულებით.

ე) რეალიზებული ექსპერიმენტებიდან შეირჩევა ისეთი მონაცემები, რომლებსაც ოპტიმიზაციის ყველაზე უფრო ეფექტური პარამეტრები შეესაბამება.

მეორე მეთოდი: პარამეტრის განსაზღვრის მეორე მეთოდში გამოიყენება ლოკალურ არეში მიღებული რეგრესიის განტოლების წრფივი ნაწილი:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k$$

ციცაბო ასვლის მიმართულებით მოძრაობის დროს კოორდინატები იცვლება (5.6) დამოკიდებულებით. თუ (5.6) გამოსახულებას შევიტათ (5.12) – ში, მიიღება შემდეგი [47, 48, 61]:

$$\hat{y} = b_0 + b_1\varepsilon x_1 + b_2\varepsilon x_2 + \dots + b_k\varepsilon x_k$$

ანუ

$$\hat{y} - b_0 = \varepsilon(b_1^2 + b_2^2 + \dots + b_k^2)$$

აქ ε პარამეტრის დასადგენად შეირჩევა y ოპტიმიზაციის პარამეტრის ზღვრულად სასურველი მნიშვნელობა $\hat{y}_{\text{ზღ}}$ და განისაზღვრება შესაბამისი $\varepsilon_{\text{ზღ}}$ პარამეტრიც

$$\varepsilon_{\text{ზღ}} = \frac{\hat{y}_{\text{ზღ}} - b_0}{\sum_{i=1}^k b_i^2}$$

შემდეგ გამოითვლება ε – ის მუშა მნიშვნელობები: 0,2 $\varepsilon_{\text{ზღ}}$, 0,4 $\varepsilon_{\text{ზღ}}$ და ა.შ. ამის შემდეგ შეიძლება შესაბამისი წერტილების კოორდინატების რეალიზაცია ამ წერტილებში. ოპტიმიზაციის პარამეტრების მიღებული მნიშვნელობებიდან შეირჩევა საუკეთესო.

ε პარამეტრის განსაზღვრისათვის არსებობს კიდევ სხვა მეთოდებიც, მაგრამ, როგორც ზემოთ მოყვანილიდანაც სჩანს, პარამეტრის დადგენასა და, შესაბამისად, ბიჯის განსაზღვრის საქმეში დიდი მნიშვნელობა აქვს თვით ექსპერიმენტატორის ინტუიციასა და გამოცდილებას, აპრიორული მონაცემების სიდიდესა და სხვა მიზნებს.

ციცაბო ასვლის მიმართულების ხაზმა შესაძლებელია ოპტიმუმის არეს გვერდით გაუაროს და არ გადაკვეთოს სამიხეობელი არე. ამიტომ ოპტიმიზაციის პარამეტრების მიღებული მნიშვნელობებიდან მოცემული I მიმართულებით ყველაზე საუკეთესო შეირჩევა ახალი ექსპერიმენტების ცენტრად, მიიღება ახალი რეგრესიის განტოლება, თავიდან დავადგენთ ახალ გრადიენტს და ვიწყებთ მოძრაობას ექსტრემალური არისაკენ. ცხადია, აქ უკვე სასურველია ბიჯის მნიშვნელობა უფრო ნაკლები იყოს.

როდესაც მივალწევთ ისეთ ლოკალურ არს, სადაც წრფივი კოეფიციენტები უკვე არაარსებითი აღმოჩნდებიან, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ მიღწეული ვართ ოპტიმიზაციის არეს და ამით ძიება წყდება.

მოცემული თანმიმდევრობით შედგენილი დაგეგმვის მატრიცას შემდეგი სახე აქვს (ცხრილი 5.1, განხილულია სამფაქტორიანი შემთხვევა)

პარამეტრის ოპტიმიზაცია

უსწრაფესი ასვლის ოპერაციების თანმიმდევრობა	ფაქტორები			ოპტიმიზაციის პარამეტრი
	x_1	x_2	x_3	
1.ძირითადი დონე x_{i0}	x_{10}	x_0	x_{30}	
2.ვარიანტის ინტერვალი λ_i	λ_1	λ_2	λ_3	
3.ზედა დონე	$x_{10} + \lambda_1$	$x_0 + \lambda_2$	$x_{30} + \lambda_3$	
4.ქვედა დონე	$x_{10} - \lambda_1$	$x_0 - \lambda_2$	$x_{30} - \lambda_3$	
5.ცვლადების კოდირებული სიდიდეები	\tilde{x}_1	\tilde{x}_2	\tilde{x}_3	
6.ექსპერიმენტები				
1- ლი ვარიანტი	-	-	-	\bar{y}_1
მე- 2 ვარიანტი	+	-	+	\bar{y}_2
მე- 3 ვარიანტი	+	+	-	\bar{y}_3
მე- 4 ვარიანტი	-	-	+	\bar{y}_4
მე- 5 ვარიანტი	+	-	-	\bar{y}_5
მე- 6 ვარიანტი	-	+	-	\bar{y}_6
მე- 7 ვარიანტი	-	+	+	\bar{y}_7
მე- 8 ვარიანტი	+	+	+	\bar{y}_8
7.რეგრესიის კოეფიციენტი	b_1	b_2	b_3	
8. $b_i \lambda_i$	$b_1 \lambda_1$	$b_2 \lambda_2$	$b_3 \lambda_3$	
9. $\varepsilon_2 = \frac{\mu}{|b_{\text{უფ}}|}$ ($b_{\text{უფ}} = b_2$)				
10. ბიჯი $v_i = \varepsilon_2 b_i \lambda_i$	$\varepsilon_2 b_1 \lambda_1$	$\varepsilon_2 b_2 \lambda_2$	$\varepsilon_2 b_3 \lambda_3$	
11. ცდები ციცაბო ასვლის ხაზზე				
მე-9 ექსპერიმენტი	$x_{10} + v_1$	$x_{20} + v_2$	$x_{30} + v_3$	\bar{y}_9
მე-10 ექსპერიმენტი	$x_{10} + 2v_1$	$x_{20} + 2v_2$	$x_{30} + 2v_3$	\bar{y}_{10}
მე-11 ექსპერიმენტი	$x_{10} + 3v_1$	$x_{20} + 3v_2$	$x_{30} + 3v_3$	\bar{y}_{11}

3.6. ექსპერიმენტული დანადგარი, მოწყობილობები და მასალები

სადისერტაციო ნაშრომის ექსპერიმენტული ნაწილის შესრულებისათვის ჩვენს მიერ დაპროექტებული და დამზადებული იქნა ახალი მოწყობილობები და სამარჯვები, რომელთა გამოყენებით მოხდა მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით გაცვეთილი დეტალების აღდგენისათვის საჭირო დანადგარის მოდერნიზება. საქმე იმაშია, რომ

არსებულ დანადგარზე შეუძლებელი იყო დადუღების რეჟიმების უსაფეხურო რეგულირება, რადგანაც პროცესი ხდებოდა საფეხურებრივად, კბილანური გადაცემების გამოყენებით. გადავწყვიტეთ მოგვხდინა დადუღების პარამეტრების უსაფეხურო რეგულირება, რის გამოც შევუდექით მის მოდერნიზებას, რაც მეტად შრომატევდი აღმოჩნდა. ამ საქმეში დახმარება გამიწიეს სამეცნიერო ხელმძღვანელმა, პროფ. ჯ.ცაცციტაძემ, ტექნიკის აკადემიურმა დოქტორმა ი.კაპანაძემ და აწ განსვენებულმა მაღალი დონის, გამოცდილმა სპეციალისტმა ზ. თადუმაძემ, ასევე უნივერსიტეტის შიდასაგრანტო პროექტმა, რომლის ერთ-ერთი შემსრულებელი ვიყავი. დამზადებული იქნა დროსელები კვების წყაროსათვის, ელექტრული მოწყობილობები და შეძენილი იქნა ძრავები რეჟიმების უსაფეხურო რეგულირებისათვის [37]. უკანასკნელ საქმეში ახალი ფლუსებისა და საელექტროდე მასალების შერჩევისათვის დიდი დახმარება გაგვიწიეს ასევე თბილისის ლითონკოსტრუქციების საშემდუღებლო ქარხნის გენერალურმა დირექტორმა ბატონმა ზურაბ ლოლუამ და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საშემდუღებლო ლაბორატორიის ხელმძღვანელმა პროფესორმა მამუკა ბაბუციძემ. ცხრილი 5.2 ფლუსის შემადგენლობა დეტალების აღდგენისათვის.

ჩვენ მოვახდინეთ ყველა ასეთი გადაცემის შეცვლა მუდმივი დენის ელექტრული ძრავებით, რამაც საშუალება მოგვცა დადუღების პროცესის წარმართვა უწყვეტ რეჟიმში. დავამზადეთ ასევე სპეციალური დამდუღებელი მუნდშტუკი. ფლუსად გამოყენებული იყო ჩვენს მიერ რკომენდებული ახალი ნარევი, რომელიც საქართველოში არსებული მადნეულის (ჭიათურა) გადამუშავების ნარჩენებისაგან მზადდება. ფლუსის შემადგენლობა ასეთი იყო განზომილება %-ში. (ცხრილი 3.5):

ცხრილი 3.5

№	ნიმუშის დასახელება	სილიცი იუმი Si	ალუმინი Al	მაგნიუმი Mg	კალცი იუმი Ca	რკინა Fe	მანგანუმი Mn	ტიტანი Ti	ნიკელი Ni	სპილენძი Cu	ნატრიუმი Na
1	№1	23-25	12-14	0,4	10-12	8-10	0,3	2,0	---	0,002	1-2
2	№2	20-22	12-14	1,0	12-14	10-12	0,5	2-4	---	0,002	3-5
3	№3	24-27	14-16	0,8	12-13	10-12	0,4	2,1	---	0,002	3-4

აღნიშნული ფლუსით დაინტერესებულია ბულგარეთის მსხვილი ფირმა EL-STOMANA (გენერალური დირექტორი შტეფან ჩოლაკოვი), რომელთანაც მიმდინარეობს მოლაპარაკება შესაბამისი ხელშეკრულების გაფორმების შესახებ. ხელშეკრულება გაფორმდება ჩვენს მიერ გამოგონებაზე განაცხადის (პატენტის) დამტკიცების შემდეგ.

დამდუღებელ მასალად გამოყენებული იყო CB-08r მარკის ფხვნილგულა საელექტროდე მავთული, რომელსაც ვამზადებდით საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში. ქვემოთ სურ. 3.1-ზე წარმოდგენილია ექსპერიმენტული დანადგარის ფოტო



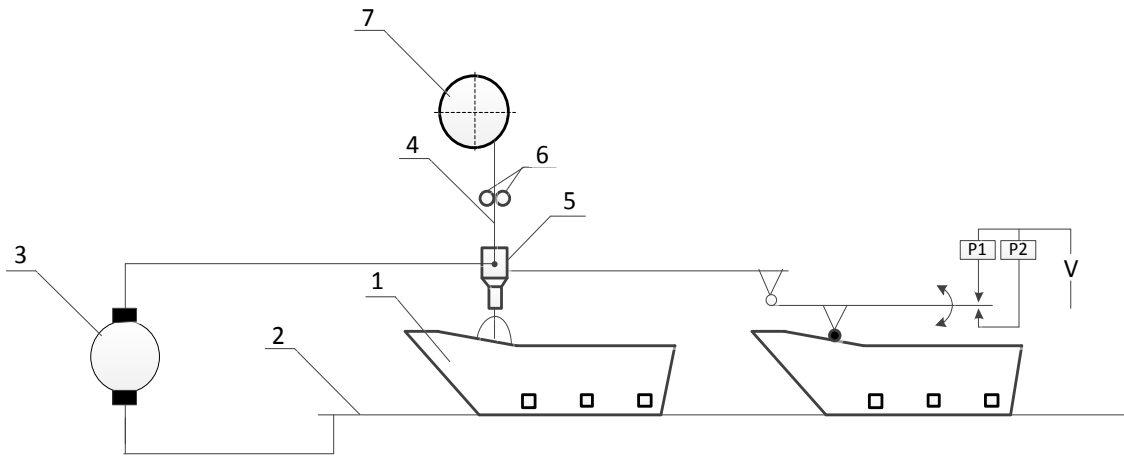
სურ. 3.1 ექსპერიმენტული დანადგარი გუთნების სახნისების მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებისათვის.

დანადგარი შედგება დამდუღებელი თავისაგან, დასადუღებელი დეტალისაგან, ხვიმირისაგან მდნობისათვის, კოჭზე დახვეული დასადუღებელი საელექტროდე მასალისაგან, მიმწოდებელი მექანიზმის, სატუჩისა და კვების წყაროსაგან. ელექტრულ რკალს, რომელიც წარმოიშვება ელექტროდსა და დასადუღებელ დეტალს შორის სატუჩის გავლით, მიმწოდებელი მექანიზმით მუდმივად მიეწოდება დასადუღებელი მავთული, რომელიც დნება და ლითონური საფარი ეფინება გაცვეთილი დეტალის აღსადგენ ზედაპირს. გამდნარი ლითონის აბაზანას პარალელურად მიეწოდება მდნობი ანუ ფლუსი, რომელიც ქერქის სახით გარს შემოეკვრის დეტალს, იცავს დადუღებულ ფენას ჰაერში შემავალი ჟანგბადისა და აზოტისაგან და გარდა ამისა, უზრუნველყოფს მდგრადი სტრუქტურის მიღებას ნელი გაცივების გამო. რადგანაც დადუღებული ლითონისა და ფლუსის მასალის ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტები სხვადასხვაა, შინაგანი ძაბვების მოქმედების შედეგად, მდნობის ქერქი სკდება და სცილდება დეტალის ზედაპირს.

ჩვენ დავაპროექტეთ და დავამზადეთ ასევე ახალი მოწყობილობა, რომელიც საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ რთული გარშემოწირებულობის მქონე მრუდწირულ ზედაპირიანი დეტალების (სატეხისმაგვარი სახნისების) მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით აღდგენა და დადუღების პროცესის ინტენსიფიკაცია. მოწყობილობის კონსტრუქცია წარმოდგენილია ნახაზ 3.9-ზე

იმისათვის, რომ მოგვეხდინა რთული კონფიგურაციის მქონე დეტალების (გუთნების სახნისები, კულტივატორების თათები) აღდგენა მწყობილობაზე დამატებით დამზადებული იქნა მაკოპირებელი მოწყობილობა [18].

ავტომატიზებული მაკოპირებელი მოწყობილობა უზრუნველყოფს რთული ფორმის მქონე გუთნების სატეხისმაგვარი სახნისების მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით აღდგენასა და მისი რესურსის გაზრდას.



ნახ. 3.7 ავტომატიზებული მაკოპირებელი მოწყობილობა გუთნების სახნისების მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულებსათვის

ავტომატიზებული მაკოპირებელი მოწყობილობა, რომელიც ზუსტად სატეხისმაგვარი სახნისის ფორმისაა, დასადულებელ დეტალთან ერთად მაგრდება (2) სახარატო ჩარხზე. მაკოპირებელ ელემენტთან შეერთებულია ელექტრული მოწყობილებები და გორგოლაჭი, რომლებიც დადულებისას უზრუნველყოფენ დეტალის ზედაპირის კოპირებას. აღსადგენი დეტალის გადაადგილება და მრუდწირული ზედაპირის დადულება ხორციელდება სახარატო ჩარხითა და დამდულებელი თავის საშუალებით.

მაკოპირებელი მოწყობილობა მუშაობს შემდეგნაირად: რკალს, რომელიც წარმოიშვება (1) დეტალსა და (4) საელექტროდე მასალას შორის (7) კოჭისა და (6) მიმწოდებელი მექანიზმის საშუალებით (5) სატუჩის გავლით, უწყვეტად მიეწოდება საელექტროდე მავთული, რომელიც სატუჩიდან გამოსვლისას მიერთებულია ელექტრულ დენზე. ასევე (3) დენის წყაროსთან (გენერატორი) მიერთებულია (1) დასადულებელი დეტალი. მათი შეხებისას წარმოიქმნება ელექტრული რკალი, მავთული და დეტალის ზედაპირი დნებიან, ხოლო გამდნარი დეტალი ქმნის აბაზანას, რომელიც იმყოფება გამდნარი ფლუსის თხევადი წიდის ფენის ქვეშ. ფლუსი გრანულების სახით მიეწოდება სპეციალური ხვიმირიდან (ნახაზზე ნაჩვენები არ არის). სატეხისმაგვარი სახნისის მრუდწირული ზედაპირის დადულებას უზრუნველყოფს მაკოპირებელი მოწყობილობა.

აღსადგენი დეტალი უწყვეტად გადაადგილდება ელექტრული რკალის მიმართ და მისგან დაცილების მანძილის მიხედვით გამდნარი ლითონი განიცდის კრისტალიზაციას. ფლუსის წიდა მყარდება, ქმნის ქერქს, რომელიც ხელს უწყობს დადულებული ლითონური საფარის მდოვრე გაცივებას და, შესაბამისად, მდგრადი სტრუქტურის ფორმირებას. წიდის ქერქი თანდათან სცილდება დადულებულ დეტალს.

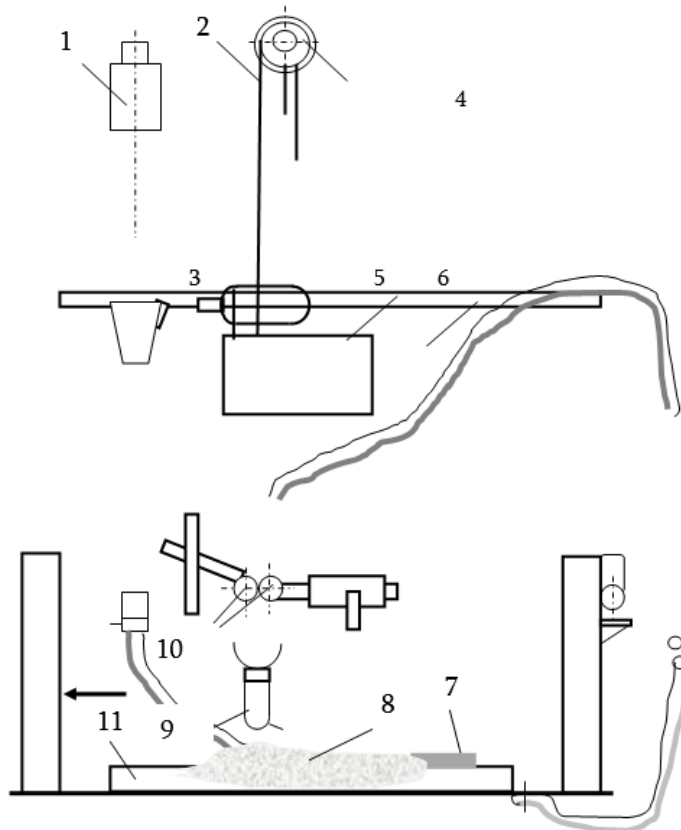
როგორც აღვნიშნეთ, მოწყობილობას გააჩნია კოპირი, რომელიც ზუსტად სატეხისმაგვარი სახნისის ფორმისაა და იმყოფება კონტაქტში გორგოლაჭთან. კოპირისა და გორგოლაჭის ურთიერთგადაადგილებისას აღსადგენ ზედაპირზე ხდება მრუდწირული ნაწილის დადულება.

დადუღების პროცესის ინტენსიფიკაციის მიზნით პროტოტიპის მოწყობილობაზე არსებული საფეხურებიანი (კბილანებიანი) გადაცემების ნაცვლად გათვალისწინებული გვაქვს უსაფეხურო გადაცემები შესაბამისი ელექტრული ძრავები.

საექსპლოატაციო გამოცდებმა აჩვენეს, რომ ჩვენს მიერ დამზადებულ მოწყობილობაზე აღგენილი გაცვეთილი სახნისებისა და კულტივატორების რესურსი გაიზარდა 30.....40%-ით. შესაბამისად ამისა, მიგვაჩნია, რომ მოწყობილობის გამოყენება ფერმერებსა და რემონტის სპეციალისტებს მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს მისცემს.

ასევე ჩვენს მიერ საქართველოს პატენტის დონეზე დამუშავებული იქნა მაკოპირებელი მოწყობილობის მეორე ვარიანტიც. დღეისათვის რთული კონფიგურაციის დეტალების დადუღებით აღდგენისათვის, გამოიყენება ელექტროდის და აღსადგენი დეტალების ერთობლივი და დამოუკიდებელი რთული სივრცითი მოძრაობები, რომლის დროსაც, როგორც ელექტროდი, ასევე დეტალი ასრულებენ ურთიერთ დაკავშირებულ და დამოუკიდებულ მოძრაობას.

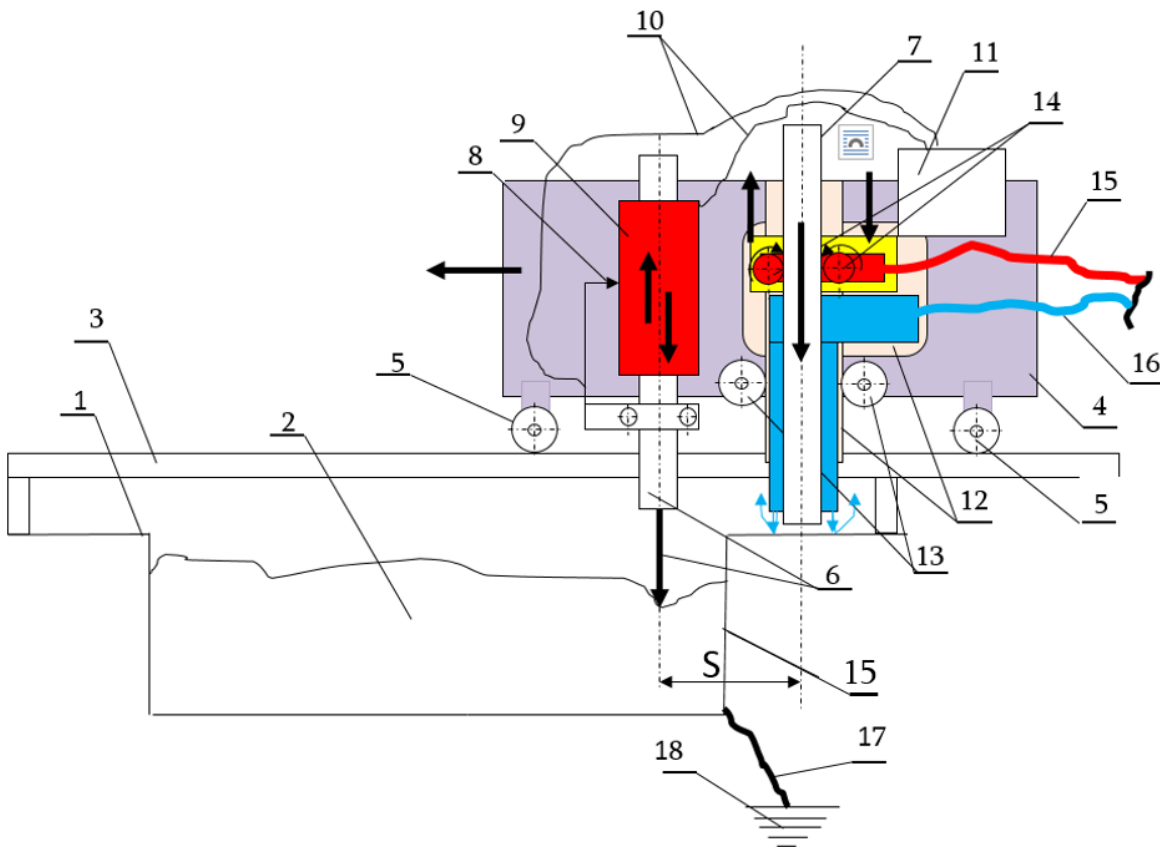
ელექტრორკალური დადუღებით აღდგენის ავტომატური მართვის ერთერთი ასეთი სქემა ნაჩვენებია ქვემოთ (ნახ.3.10). როგორც სქემიდან ჩანს დასადუღებელი მავთულისა და ფლუსის ავტომატური მისაწოდებელი აპარატი გადაადგილდება მიმმართველ ძელზე გარკვეული წინასწარ შერჩეული მუდმივი სიჩქარით.



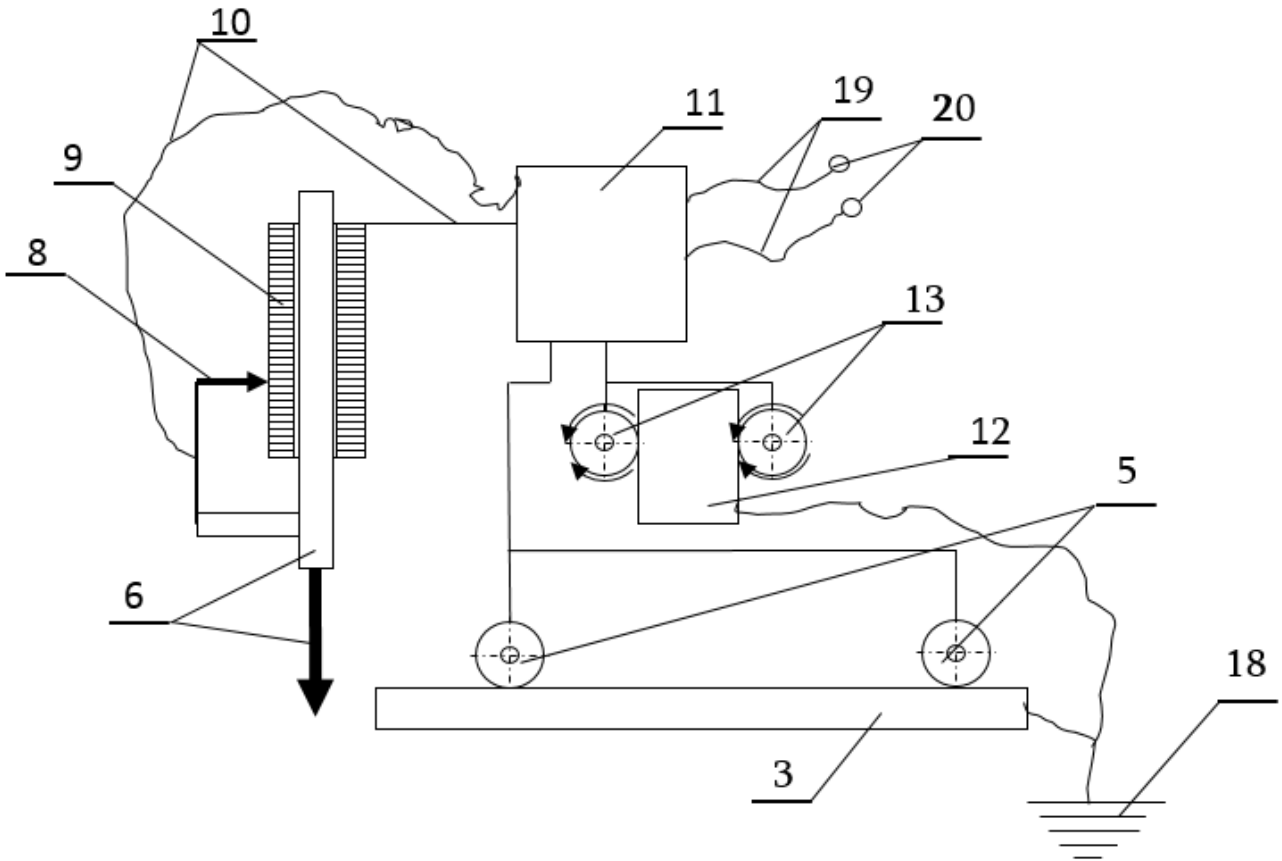
ნახ. 3.8 ფლუსის ქვეშ ავტომატური დადუღების სქემა.

1. ბუნკერი ფლუსით, 2. ელექტროდული მავთული, 3. ელექტროამძრავი, 4. კასეტა მავთულით, 5. მოძრავი კარეტა მიმწოდებელი მექანიზმით, 6. მიმმართველ-კარეტის სარბენი ბილიკი, 7. დადუღებული ფენა 8. ფლიუსის ფენა 9. სატუჩე (მუნდშტუკი), 10. ელექტროდის მიმწოდებელი გორგოლაჭები, 11. აღსადგენი დეტალი.

დეტალის ასეთი წესით აღდგენის დროს შეუძლებელია გათვალისწინებული იქნას ცვეთის უთანაბრობა და, როგორც აღვნიშნეთ, სასოფლო-სამეურნეო მანქანების მუშაობისას მანქანის სამუშაო ელემენტები (საკვეთლები, სახნისები, ველის ფიცრები, ისრისებრი და ბრტყლად მჭრელი თათები და ა. შ.) განიცდიან არათანაბარ ცვეთას. ამიტომ ასეთი სახის გაცვეთილი დეტალების აღდგენისას ავტომატური მართვის მექანიზმი უნდა უზრუნველყოფდეს აღდგენის პროცესის რეგულირებას აღსადგენი დეტალის ცვეთის უთანაბრობისა და მრუდწირული ფორმის გათვალისწინებით. ამ მიზნით, ჩვენს მიერ დამუშავებული იქნა სრულიად ახალ პრინციპზე მომუშავე სხვადასხვა ფორმისა და ხარისხით გაცვეთილი დეტალების აღსადგენი დანადგარის პრინციპული სქემა (ნახ. 3.9). იგი შეიცავს ჩარჩოზე 1 (ნახ. 3.10). დამაგრებულ აღსადგენ დეტალს 2



ნახ.3.9 კოპირით ავტომატურად მართვადი დეტალების აღდგენის სქემა,



ნახ. 3.10 მაკოპირებელი ავტომატური მართვის ამძრავების შეერთების სქემა;

სარბენ ბილიკებს 3, რომლის ფორმა წინასწარ შესრულებულია ალსადგენი დეტალის საბოლოო ფორმის მიხედვით. ამ უკანასკნელებზე განთავსებულია კარეტა 4 და გადამადგილებელი გორგოლაჭები 5 (ფიგ. 1, 2). კარეტაზე 4 თავისი ამძრავ-რედუქტორებით (ნახაზზე არაა გამოტანილი), განთავსებულია კოპირი 6 და ელექტროდის 7 მიმმართველები. კოპირი 6, ცოციათი 8, დაკავშირებულია ცვლადი წინაღობის რეოსტატთან 9, რომელიც ელგამტარებით 10, მიმდევრობით შეერთებულია მართვის კარადის 11 გავლითკარეტა 4, გადამადგილებელი გორგოლაჭების 5 და ელექტროდის 7, დამჭერის 12, ვერტიკალურად გადამადგილებელი გორგოლაჭების 13 ამძრავებთან. ელექტროდის 7 დამჭერში 12, გაერთიანებულია ელექტროდის 7, ავტომატური მიწოდების გორგოლაჭები 14 ,ელგამტარით 15, დაკავშირებულია ელშედულების ტრანსფორმატორთან (ნახაზზე არაა ნაჩვენები). ელექტროდის 7, დამჭერი 12, დრეკადი მაღალი წნევის მილგამტარით 16, შეერთებულია ნახშირორჟანგის ბალონთან (ნახაზზე არაა ნაჩვენები), ხოლო ჩარჩო 1 სადენით 17 მიერთებულია მასასთან 18, საიდანაც იკვებება ყველა გორგოლაჭების 5-13 ამძრავები და შედულების მასა, ხოლო მართვის კარადა 11, ელგამტარებით 19, მიერთებულია კვების ქსელთან 20. ელექტროდსა 7 და კოპირის 6, შორის მანძილი 5, შეესაბამება სიგნალის დაგვიანების t პერიოდს.

მაკოპირებელი ავტომატური მართვის სისტემა მუშაობს შემდეგნაირად: ჩარჩოში 1 ამაგრებენ ალსადგენ დეტალს (სახნისს) 2 და მისი ალსადგენი ნაწილის თავზე განათავსებენ კოპირს 6. ამის შემდეგ, მართვის პულტიდან 11, ჩართავენ ყველა სამუშაო ორგანოს 5, 13, 14 ამძრავებს, რომლის დროსაც გორგოლაჭებით 5 ,კარეტა 4,

გადაადგილდება სარბენ ბილიკებზე 3, ხოლო კოპირი 6, გადაადგილდება აღსადგენი დეტალის ზედაპირზე, რომლის მიერ შეგრძნებულ ინფორმაციას გარკვეული დროის დაგვიანების შემდეგ გადასცემს შემსრულებელ ელემენტის ელექტროდის 7, დამჭერს 12. მისი საშუალებით, ელექტროდი 6, გადაადგილდება აღსადგენი 2, ზედაპირის გასწვრივ იმ სიჩქარით, რომელსაც არეგულირებს, რეოსტატის 9 და ცოციას 8 საშუალებით, წინალობის ცვალებადობით. კერძოდ, რაც უფრო დიდ სიმაღლეზეა აღსადგენი დეტალი, მით ცოცია 8 გადაადგილდება ქვემოთ და შესაბამისად, ცოციას 8 საშუალებით, გაიზრდება რეოსტატის 9 წინააღმდეგობა, ამით გორგოლაჭების 5-13 ამძრავების ბრუნვის სიჩქარე შემცირდება, რის შედეგადაც ამ უბანზე ელექტროდი უფრო ნელა გადაადგილდება აღსადგენი დეტალის გასწვრივ, რითაც ელექტროდის დადნობის ხანგრძლივობით იზრდება, აღსადგენ ზედაპირზე გადაადგილების დრო და დადუღების სისქე. თუ აღსადგენი დეტალი დადუღების მცირე სისქეს მოითხოვს, მაშინ პირიქით, ცოცია 8 რეოსტატზე განლაგდება ზემოთ, ამით შემცირდება რეოსტატის 9 წინააღმდეგობა და გორგოლაჭების 5-13 ამძრავების ბრუნვის სიჩქარე გაიზრდება და შემცირდება ერთეულ აღსადგენი დეტალის სიგრძეზე ელექტროდის დაყოვნების დრო და, შესაბამისად, დადუღებული ფენის სისქე.

როგორც დანადგარის მუშაობის ანალიზიდან ჩანს აღდგენის პროცესში, იმის მიხედვით თუ რა ფორმა გააჩნია და როგორი ხარისხითაა გაცვეთილი დეტალი, შესაბამისად იცვლება აღდგენის პროცესი.

ჩვენს მიერ დამუშავებული დანადგარისა და მოწყობილობების გამოყენებით ხდებოდა სადისერტაციო ნაშრომის ექსპერიმენტული სამუშაოების შესრულება ზემოთ აღნიშნული მეთოლოგიისა და მეთოდიკების მიხედვით.

4. შედეგები და მათი განხილვა

4.1. საქართველოს სამთო პირობებში მომუშავე გუთნების მუშაობის თავისებურებანი

გუთნები მობილური სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი შემადგენელი კომპონენტია, რომელებიც დიდი როლს თამაშობენ სასოფლო-სამეურნეო წარმოების შრომატევადი პროცესების მექანიზაციაში, რადგანაც უზრუნველყოფენ ნიადაგის ხვნასა, რაც სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციის მიღებასთან არის დაკავშირებული. აღნიშნული სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის შემოტანა საქართველოში ამჟამად ხდება საზღვარგარეთის ისეთი ქვეყნებიდან, როგორცაა იტალია, საფრანგეთი, ბელორსი, თურეთი და სხვა.

მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ აღნიშნული ტექნიკა საქართველოს მთიან რეგიონებში მუშაობისას ყოველთვის ვერ აჩვენებს საექსპლუატაციო საიმედოობის მაღალ მაჩვენებლებს და ამიტომ მთიან პირობებში გამოსაყენებელი ტექნიკის შემოტანამდე საჭიროა გამოკვლეული იქნას მათი მუშაუნარიანობის მაჩვენებლები და მხოლოდ ამის შემდეგ მოხდეს შესაბამისი რეკომენდაციების გაცემა ამა თუ იმ ტექნიკის შესყიდვის შესახებ. საქართველოს რაიონებში ტექნიკა მძიმე პირობებში მუშაობს და მთიანი რელიეფი უარყოფითად მოქმედებს სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის მუშაუნარიანობაზე. რადგანაც სავარგულები გამოირჩევიან მკვეთრად გამოხატული ტალღოვანობით, ციცაბო დაქანებით, ზოგჯერ მცირე კონტურულობით, ქვიანი ნიადაგებით და სხვა.

გარდა აღნიშნულისა, ტექნიკის მუშაუნარიანობაზე უარყოფითად მოქმედებენ ასევე მუშა გარემოში მყოფი აბრაზიული ნაწილაკები, ნიშანცვლადი დინამიკური დატვირთვები, მაღალი ნესტიანობა, მზის რადიაცია და სხვა.

განსაკუთრებული სპეციფიკით ხასიათდება რაჭა-ლეჩხუმის, სვანეთის, აჭარის, სამცხე-ჯავახეთის, ქართლის, იმერეთისა და კახეთის რაიონების ნიადაგობრივ-კლიმატური პირობები, რაც უარყოფითად აისახება ტექნიკის საიმედოობაზე მცირდება მწარმოებლურობა, იზრდება საწვავის ხარჯი, რთულდება ტექნიკის მართვადობა და მდგრადობა, რაც საბოლოოდ ამცირებს სასოფლო სამეურნეო რესურსსა და გამოსადეგობის ვადას. ამ მიმართულებით მნიშვნელოვანი სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები იქნა შესრულებული ი. ხოხლოვის, რ. დვალის, ვ. მახალდიანის, შ. კერესელიძის, რ. მახარობლიძისა და სხვათა მიერ [2, 22, 51, 55, 65].

რ. დვალისა და ვ. მახალდიანის მიერ ჩატარებული იქნა თეორიული ანალიზი სატრაქტორო და საავტომობილო ძრავების სამთო პირობებში მუშაობისას და დამუშავებული იქნა კონსტრუქციული ღონისძიებანი ტურბოჩაბერვის გზით ძრავების სიმძლავრის გაზრდისათვის.

შ. კერესელიძემ და რ. მახარობლიძემ [55] დაამუშავეს თეორიული და კონსტრუქციული ღონისძიებანი ფერდობმავლის მუშაობის გაუმჯობესებისათვის.

ვ. მახალდიანმა დაამუშავა პრინციპულად ახალი თეორიული საფუძვლები სამთო ავტომობილებისა და ტრაქტორების ძრავების მუშაობის შესახებ, მაგრამ ზემოთ განხილული სამუშაოები ეხება ტრაქტორებისა და ავტომობილების მუშაობას სამთო პირობებში და არ არის განხილული გუთნების მუშაობის თავისებურებანი, ასევე არ არის გათვალისწინებული კონკრეტული მთიანი რეგიონის პირობების გავლენა ტექნიკის მუშაუნარიანობაზე.

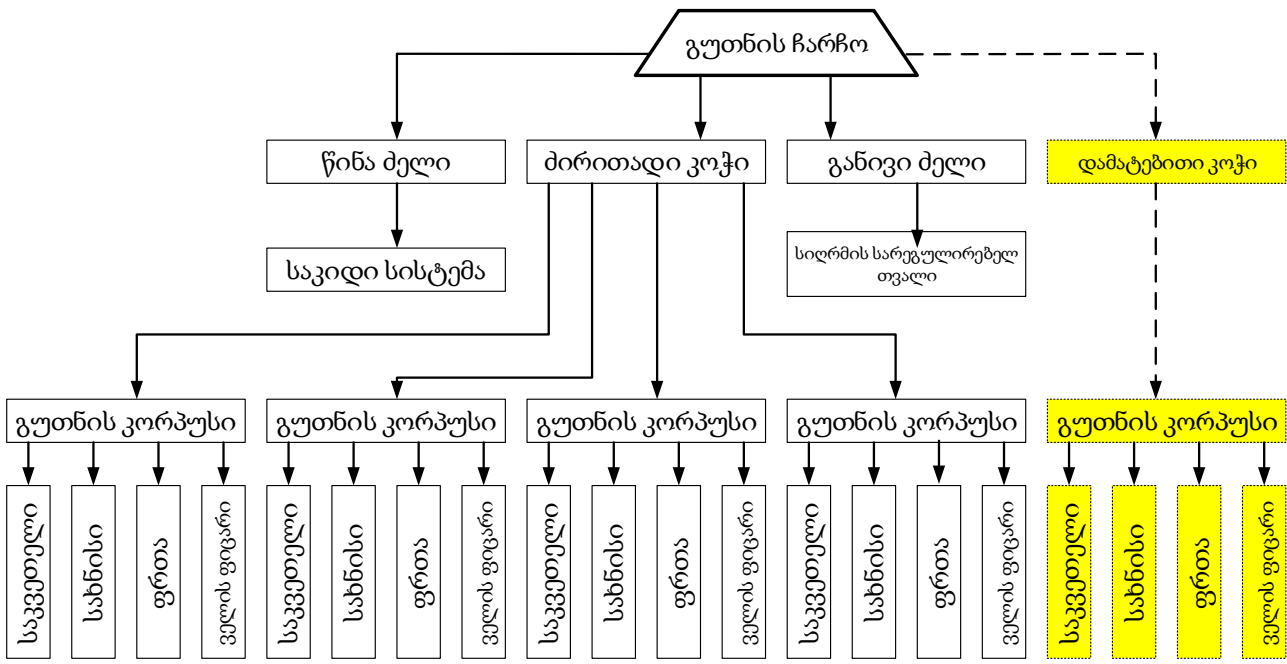
განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს, რომ საჭიროა შესრულდეს სრულფასოვანი სამეცნიერო სამუშაოები ქვეყნის მთიან პირობებში სასოფლო სამეურნეო გუთნების საექსპლუატაციო საიმედოობის მაჩვენებლების შესახებ და დაისახოს ორგანიზაციულ-ტექნოლოგიური ღონისძიებანი მათი რესურსის გაზრდისათვის. მიგვაჩნია, რომ როდესაც ცნობილი იქნება მოცემული რეგიონისათვის მათი საიმედოობის მაჩვენებლების ცვლილებების მოდელები, შეგვიძლია ადვილად მოვახდინოთ მათი კორექტირება ქვეყნის ცალკეული რაიონისათვის და დავსახოთ კონკრეტული ღონისძიებანი საექსპლუატაციო საიმედოობისა და რემონტის შემდგომი რესურსის გაზრდისათვის.

ამ თვალსაზრისით შეიძლება ჩაითვალოს, რომ საქართველოს მთიანეთი წარმოადგენს კარგ პოლიგონს, სადაც, როგორც აღვნიშნეთ, გვხვდება მკვეთრად გამოხატული მთიანი ზონა, მცირე კონტურიანი სავარგულები, საძოვრები, ტალღოვანი და კლდიანი ციცაბო რელიეფი და სხვა. სწორედ აღნიშნული მოსაზრებებიდან გამომდინარე, ჩვენს მიერ შერჩეული იქნა ამბროლაურის, ონის, ცაგერის, ადიგენის, ასპინძისა და ახალციხის მთიანი რაიონები ექსპერიმენტების ჩატარების ბაზად სასოფლო

სამეურნეო გუთნების საექსპლუატაციო საიმედოობის მაჩვენებლების გამოკვლევისა და ტექნოლოგიური ღონისძიებების დამუშავებისათვის მათი რესურსის გაზრდისათვის.

4.2. სამთო პირობებში მომუშავე გუთნების საექსპლუატაციო საიმედოობის მაჩვენებლების გამოკვლევა

სტატისტიკური მასალების აღება სამთო პირობებში მომუშავე გუთნების საექსპლუატაციო საიმედოობის მაჩვენებლების შესახებ ხდებოდა ამბროლაურის, ონის, ცაგერის ახალციხის, ადიგენის, ასპინძის რაიონებში წინასწარ შედგენილი ჟურნალების მიხედვით. აღირიცხებოდა ნამუშევარი მტუნებაზე, მტყუნების სახე და სირთულის ჯგუფი, მოცდენის დრო, რესურსი მტყუნებამდე და სხვა. მიღებული სტატისტიკური შედეგების დამუშავება ხდებოდა მესამე თავში წარმოდგენილი მ. შორის, ბ. გენდენკოს, ვ. ანილოვიჩისა და ჯ. კაციტაძის მიერ დამუშავებული მეთოდის მიხედვით ალბათურ-სტატისტიკური მოდელირების გამოყენებით [9, 34, 41]. ჩვენს გამოკვლევებში ძირითადად გამოვიყენეთ ჯ. კაციტაძის მეთოდიკა, რომელიც ითვალისწინებს სამთო პირობების გავლენას მანქანების საიმედოობაზე და სტრუქტურულ-ლოგიკური სქემების (სლს) შედგენას [9]. ამისათვის საწყის ეტაპზე შევადგინეთ გუთნის სტრუქტურულ-ლოგიკური სქემა, რომელიც ითვალისწინებს დარეზერვებას დამატებითი კორპუსების გამოყენებით მათი საიმედოობის გაზრდისათვის. სლს წარმოდგენილია ნახ 4.1-ზე



ნახ. 4.1 სასოფლო სამეურნეო გუთნის სლს საიმედოობის გაანგარიშებისათვის

ამ სქემის მიხედვით საიმედოობის გაანგარიშება ხდება ფორმულით:

$$P(t) = K \cdot P_1(t)P_2(t) .$$

სადაც:

$P(t)$ -გუთნის უმტყუნო მუშაობის ალბათობაა (უმა)

$P_1(t)$ -უმა უეცარი მტყუნების დროს

$P_2(t)$ -უმა თანდათანობითი მტყუნების დროს

K -სამთო პირობების მაკორექტირებელი კოეფიციენტი

$$\text{ხოლო ზოგადად } P(t) = K \cdot \frac{e^{-\lambda t}}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} e^{-\frac{(t-T)^2}{2\sigma^2}} dt.$$

სადაც:

$P(t)$ -გუთნის უმტყუნო მუშაობის ალბათობაა (უმა)

t - მუშაობის დრო, სთ.

\bar{T} - უმტყუნო მუშაობის დრო, სთ

σ -საშუალო კვადრატული გადახრა, სთ²

დაკვირვების ჟურნალების მიხედვით შეგროვებული სტატისტიკური მასალის გამოყენებით განვსაზღვრეთ ჯერ მტყუნებათა სტატისტიკური, ხოლო შემდეგ კი-ვარიაციული რიგი, ინტერვალთა რიცხვი და მათი სიგანე. მათემატიკური დამუშავების შედეგები მოცემულია ცხრილ 4.1-ში.

ცხ.4.1 გუთნების მტყუნებების სტატისტიკური მაჩვენებლები

მტყუნებაზე ნამუშევრის ინტერვალი a...b მ/სთ	ინტერვალის საშუალო x_i	ემპირიული სიხშირე m_i	ემპირიული ალბათობა w_i
10...14	12	53	0,33
14...18	16	33	0,21
18...22	20	23	0,14
22...26	24	20	0,13
26...30	28	13	0,08
30...34	32	10	0,06
34...38	36	5	0,03
38...42	40	3	0,02

მიღებული სტატისტიკური მასალის მათემატიკური დამუშავების შედეგად დავადგინეთ გუთნების საიმედოობის მაჩვენებლები:

- მტყუნებათა საშუალო არითმეტიკული

$$\bar{H} = \sum_{i=1}^k w_i h_i = 19,3 \text{ ჰა}$$

- დისპერსია

$$D = \sum_{i=1}^k (H_i - \bar{H})^2 w_i = 55,5 \text{ ჰა}^2$$

- საშუალო კვადრატული გადახრა

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{55,4816} = 7,45 \text{ ჰა}$$

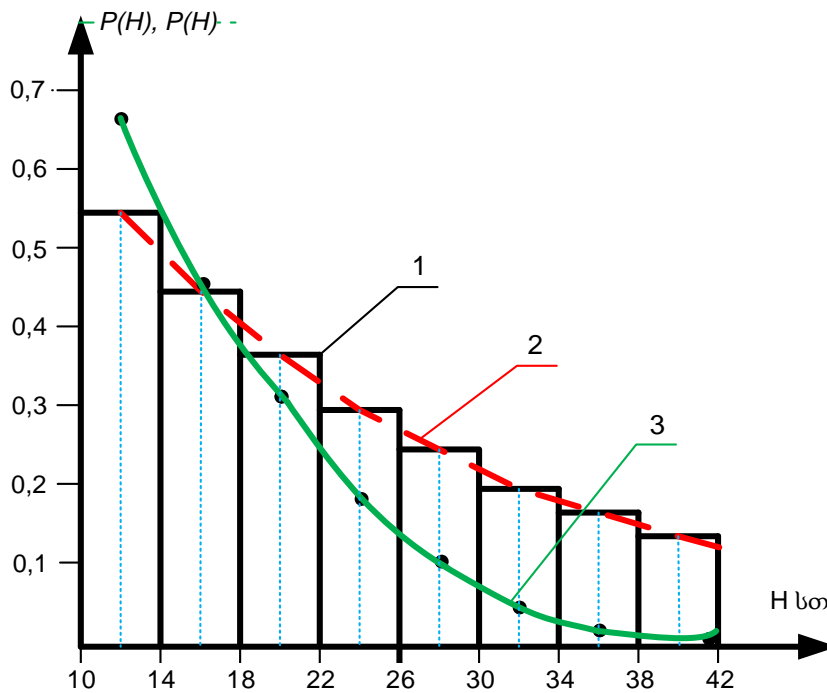
- ვარიაციის კოეფიციენტი

$$V = \frac{\sigma}{\bar{H}} = \frac{7,45}{19,28} = 0,39$$

- მტყუნებათა ინტენსივობა

$$\lambda = \frac{1}{\bar{H}} = \frac{1}{19,28} = 0,05 \text{ ჰა}^{-1}$$

ქვემოთ წამოდგენილია ექსპერიმენტებით მიღებული გუთნების უმტყუნო მუშაობის ალბათობათა გრაფიკები (ნახ. 4.2):



ნახ. 4.2 გუთნის უმტყუნო მუშაობის ალბათობანი.
1- ჰისტოგრამა, 2- ემპირიული მრუდი, 3- თეორიული მრუდი.

მტყუნებათა სახეები პროცენტულად განაწილდა შემდეგნაირად:

- კონსტრუქციული მტყუნებები -18%;
- საწარმო -37%;
- საექსპლუატაციო -45%.

მონაცემები აღებულია ჩვენს მირ წარმოებული ჟურნალებიდან

მიღებული კვლების შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სამთო პირობები მკვეთრ უარყოფით გავლენას ახდენს სასოფლო სამეურნეო გუთნების საექსპლუატაციო საიმედოობაზე და თუ შევადარებთ ჯ. კაციტაძის მონაცემებს, რომლებიც მიღებულია ტექნიკის ვაკე პირობებში მუშაობისას [11], სამთო პირობებში საიმედოობი მაჩვენებლები მცირდება 30-40%-ით. ასე, მაგალითად, როდესაც გუთნების ნამუშევარი $H=22$ სთ, მაშინ საიმედოობის ყველაზე უფრო მნიშვნელოვანი მაჩვენებელი-უმტყუნო მუშაობის ალბათობა ჯ. კაციტაძის მიხედვით შეადგენს $P(H)=0,7$, ხოლო ჩვენს შემთხვევაში (იხ. ნახ.4.2) $P(H)=0,25$.

ასევე საინტერესოა მტყუნებათა სახეების ანალიზი. ყველაზე მეტი წილი მათ შორის-45% მოდის საექსპლუატაციო მტყუნებაზე, რაც, ჩვენი ვარაუდით, გამოწვეულია იმით, რომ მექანიზატორები არ ასრულებენ და არღვევენ გუთნების ექსპლუატაციისა და მომსახურების ტექნიკურ პირობებს არ აწარმოებენ დროულ რეგულირებებსა და პერიოდულ ტექნიკურ მომსახურობებს, იყენებენ არაკონდიციურ შემზეთ მასალებს, ზოგჯერ კი არ იცავენ უსაფრთხოების მოთხოვნებს.

4.3. გუთნების ძირითადი დეტალების ცვეთის კანონზომიერებანი და მათი მოდალური ცვეთის განსაზღვრა აღდგენის რაციონალური ხერხის დასაბუთებისათვის

როგორც აღვნიშნეთ, სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოვლა-მოყვანისათვის საჭირო ოპერაციებს შორის ნიადაგის ხვნი ყველაზე უფრო მნიშვნელოვანი და შრომატევადია, რომელიც სრულდება გუთნებით. გუთნების ყველაზე უფრო ცვეთად დეტალია სახნისი, რომლის დაბალი მედეგობა და ინტენსიური ცვეთა იწვევს მათ მნიშვნელოვან ხარჯს, მოცდენებს და ხვნის აგროტექნიკური ვადების დარღვევას.

ჩვენს მიერ წინასწარ შედგენილი მეთოდის მიხედვით სწარმოებდა დაკვირვებები საქართველოს მთიან პირობებში მომუშავე გუთნების სახნისების ცვეთის კანონზომიერებათა დადგენისათვის.

დადგენილი იქნა, რომ გუთნის მუშაობის პროცესში სახნისებს ყველაზე მეტად უცვდებათ წინა მხარე,წვერი და მჭრელი პირი. მძიმე და საშუალო ნიადაგებში მუშაობისას ყველაზე მეტად იცვითებოდა ზოლურა, ხოლო წინა მხარე-ნაკლებად. ზღვრულმა ცვეთამ მძიმე ნიადაგებისათვის შეადგინა 4...5 მმ, ხოლო საშუალო ნიადაგებისათვის კი 8...9 მმ.

ამის შემდეგ მოვახდინეთ სახნისების ცვეთის შესახებ შეგროვილი მასალის ალბათურ-სტატისტიკური მოდელირება მომენტების მეთოდით.

ქვემოთ მოცემულია გაზომვის შედეგად მიღებული გუთნის სახნისის ცვეთის ვარიაციული რიგი (ცხრ. 4.2)

ცხრილი 4.2 გუთნის სახნისის ცვეთის სტატისტიკური რიგი

10, 10, 13, 13, 11, 26, 11, 12, 16, 16, 12, 13, 13, 14, 14, 18, 18, 14, 14, 25, 25, 14, 15, 15, 15, 26, 15, 15, 15, 20, 20, 15, 15, 15, 24, 24, 15, 15, 15, 16, 16, 16, 21, 21, 16, 16, 19, 19, 16, 16, 16, 16, 17, 20, 20, 17, 17, 22, 22, 17, 17, 19, 19, 17, 17, 23, 23, 17, 17, 17, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 19, 19, 19, 19, 20, 20, 20, 20, 21, 21, 21, 21, 22, 22, 22, 22, 23, 23, 23, 24, 24, 26.

ცხრილი 4.3 გუთნის სახნისის ცვეთის ვარიაციული რიგი

10, 10, 11, 11, 12, 12, 13, 13, 13, 13, 14, 14, 14, 14, 14, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 17, 17, 17, 17, 17, 17, 17, 17, 17, 17, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 19, 19, 19, 19, 19, 19, 19, 19, 20, 20, 20, 20, 20, 20, 20, 20, 21, 21, 21, 21, 21, 21, 21, 21, 22, 22, 22, 22, 22, 22, 23, 23, 23, 23, 23, 24, 24, 24, 24, 25, 25, 26, 26, 26.

განვსაზღვროთ ცვეთის ინტერვალთა რიცხვი ფორმულით.

$$K = 1 + 3,2 \lg N$$

სადაც N არის გაზომვათა რიცხვი და ტოლია-100 ის. ჩასმით მივიღებთ.

$$K = 1 + 3,2 \cdot 2 = 1 + 6,4 = 7,4 . \text{ ვიღებთ } K = 8$$

ცხრილ 4.4-ში მოცემულია გუთნის სახნისის ცვეთის შესახებ ინფორმაციის დამუშავების შედეგად მიღებული შედეგები.

გუთნის სახნისის სტატისტიკური მაჩვენებლები.

ცხრილი 4.4

ცვეთის ინტერვალი a...b მმ	ემპირიული სიხშირე m_i	ფარდობითი სიხშირე (ემპირიულიალბათობა) w_i
10...12	6	0,06
12...14	9	0,09
14...16	23	0,23
16...18	20	0,2
18...20	16	0,16
20...22	12	0,12
22...24	9	0,09
24...26	5	0,05

ცვეთის ინტერვალი განისაზღვრება ფორმულით.

$$h = \frac{X_{max} - X_{min}}{K}$$

სადაც: X_{max} ცვეთის მაქსიმალურის ტოლია და ჩვენს შემთხვევაში ტოლია $X_{max} = 26$ მმ.

ხოლო X_{min} არის მინიმალური მნიშვნელობა და ტოლია $X_{min} = 10$ მმ.

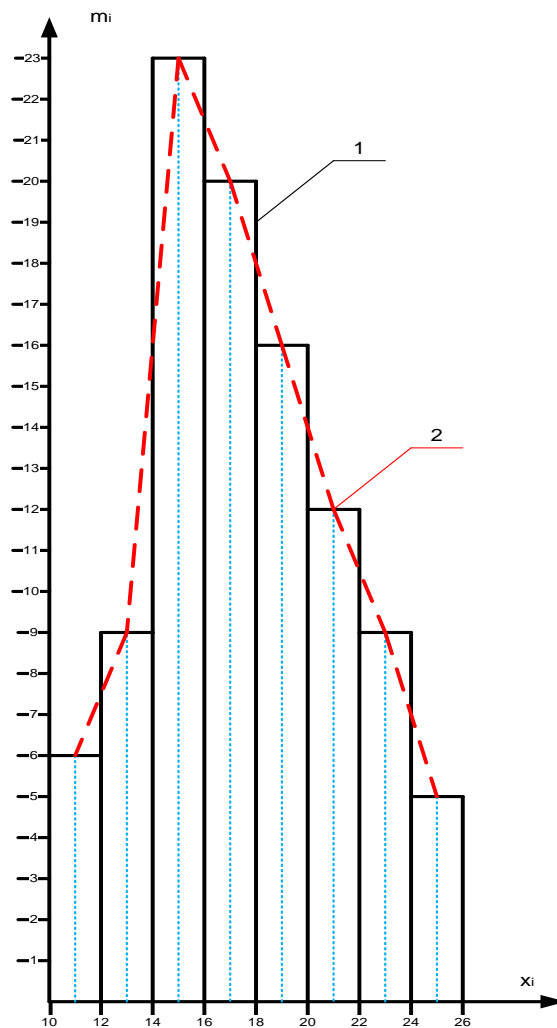
$$h = \frac{26 - 10}{8} = 2$$

ცვეთის ფარდობითი სიხშირის განსაზღვრა ხდება ფორმულით:

$$W_i = \frac{m_i}{N}$$

სადაც m_i არის ცვეთის ემპირიული სიხშირე.

ცხრილი 2.1-ის მიხედვით ავაგეთ გუთნის სახნისის ცვეთის განაწილების ჰისტოგრამა და პოლიგონის ემპირიული მრუდი, რომელიც ნაჩვენებია ნახ.4.3-ზე.



ნახ. 4.3 გუთნის სახნისის ცვეთის განაწილების ჰისტოგრამა (1) და პოლიგონი (2).

იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ გუთნის სახნისის ცვეთის განაწილების თეორიული კანონი საჭიროა დავადგინოთ გენერალური მახასიათებლები, რისთვისაც ვპოულობთ საწყის და ცენტრალურ სტატისტიკურ მომენტებს.

X' - განისაზღვრება ფორმულით.

$$X' = \frac{x_i - x_0}{h}$$

სადაც: x_0 - არის ცვეთის ისეთი მნიშვნელობა, რომელსაც შეესაბამება მაქსიმალური სიხშირე, $x_0 = 15$

საწყისი და ცენტრალური მომენტების განსაზღვრისათვის მონაცემები წარმოდგენილია ცხრილ 4.4-ში.

მონაცემები გუთნის სახნისის საწყისი და ცენტრალური მომენტების განსაზღვრისათვის.

ცხრილი 4.5

ცვეთის ინტერვალი a...b მმ	ინტერვალი საშუალო x_i მმ	x'	m_i	$x' m_i$	$(x^i)^2 m_i$	$(x^i)^3 m_i$	$(x^i)^4 m_i$
10...12	11	-2	6	-12	24	-48	96
12...14	13	-1	9	-9	9	-9	9
14...16	15	0	23	0	0	0	0
16...18	17	1	20	20	20	20	20
18...20	19	2	16	32	64	128	256
20...22	21	3	12	36	108	324	972
22...24	23	4	9	36	144	576	2304
24...26	25	5	5	25	125	625	3125
ჯამი				128	494	1616	6782

ცხრილის მიხედვით ვპოულობთ:

$$v_1 = \frac{\sum_{i=1}^k x^i m}{N} = \frac{128}{100} = 1,28$$

$$v_2 = \frac{\sum_{i=1}^k (x^i)^2 m}{N} = \frac{494}{100} = 4,94$$

$$v_3 = \frac{\sum_{i=1}^k (x^i)^3 m}{N} = \frac{1616}{100} = 16,16$$

$$v_4 = \frac{\sum_{i=1}^k (x^i)^4 m}{N} = \frac{6782}{100} = 67,82$$

$$\mu_2 = v_2 - v_1^2$$

$$\mu_3 = v_3 - 3v_2 v_1 + 2v_1^3$$

$$\mu_4 = v_4 - 4v_3 v_1 + 6v_2 v_1^2 - 3v_1^4$$

$$\mu_2 = 4,94 - 1,28^2 = 4,94 - 1,6384 \approx 3,3$$

$$\mu_3 = 16,16 - 3 \cdot 4,94 \cdot 1,28 + 2(1,28)^3 \approx 0,38$$

$$\mu_4 = 67,82 - 4 \cdot 16,16 \cdot 1,28 + 6 \cdot 4,94 \cdot 1,28^2 - 3 \cdot 1,28^4 \approx 25,58$$

ამის შემდეგ შეგვიძლია განვსაზღვროთ გუთნის სახნისის ცვეთის განაწილების გენერალური მახასიათებლები:

საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა.

$$\bar{x} = x_0 + v_1 \cdot h = 15 + 1,28 \cdot 2 = 17,56 \text{ მმ}$$

საშუალო კვადრატული გადახრა.

$$\sigma = h\sqrt{\mu_2} = 2 \cdot 1,82 = 3,64 \text{ მმ}$$

ვარიაციის კოეფიციენტი.

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{3,64}{17,56} = 0,21$$

მოდალური ცვეთა.

$$M_0 = \bar{x} + 3(M_e - \bar{x}) = 17,56 + 3(19,33 - 17,56) = 22,87 \text{ მმ}$$

სადაც: M_e – გუთნის სახნისის ცვეთის განაწილების მედიანაა და ტოლია.

$$M_e = L + \frac{h \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^k m_i}{2} - S_d \right)}{m_{M_e}} = 18 + \frac{2(50-38)}{18} = 19,33 \text{ მმ}$$

L – ცვეთის ინტერვალის დასაწყისია = 18

S_d - დაგროვილი ფარდობითი სიხშირეა იმ პირობით რომ:

$$S_d \leq \frac{\sum_{i=1}^k m_i}{2} \leq 50 \text{ და } S_d = 38$$

m_{M_e} - მედიანურ ინტერვალში მყოფი სიხშირეა და $m_{M_e} = 18$ მმ

ე. ი. სახნისისმოდალური (ყველაზე უფრო გავრცელებული) ცვეთა შეადგენს
 $M_0 = 22,9$ მმ

რადგანაც გუთნის სახნისის ცვეთის განაწილების ვარიაციის კოეფიციენტი $v = 0,21$ თეორიულ კანონად ვლებულობთ ნორმალურ განაწილებას და ვანგარიშობთ ცვეთის თეორიულ სიხშირეს ფორმულით.

$$m_x = \frac{N \cdot h}{\sigma} \cdot Z_t = \frac{100 \cdot 2}{3,64} \cdot Z_t = 36,2 \cdot Z_t$$

Z_t – არის გუთნის სახნისის ცვეთის ნორმალური განაწილების სიმკვრივე. Z_t ფუნქციის მნიშვნელობა განისაზღვრება ცხრილიდან t - ს მიხედვით ფორმულა.

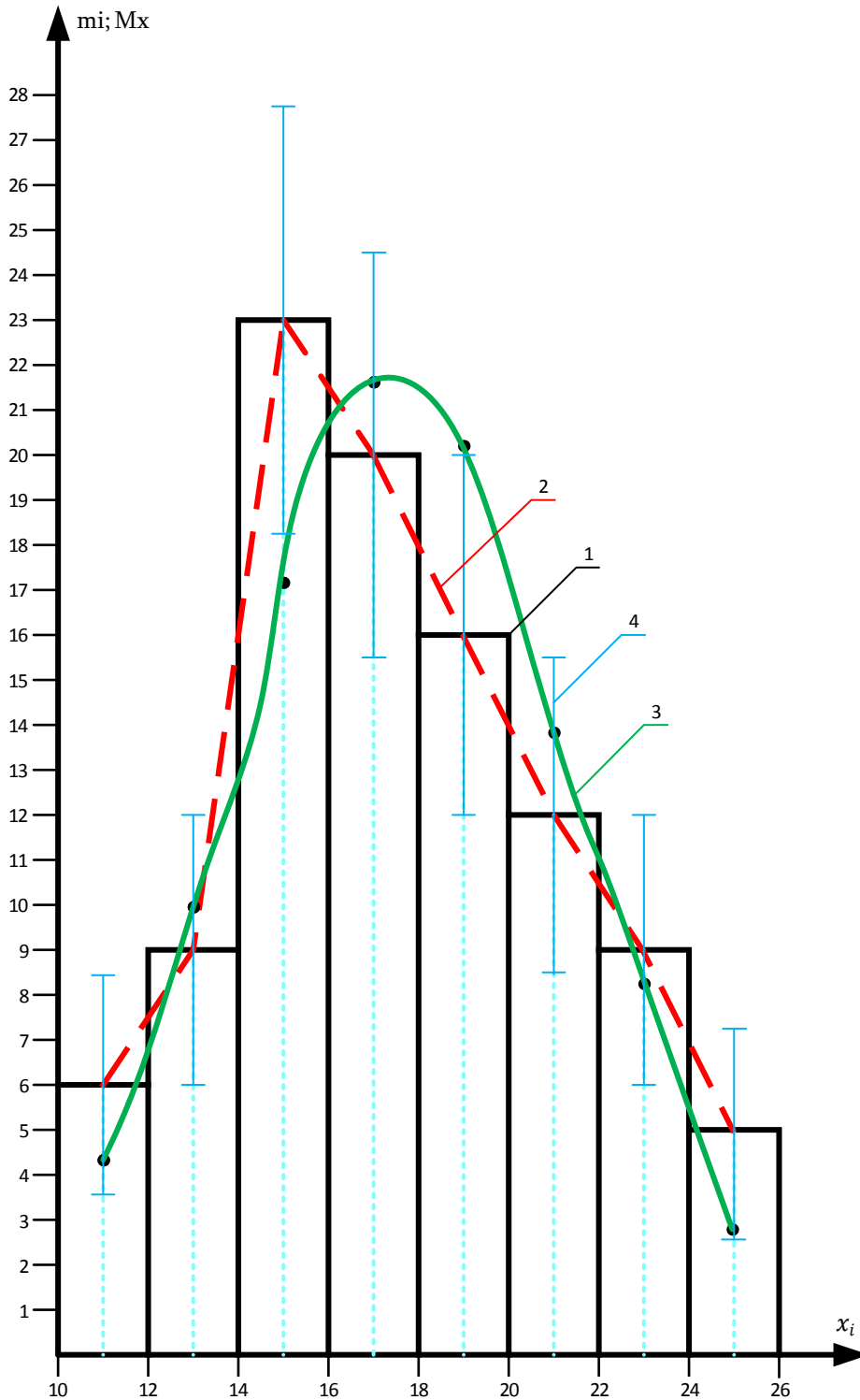
ცხრილში 4.5 -ში მოცემულია გუთნის სახნისის ცვეთის განაწილების თეორიული სიხშირის გაანგარიშებისათვის საჭირო მონაცემები.

მონაცემები გუთნის სახნისის განაწილების თეორიული სიხშირის გაანგარიშებისათვის.

ცხრილი 4.6

ცვთვის ინტერვალი a...b მმ	ინტერვლი საშუალო x_i მმ	$t = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$	Z_t	ემპირიული სიხშირე mi	Mx
10...12	11	-1,8	0,0790	6	4,3410
12...14	13	-1,25	0,1826	9	10,0338
14...16	15	-0,7	0,3123	23	17,1608
16...18	17	-0,15	0,3945	20	21,6777
18...20	19	0,4	0,3683	16	20,2344
20...22	21	0,95	0,2541	12	13,9627
22...24	23	1,49	0,1515	9	8,3249
24...26	25	2,04	0,054	5	2,9673

ამის შემდეგ ვახდენთ გუთნის სახნისის ცვთვის განაწილების ემპირიული და თეორიული მრუდების აგებას დიაგრამის სახით-ნახ. 4. 4



ნახ.4. 4 გუთნის სახნისის ცვეთის განაწილების: 1-ჰისტოგრამა, 2-ემპირიული მრუდი, 3-თეორიული მრუდი და 4-დაშვების დიაპაზონი.

როგორც ნახაზიდან ჩანს ემპირიული და თეორიული შედეგები საკმაოდ ახლოს იმყოფებიან ერთმანეთთან, მაგრამ იმისათვის, რომ უფრო ზუსტად დავადგინოთ გუთნის სახნისის ცვეთის განაწილების ნორმალური კანონი ადეკვატურად ასახავს თუ არა ჩვენს მიერ ცდით მიღებულ შედეგებს, ამისათვის ვსარგებლობთ კოლმოგოროვის კრიტერიუმით [4] და ვადგენთ ცხრილს 4.6.-ს.

მონაცემები კოლმოგოროვის კრიტერიუმის გაანგარიშებისათვის.

ცხრილი 4.7

ცვთვის ინტერვალი a...b მმ	ინტერვალი საშუალო x_i მმ	t $= \frac{x_{\Phi} - \bar{x}}{\sigma}$	$\Phi(t)$	$\frac{1}{2}\Phi(t)$	W_i	W_{Φ}	$F(x)$	$F(x)-W_{\Phi}$
10...12	11	-1,53	-0,874	-0,437	0,06	0,06	0,063	0,003
12...14	13	-0,98	-	-	0,09	0,15	0,1635	0,0135
14...16	15	-0,43	-	-	0,23	0,38	0,3335	0,0465
16...18	17	0,12	0,0955	0,048	0,2	0,58	0,548	0,032
18...20	19	0,67	0,4971	0,2485	0,16	0,74	0,7485	0,0085
20...22	21	1,22	0,7775	0,389	0,12	0,86	0,889	0,029
22...24	23	1,77	0,9233	0,4615	0,09	0,95	0,9615	0,0115
24...26	25	2,32	0,9797	0,49	0,05	1	0,99	0,01

ინტეგრალურ ფუნქციას ვანგარიშობთ ფორმულით:

$$F(x) = 0,5 + 0,5\Phi(t)$$

$\Phi(t)$ არის ლაპლასის ინტეგრირებული ფუნქცია და განისაზღვრება ცხრილებიდან t -ს მიხედვით.

$$t = \frac{x_{\Phi} - \bar{x}}{\sigma}$$

სადაც x_{Φ} - არის გუთნის სახნისის ცვთვის ინტერვალის ზედა მნიშვნელობა.

ემპირიული და თეორიული შედეგების დამთხვევის ალბათობის გაანგარიშებისათვის კოლმოგოროვის კრიტერიუმის მიხედვით განვსაზღვროთ λ პარამეტრს ფორმულით.

$$\lambda = D_{max} \cdot \sqrt{N} = |F(x) - W_{\Phi}|_{max} \cdot \sqrt{N} = |0,0465| \cdot 10 \approx 0,47$$

λ -ს მიხედვით ცხრილიდან ვპოულობთ ემპირიული და თეორიული შედეგების დამთხვევის ალბათობას:

$$P(\lambda) = 0,98$$

რადგანაც მიღებული ალბათობა ახლოს არის 1-თან, ეს იმას ნიშნავს, რომ ჩვენს მიერ მიღებული სახნისის ცვთვის ალბათურ-სტატისტიკური მოდელი ადეკვატურია.

როგორც ჩატარებული კვლევების ანალიზი გვიჩვენებს სამთო პირობებში მუშაობისას გუთნების სახნისები ინტენსიურად ცვდებიან და ვაკე პირობებთან შედარებით მათი ცვეთამედეგობა მცირდება 25...30 %-ით. ასევე მეტად მნიშვნელოვანია

ჩვენს მიერ მიღებული სახნისების ცვეთის მოდალური ანუ ყველაზე უფრო გავრცელებული მნიშვნელობის სიდიდე $M_0 = 22,9\text{მმ}$, რაც საშუალებას გვაძლევს გავაკეთოთ დასკვნა იმის შესახებ, რომ მათი აღდგენის ყველაზე უფრო რაციონალურ ხერხად შეიძლება ჩაითვალოს მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღება.

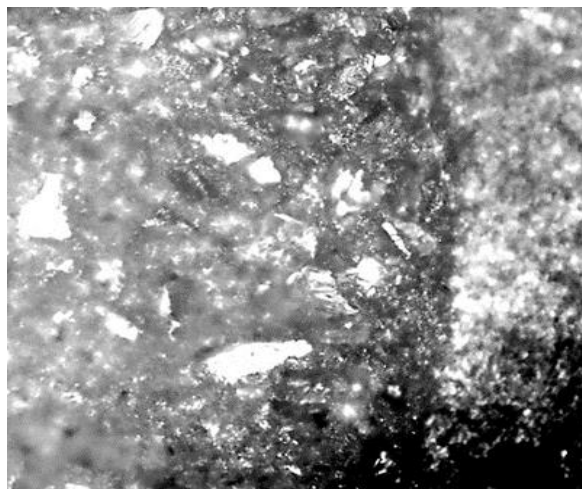
4.4 მდნობის ქვეშ დადუღებული ლითონური საფარის მიკროსტრუქტურის გამოკვლევა

მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით მიღებული ლითონური საფარის სისქისა დაგარდამავალი ზონის გამოკვლევისათვის ვაწარმოებდით მეტალოგრაფიულ ანალიზს. გამოკვლევებს ვაწარმოებდით МИМ-8 ტიპის მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის გამოყენებით. ცდები სწარმოებდა სსიპ-ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტის სპეციალისტთა ჯგუფის დახმარებით ჩვენს მიერ მოპოვებული სადოქტორო საგრანტო პროექტის ფინანსური ანაზღაურებით, რომელიც შოთა რუსთაველის ეროვნულმა სამეცნიერო ფონდმა დააფინანსა (სსიპ-ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტის სპეციალისტთა ჯგუფის მიერ შესრულებული კვლევის შედეგების ოქმი მოცემულია დისერტაციის დანართში)

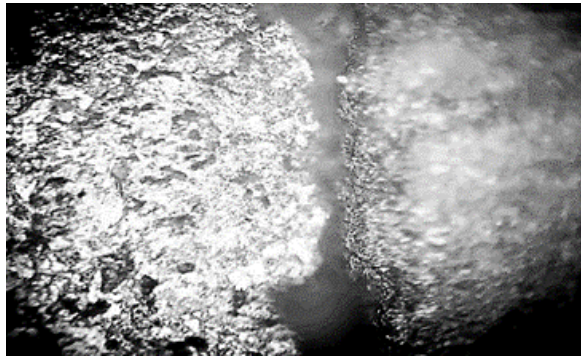
ლითონური საფარის სტრუქტურის გამოვლენისათვის ხდებოდა საცდელი ნიმუშების მოწამვლა 3 და 5%-იან აზოტმჟავის სპირიტთან ხსნარში.

მეტალოგრაფიულ გამოკვლევებს ვაწარმოებდით Y8 და 65F ფოლადებისაგან დამზადებული ნიმუშებით განივ ზედაპირებზე, რადგანაც აღნიშნული მარკის ფოლადისაგან არის დამზადებული სასოფლო სამეურნეო გუთნების სახნისები.

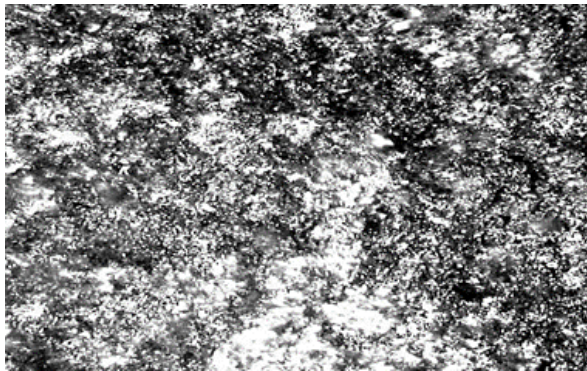
ჩატარებულმა კვლევებმა გვიჩვენეს, რომ სხვადასხვა შემადგენლობის ფლუსებისა და დამდუღებელი საელექტროდე მასალის მიხედვით მიიღებოდა აუსტენიტური და პერლიტური სტრუქტურის ლითონური საფარი და როგორც ნაჩვენებია ნახ. 4.5; 4.6; 4.7 და 4.7.-ზე გარდამავალი ზონა შედგება ღია ხაზებისაგან. ეს აიხსნება იმით, რომ მდნობის ქვეშ დადუღებისას დეტალების ზედაპირზე წარმოიქმნება განმტკიცებული ფენა, რომლის ზედა ნაწილს ეწოდება “თეთრი ფენა”.



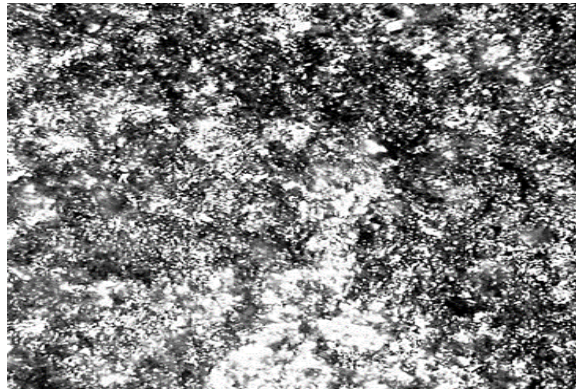
სურ. 4.1. Y8 მარკის ფოლადის ახალი შემადგენლობის ფლუსით დადუღებული ლითონური ფენის სტრუქტურა (X1000).



სურ. 4.2. Y8 მარკის ფოლადის ახალი შემადგენლობის ფლუსითა და ფხვნილგულა საელექტროდე მასალისგამოყენებით დადუღებული ლითონური ფენის სტრუქტურა (X1000).



სურ. 4.3. 65F მარკის ფოლადის ახალი შემადგენლობის ფლუსით დადუღებული ლითონური ფენის სტრუქტურა (X1000).

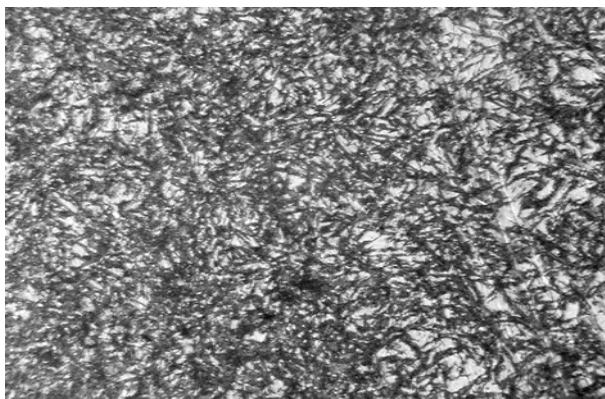


სურ. 4.4. 65F მარკის ფოლადის ახალი შემადგენლობის ფლუსითა და ფხვნილგულა საელექტროდე მასალისგამოყენებით დადუღებული ლითონური ფენის სტრუქტურა (X1000).

აღნიშნული ფენების წარმოქმნა ხდება მაღალი წნევებისა და ტემპერატურების ლოკალური ზემოქმედების პირობებში, რაც იწვევს არაწონასწორადი სტრუქტურების მიღებას მცირე მარცვლით, შემადგენლობის მაღალი კოგერენტულობით. აღნიშნული ფენა შედგება არანემსისებური მარტენსიტისაგან, რომელიც წარმოადგენს განსაკუთრებულ პირობებში წრთობის შედეგს. გარდა ამისა იგი წარმოადგენს

სტრუქტურას, რომელიც დიფუზიის გამო გაჯერებულია წყალბადითა და აზოტით, ამასთან შესაძლებელია როგორც ქიმიური ნაერთების, ასევე მყარი ნახშირბადის შენადნობების წარმოშობა. დიდი ალბათობით ვვარაუდობთ, რომ, რადგანაც მდნობის ქვეშ დადუღებისას გაცხელება ხდება სწრაფად, ხოლო ლითონური საფარის გაცივების სიჩქარე კი იმყოფება 150...200 გრადუსი წამში ფარგლებში, გარკვეული დოზით ხდება წრთობა და აღდგენილი ფენა ხასიათდება მაღალი სისხალით და ცვეთამედეგობით.

ლაბორატორიულმა გამოკვლევებმა გვიჩვენეს, რომ დაფარული ფენის სისქე იცვლება 15...25 მმ საზღვრებში, ამასთან ლითონური საფარის მიკროსისხალე საკმაოდ მაღალია და შეადგენს 10000-15000 მპა-ს (სურ. 4.5)



სურ.4.5 ოპტიმალური რეჟიმებით აღდგენილი ლითონური საფარის მიკროსტრუქტურა (X1000)

უკანასკნელი სტრუქტურა მიიღება ჩვენს მიერ დამუშავებული ახალი შემადგენლობის ფლუსების, საელექტროდე მასალებისა და ოპტიმალური რეჟიმების გამოყენებით და როგორც საესპლუატაციო გამოცდებმა გვიჩვენეს, აღდგენილი დეტალების რესურსი იზრდება 60...70 %-ით.

4.5. მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით აღდგენილი ლითონური საფარის სისხლის გამოკვლევა მსგავსობითობისა და განზომილებათა თეორიის გამოყენებით

როგორც ჩვენს მიერ აღნიშნული იქნა ნაშრომის მეორე თავში, ჩვენ შევეცადეთ გამოგვეყენებინა მსგავსობითობისა და განზომილებათა თეორია ლეგირებული ლითონური საფარის სისხლის გამოკვლევისათვის მისი მაქსიმალური მნიშვნელობის მიღების მიზნით.

ამ თეორიის მნიშვნელოვანი დადებითია ის, რომ შესაძლებელია შესწავლილი იქნას ოპტიმიზაციის პარამეტრზე (ჩვენს შემთხვევაში სისხალეზე) რამდენიმე ფაქტორის ერთდროული ზემოქმედება, ამისათვის პირველ რიგში არსებული გამოკვლევების საფუძველზე [4, 37, 42] გავაანალიზეთ თუ რა ფაქტორები ახდენენ არსებით გავლენას ლეგირებული ფენის სისხალეზე. ანალიზის შედეგები მოცემულია ცხ. 4.7-ზე.

ფაქტორების ჩამონათვალი, რომლებიც მოქმედებენ მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით მიღებულ ლითონური საფარის სისაღეზე.

ცხრილი 4.8

№	ოპტიმიზაციის პარამეტრის და ფაქტორები	აღნიშვნა	განზომილება Si სისტემაში	სიდიდეების სიმბოლოებით გამოსახული განზომილება
1	ლითონური საფარის სისაღე	H_{μ}	მპა	$ML^{-1}T^{-2}$
2	დეტალის ზომა	L	მ	L
3	დენის ძალა	J	ა	J
4	ძაბვა	v	ვ	$ML^2 T^{-3} J^{-1}$
5	ელექტროდის მიწოდების სიჩქარე	V	მ.წმ ⁻¹	LT^{-1}
6	ელექტროდის ელექტრული წინაღობა	R	ომი	$MLN^{-3}J^{-1}$
7	დადუღების სიჩქარე	V_1	მ.წმ ⁻¹	LT^{-1}
8	ელექტროდის სიმკვრივე	ρ	კგ.მ ⁻³	ML^{-3}
9	მდნობის სიმკვრივე	ρ_1	კგ.მ ⁻³	ML^{-3}
10	ელექტროდის გამოტყორცნა	e	მ	L
11	მდნობის ხარჯი	Q	კგ.წმ ⁻¹	MT^{-1}

ოპტიმიზაციის პარამეტრსა და მასზე მოქმედ ფაქტორებს შორის ფუნქციურ კავშირს აქვს სახე:

$$H_{\mu} = f(L, J, v, V, V_1, R, \rho, \rho_1, e, Q) \dots (1)$$

ეს დამოკიდებულება შეგვიძლია გამოვსახოთ მსგავსობითობის კრიტერიუმების სახით. მათ მისაღებად ვიყენებთ π – თეორემას:

$$r = N - n$$

r - კრიტერიუმების რიცხვია, N -ფაქტორების რიცხვი, n -ძირითადი ფაქტორების რიცხვი. ძირითად ფაქტორებად ვირჩევთ J, Q, L და V . მათი განზომილებანია:

$$\begin{aligned} [Q] &= L^0 M T^{-3} J^0 \\ [L] &= L M^0 T^0 J^0 \\ [V] &= L M^0 T^{-1} J^0 \\ [J] &= L^0 M^0 T^0 J \end{aligned}$$

მათი ხარისხის მაჩვენებლების დეტერმინანტი არ უნდა იყოს ნული ტოლი

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0 & 1 & -3 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = -1 \neq 0$$

$$r = N - n = 11 - 4 = 7$$

მსგავსობითობი კრიტერიუმები ტოლია:

$$\pi = H_\mu J^\alpha Q^\beta L^\gamma V^\delta = 1$$

$$\pi_1 = v J^{a_1} Q^{\beta_1} L^{\gamma_1} V^{\delta_1} = 1$$

$$\pi_2 = V_1 J^{a_2} Q^{\beta_2} L^{\gamma_2} V^{\delta_2} = 1$$

$$\pi_3 = R J^{a_3} Q^{\beta_3} L^{\gamma_3} V^{\delta_3} = 1$$

$$\pi_4 = \rho J^{a_4} Q^{\beta_4} L^{\gamma_4} V^{\delta_4} = 1$$

$$\pi_5 = e J^{a_5} Q^{\beta_5} L^{\gamma_5} V^{\delta_5} = 1$$

$$\pi_6 = \rho_1 J^{a_6} Q^{\beta_6} L^{\gamma_6} V^{\delta_6} = 1$$

$$H_\mu J^\alpha Q^\beta L^\gamma V^\delta = M L^{-1} T^{-2} J^\alpha M^\beta T^{-\beta} L^\gamma L^\delta T^{-\delta} = M^0 L^0 T^0 J^0 =$$

ვღებულობთ წრწივ განტოლებებს:

$$\begin{aligned} 1 + \beta &= 0 \\ -1 + \gamma + \delta &= 0 \\ -2 - \beta - \delta &= 0 \\ \alpha &= 0 \end{aligned}$$

მათი ამოხსნის შედეგად ვღებულობთ: $\alpha = 0$; $\beta = -1$; $\delta = -1$; $\gamma = 2$

მაშასადამე განსასაზღვრი მსგავსობითობის კრიტერიუმი ტოლია:

$$\pi = \frac{H_\mu L^2}{QV}$$

ანალოგიურად ვღებულობთ სხვა განმსაზღვრელ კრიტერიუმებს:

$$\pi_1 = \frac{vJ}{QV^2}; \quad \pi_2 = \frac{V_1}{V}; \quad \pi_3 = \frac{RJ^2}{QV};$$

$$\pi_4 = \frac{\rho L^2 V}{Q}; \quad \pi_5 = \frac{e}{L}; \quad \pi_6 = \frac{\rho}{\rho_1}$$

მიღებული მსგავსობის კრიტერიუმების ფიზიკური შინაარსი შემდეგია:

$\frac{H_{\mu}L^2}{QV}$ - ხარისხის კრიტერიუმი-მდნობის ქვეშ დადულებით მიღებული ლითონური საფარის უგანზომილებო სიდიდე. ეს არის განსასაზღვრე მსგავსობის კრიტერიუმი, რომელიც უნდა იქნეს გამოსახული განმსაზღვრელი მსგავსობის კრიტერიუმებით. ის წარმოადგენს ოპტიმიზაციის პარამეტრს გაცვეთილი დეტალების აღდგენის ინოვაციური რესურსდამზოგი ტექნოლოგიის დამუშავებისათვის. სხვები კი წარმოადგენენ ტექნოლოგიურ კრიტერიუმებს;

$\frac{vJ}{QV^2}$ - განმსაზღვრელი კრიტერიუმი, რომელიც ითვალისწინებს დენის ძალის გავლენას ლითონური საფარის სისალეზე მდნობის ქვეშ დადულების დროს;

$\frac{V_1}{V}$ - დადულების სიჩქარის გამთვალისწინებელი კრიტერიუმი;

$\frac{RJ^2}{QV}$ - კრიტერიუმი, რომელიც ითვალისწინებს დენის წინააღობის გავლენას ;

$\frac{\rho L^2 V}{Q}$ - კრიტერიუმი, რომელიც ითვალისწინებს აღსადგენი დეტალის ზომას;

$\frac{e}{L}$ - კრიტერიუმი, რომელიც ითვალისწინებს დასადულებელი ელექტროდის გამოტყორცნას;

$\frac{\rho_1}{\rho}$ - კრიტერიუმი, რომელიც ითვალისწინებს ფლუსის სიმკვრივის გავლენას დადულების ხარისხზე.

კრიტერიარული განტოლების ზოგად სახეს აქვს შემდეგი მათემატიკური გამოსახულება:

$$\pi = \varphi(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6) \dots (2)$$

$$\text{ანუ } \frac{H_{\mu}L^2}{QV} = \varphi\left(\frac{vJ}{QV^2}, \frac{V_1}{V}, \frac{RJ^2}{QV}, \frac{\rho L^2 V}{Q}, \frac{e}{L}, \frac{\rho}{\rho_1}\right) \dots (3)$$

მიღებული კრიტერიალური განტოლება წარმოადგენს საფუძველს მიზანმიმართული ექსპერიმენტების დაგეგმვისა და დადულების პროცესის ოპტიმიზაციისათვის, რომლის მიხედვითაც დაგეგმეთ ცდები. ფუნქციური დამოკიდებულებებს მსგავსების კრიტერიუმებს შორის აქვს სახე

$$\frac{H_{\mu}L^2}{QV} = c\left(\frac{vJ}{QV^2}\right)^{x_1};$$

$$\frac{H_{\mu}L^2}{QV} = c_1\left(\frac{V_1}{V}\right)^{x_1};$$

$$\frac{H_{\mu}L^2}{QV} = c_2\left(\frac{RJ^2}{QV}\right)^{x_2};$$

$$\frac{H_{\mu}L^2}{QV} = c_3\left(\frac{\rho L^2 V}{Q}\right)^{x_3};$$

$$\frac{H_{\mu}L^2}{QV} = c_4 \left(\frac{e}{L}\right)^{x_4};$$

$$\frac{H_{\mu}L^2}{QV} = c_5 \left(\frac{\rho}{\rho_1}\right)^{x_5}.$$

მიღებული გამოსახულებების გალოგარიტმებისა და შეკრების შემდეგ მივიღებთ:

$$6 \lg \frac{H_{\mu}L^2}{QV} = \lg c + \lg c_1 + \lg c_2 + \lg c_3 + \lg c_4 + \lg c_5 + x \lg \frac{vJ}{qv^2} + x_1 \lg \frac{v_1}{v} + x_2 \lg \frac{RJ^2}{Qv} \\ + x_3 \lg \frac{\rho L^2 V}{Q} + x_4 \lg \frac{e}{L} + x_5 \lg \frac{\rho}{\rho_1}$$

ვახდენთ უკანასკნელი გამოსახულების პოტენცირებას და ვღებულობთ;

$$\frac{H_{\mu}L^2}{QV} = A \left(\frac{vJ}{QV^2}\right)^a \left(\frac{V_1}{V}\right)^b \left(\frac{RJ^2}{QV}\right)^c \left(\frac{\rho L^2 V}{Q}\right)^d \left(\frac{e}{L}\right)^e \left(\frac{\rho}{\rho_1}\right)^f \dots (5)$$

სადაც $A = \sqrt[6]{c \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot c_4 \cdot c_5}$;

$$a = \frac{x}{6}; \quad b = \frac{x_1}{6};$$

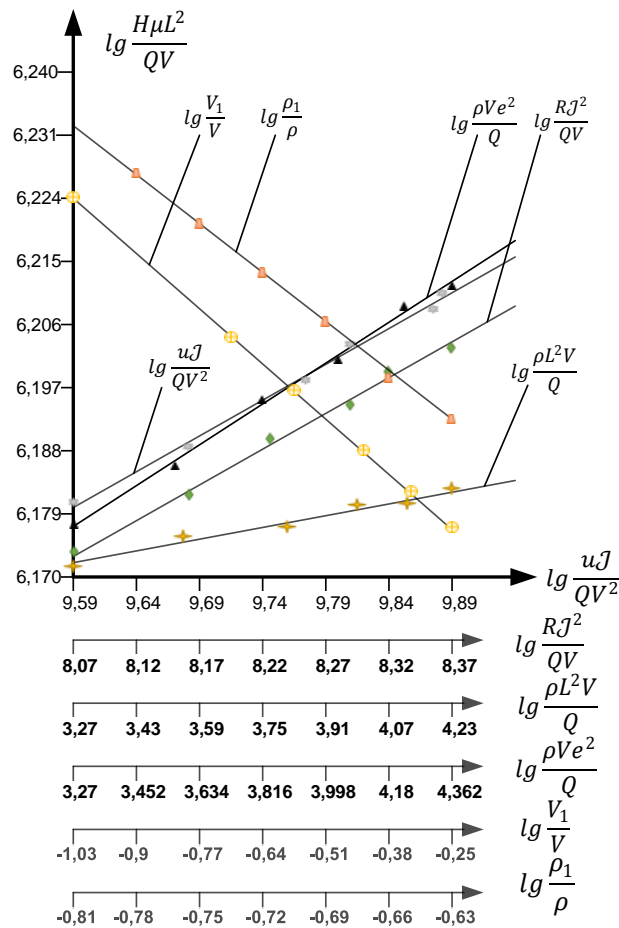
$$c = \frac{x_2}{6}; \quad d = \frac{x_3}{6};$$

$$e = \frac{x_4}{6}; \quad f = \frac{x_5}{6};$$

მუდმივი კოეფიციენტები $c, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5$ და ხარისხის მაჩვენებლები $x, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$ ახასიათებენ ცალკეული ფაქტორების ერთდროულ გავლენას ლითონური საფარის სისაღეზე.

აღნიშნული სიდიდეების განსაზღვრისა და კრიტერიალური განტოლების ანალიზური სახის მიღებისათვის ჩატარებული იქნა მიზანმიმართული ექსპერიმენტები ჩვენს მიერ მოდიფიცირებულ მანქანების გაცვეთილი დეტალების აღდგენისათვის საჭირო დანადგარზე ცვალებადი რეჟიმებით.

ლითონური საფარის მიკროსისალის გაზომვა ხდებოდა ПМПМТТ_3 ხელსაწყოს გამოყენებით, მიღებული შედეგების დამუშავება ხდებოდა უმცირეს კვადრატთა მეთოდით. ცხრილებში:.....-ზე წარმოდგენილია ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტული სამუშაოების შედეგები (იხილეთ დანართი 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15) მიღებული შედეგების გრაფიკული ინტერპრეტაცია წარმოდგენილია ნახ.4.5-ზე.



ნახაზი 4.5. ექსპერიმენტული დამოკიდებულებანი

$lg \frac{H\mu L^2}{QV}$ – სა და $lg \frac{vJ}{qv^2}$, $lg \frac{v_1}{v}$, $lg \frac{Rj^2}{Qv}$, $\frac{\rho L^2 V}{Q}$, $lg \frac{e}{L}$, $lg \frac{\rho}{\rho_1}$ შორის

მიღებული შედეგების მათემატიკური დამუშავების შედეგად მიიღება:

$$A = \sqrt[6]{c \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot c_4 \cdot c_5} = \sqrt[6]{0,15 \cdot 0,16 \cdot 0,79 \cdot 0,13 \cdot 0,15 \cdot 0,16 \cdot 10^{60}} = 0,28 \cdot 10^{10}$$

$$a = \frac{x}{6} = \frac{0,7}{6} = 0,12; b = \frac{x_1}{6} = -\frac{0,8}{6} = -0,13; c = \frac{x_2}{6} = \frac{0,58}{6} = 0,1; d = \frac{x_3}{6} = \frac{0,27}{6} = 0,06; e = \frac{x_4}{6} = \frac{0,58}{6} = 0,1; f = \frac{x_5}{6} = -\frac{1,4}{6} = -0,23$$

საბოლოოდ, კრიტერიალური განტოლების ანალიზური სახე ასე შეიძლება იქნეს წარმოდგენილი:

$$\frac{H\mu L^2}{QV} = 0,28 \cdot 10^{10} \left(\frac{vJ}{QV^2}\right)^{0,12} \left(\frac{V_1}{V}\right)^{-0,13} \left(\frac{Rj^2}{QV}\right)^{0,1} \left(\frac{\rho L^2 V}{Q}\right)^{0,06} \left(\frac{e}{L}\right)^{0,1} \left(\frac{\rho}{\rho_1}\right)^{-0,23} \dots (5)$$

განტოლების ადეკვატურობაზე შემოწმებამ აჩვენა, რომ ფარდობითი ცდომილება თეორიულ და ექსპერიმენტულ შედეგებს შორის არ აღემატება 3%-ს.

მიღებული ლითონური საფარის მაქსიმალური მიკროსისალ $H_M = 10500$ მპა მიღებული იქნა მსგავსობითობის კრიტერიუმების შემდეგი მნიშვნელობების დროს:

$$\pi_1 = 1,4 \cdot 10^{11}$$

$$\pi_2 = 0,5 \cdot 10^{-3}$$

$$\pi_3 = 1,17 \cdot 10^{21}$$

$$\pi_4 = 5,9 \cdot 10^{-6}$$

$$\pi_5 = 0,9 \cdot 10^{-4}$$

$$\pi_6 = 2,2 \cdot 10^{-13}$$

აღნიშნული განტოლების ანალიზის საფუძველზე დადგენილ იქნა მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით სახნისების აღდგენის ოპტიმალური რეჟიმები:

- დენის ძალა - $J = 225$ ა,
- დადუღების სიჩქარე - $V_1 = 0,0015 \frac{\theta}{\text{წმ}}$,
- ელექტროდის გამოტყორცნა - $e = 12$ მმ,
- ძაბვა - $v = 25$ ვ,
- ელექტროდის მიწოდების სიჩქარე - $V = 0,03 \frac{\theta}{\text{წმ}}$.

ასეთი რეჟიმებით აღდგენილი სახნისების მიკროსისალე $H_\mu = 10500$ მეგაპასკალს შეადგენდა და საექსპლუატაციო გამოცდებმა აჩვენეს, რომ მათი რესურსი იზრდება 30...60 %-ით.

4.6 მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით მიღებული ლითონური საფარის სისალის ოპტიმიზაცია ექსტრემალური ექსპერიმენტების დაგეგმვის თეორიის გამოყენებით

სასოფლო სამეურნეო გუთნების გაცვეთილი დეტალების აღდგენის ინოვაციური რესურსდამზოგი ტექნოლოგიის დამუშავებისათვის ჩვენს მიერ მოდიფიცირებულ დანადგარზე ჩავატარეთ ცდები.

ხდებოდა ლითონური საფარის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მექანიკური თვისების-სისალის გამოკვლევა, რომელიც განაპირობებს აღდგენილი დეტალის რესურსს.

ჩვენს მიერ ჩატარებული იქნა თეორიული და ექსპერიმენტული სამუშაოები მიღებული ლითონური საფარის სისალის გამოკვლევისა და ოპტიმიზაციისათვის ექსტრემალური ექსპერიმენტების დაგეგმვის თეორიის გამოყენებით [3, 47, 48]. აღდგენილი დეტალების მიკროსისალის გაზომვა ხდებოდა PMT-3 ხელსაწყო გამოყენებით, დატვირთვით

ინდენტორზე $P=100$ ნ. ამ კვლევებში სიახლე მდგომარეობს იმაში, რომ ჩვენ ერთდროულად გამოვიყენეთ ე.წ. კომბინირებული მათემატიკური მეთოდები ექსპერიმენტების დაგეგმვის თეორია და მსგავსობითობისა და განზომილებათა თეორია [43, 44].

კონკრეტული კონსტრუქციის დეტალის ცვეთის კანონზომიერების დადგენისას აღნიშნული კრიტერიუმებიდან: $\frac{vJ}{QV^2}$, $\frac{V_1}{V}$, $\frac{RJ^2}{QV}$, $\frac{\rho L^2 V}{Q}$, $\frac{e}{L}$, $\frac{\rho}{\rho_1}$ მხოლოდ სამი ფაქტორი ახდენს დიდ ზეგავლენას საფარის სისაღეზე, რომლებიც შერჩეული გვაქვს X_1 , X_2 , X_3 -ის მნიშვნელობებით.

აღნიშნულიდან გამომდინარე შეგვიძლია უგულებელვყოთ. მაშინ ფუნქციონალური დამოკიდებულებიდან ვღებულობთ ზოგადი სახის კრიტერიალური განტოლება მიღებული იქნა ასეთი სახით: [21]

$$\frac{H_{\mu} L^2}{QV} = \varphi \left(\frac{vJ}{QV^2}, \frac{V_1}{V}, \frac{RJ^2}{QV}, \frac{\rho L^2 V}{Q}, \frac{e}{L}, \frac{\rho}{\rho_1} \right)$$

მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულების პროცესის ოპტიმიზაციისათვის ოპტიმიზაციის პარამეტრად მივიღეთ ლითონური საფარის სისაღის უგანზომილებო კომპლექსი:

$$\frac{H_{\mu} L^2}{QV},$$

ხოლო მასზე მოქმედ ფაქტორებად კი $X_1 = \frac{vJ}{QV^2}$, $X_2 = \frac{V_1}{V}$ და $X_3 = \frac{\rho}{\rho_1}$. ვირჩევთ, ვინაიდან მათი გავლენა საფარის სისაღეზე მეტია. სამი აღნიშნული ფაქტორის მიხედვით აგებული იქნა 2^3 ტიპის სრულფაქტორიანი ექსპერიმენტი, ბოქს-უილსონის მოდელის მიხედვით [13].

მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3)$$

ანუ რეგრესიული განტოლების სახით:

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3$$

b_0, b_1, b_2, b_3 - მუდმივი კოეფიციენტებია და განისაზღვრებიან ექსპერიმენტებით()

ცხ. 4.9-ზე წარმოდგენილია ექსპერიმენტების დაგეგმვის მატრიცა.

ექსპერიმენტების დაგეგმვის მატრიცა.

ცდის №	ფაქტორების კოდური აღნიშვნა				ასოთი აღნიშვნა
	x_0	x_1	x_2	x_3	
1	+1	+1	-1	-1	α
2	+1	-1	-1	-1	(1)
3	+1	+1	+1	-1	αb
4	+1	-1	+1	-1	b
5	+1	+1	-1	+1	ac
6	+1	-1	-1	+1	c
7	+1	+1	+1	+1	abc
8	+1	-1	+1	+1	bc

ნულოვან დონეებად მიღებული იქნა:

$$X_{10} = 60 \cdot 10^8; \quad X_{20} = 0,45; \quad X_{30} = 195.$$

ხოლო ვარიირების ინტერვალებად: $I_1 = 20 \cdot 10^8$, $I_2 = 0,35$, $I_3 = 25$

ცხ. 4.10-ში მოცემულია ექსპერიმენტებით მიღებული შედეგები.

ექსპერიმენტების შედეგები.

ექსპერიმენტის №	X_0	$X_1 \cdot 10^8$	X_2	X_3	$y \cdot 10^6$
1	+1	80	0,1	170	1,48
2	+1	40	0,1	170	1,50
3	+1	80	0,8	170	1,62
4	+1	40	0,8	170	1,64
5	+1	80	0,1	220	1,66
6	+1	40	0,1	220	1,62
7	+1	80	0,8	220	1,59
8	+1	40	0,8	220	1,57

ექსპერიმენტების შედეგების მათემატიკური დამუშავებით მივიღეთ:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = 1,6 \cdot 10^6$$

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^K y_i x_{ij}}{n}, \quad (j = 1, 2, 3)$$

$$b_1 = 2,5 \cdot 10^3$$

$$b_2 = 20 \cdot 10^3$$

$$b_3 = 25 \cdot 10^3$$

რეგრესიულ განტოლებას აქვს სახე:

$$y = (1600 + 2,5X_1 + 20X_2 + 25X_3) \cdot 10^3.$$

მიღებული განტოლება შემოწმებული იქნა ადეკვატურობაზე ფიშერის კრიტერიუმით, დისპერსიის ერთგვაროვნობაზე კოხრენის კრიტერიუმით და კოეფიციენტების მნიშვნელობაზე სტიუდენტის კრიტერიუმით (იხილეთ ცხრილები: 98, 102, გვ. დანართში). შედეგები დამაკმაყოფილებელი აღმოჩნდა. ამის შემდეგ მიღებული იქნა რეგრესიული განტოლება ნატურალურ სიდიდეებში:

$$\frac{H_{\mu} L^2}{QV} = (1379,2 + 0,13 \frac{vJ}{QV^2} + 57,14 \frac{V_1}{V} + \frac{\rho}{\rho_1}) 10^3$$

მიღებული რეგრესიული განტოლება ადეკვატურია და დასაშვები სიზუსტით აღწერს გამოძახილის ფუნქციას ლოკალურ უბანზე. ოპტიმუმის მიღწევისათვის ვიყენებთ ციცაბო სვლის მეთოდს [20, 21].

ფუნქციის გრადიენტი ტოლია:

$$\vec{\Delta \varphi} = \frac{\partial \varphi}{\partial x_1} \vec{i} + \frac{\partial \varphi}{\partial x_2} \vec{j} + \frac{\partial \varphi}{\partial x_3} \vec{k}$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x_1} = b_1 = 2,5 \cdot 10^3,$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x_2} = b_2 = 20 \cdot 10^3,$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x_3} = b_3 = 25 \cdot 10^3$$

უცნობი ცვლადების რეგრესიული განტოლების კოეფიციენტების პროპორციული ცვლილებით ხორციელდება მოძრაობა გამოძახილის ფუნქციის გრადიენტის მიმართულებით [26].

განვსაზღვროთ ციკაბო სვლის გრადიენტის მდგენელები:

$$b_1 I_1 = 2,5 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 10^8 = 5 \cdot 10^{12};$$

$$b_2 I_2 = 20 \cdot 10^3 \cdot 0,35 = 7 \cdot 10^3;$$

$$b_3 I_3 = 25 \cdot 10^3 \cdot 25 = 6,25 \cdot 10^5.$$

გრადიენტის მდგენელების ნებისმიერ დადებით რიცხვზე გამრავლება იძლევა წერტილებს, რომლებიც ასევე იმყოფებიან გრადიენტზე, ამიტომ ვამრავლებთ მდგენელებს რიცხვზე 0,469. [47, 21].

$$I_1^1 = 50 \cdot 10^{11} \cdot 0,469 = 2,35 \cdot 10^{11};$$

$$I_2^1 = 7 \cdot 10^3 \cdot 0,469 = 0,33 \cdot 10^4;$$

$$I_3^1 = 6,25 \cdot 10^5 \cdot 0,469 = 29 \cdot 10^4.$$

თუ ძირითად დონეს მიმდევრობით დავუმატებთ გრადიენტის მდგენელებს, მივიღებთ ციკაბოსვლის სერიებს, რომლებიც მოცემულია ცხ. 4.11-ში.

მონაცემები ციკაბოსვლისათვის.

ფაქტორები	$X_1 \cdot 10^8$	X_2	X_3	$y \cdot 10^6$
ძირითადი დონე	60	0,45	195	
ვარიირების ინტერვალი	20	0,35	25	
ზედა დონე	80	0,7	220	
ქვედა დონე	40	0,1	62	
ექსპერიმენტები	ფაქტორების კოდირებული და ნატურალური მნიშვნელობები			
0	0; 60	0; 0,45	0; 195	1,46
1	+1; 80	-1; 0,1	-1; 62	1,48
2	-1; 40	+1; 0,45	-1; 62	1,50
3	+1; 80	-1; 0,1	-1; 62	1,62
4	-1; 40	+1; 0,45	-1; 62	1,64
5	+1; 80	-1; 0,1	+1; 220	1,66
6	-1; 40	+1; 0,45	+1; 220	1,62
7	+1; 80	-1; 0,1	+1; 220	1,59
8	-1; 40	+1; 0,45	+1; 220	1,57
b_i	2,5	20	25	
$b_i | i$	5	7	6,25	
ახალი ვარიირების ინტერვალი	2,35	0,33	29	
ექსპერიმენტები				
9	82,35	1,03	249	
10	84,70	1,36	278	1,67
11	85,05	1,69	307	1,72
12	85,40	1,99	316	1,70

როდესაც მათემატიკური მოდელი ადეკვატურია, იწყებენ ისეთი ცდების რეალიზაციას, რომელთა პირობები გამოდიან ჩატარებული ცდების ზღვრიდან მინიმუმ ერთი ფაქტორით: ოპტიმიზაციის პარამეტრის შემცირება მე-12-ე ცდაზე უჩვენებს, რომ მე-11-ე ცდის შედეგი არის ყველაზე ექსტრემალური.

საბოლოოდ, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მდნობის ქვეშ დეტალების ავტომატური დადუღებისას მაქსიმალური სისალისა და, შესაბამისად, ცვეთამედეგობის მიღებისათვის საჭიროა ფაქტორებს ჰქონდეთ შემდეგი მნიშვნელობანი:

$$X_1 = \frac{vJ}{\rho V^2} = 85.10^8$$

$$X_2 = \frac{V_1}{V} = 1,69$$

$$X_3 = \frac{\rho}{\rho_1} = 307$$

ამ ფაქტორებს შეესაბამება დადულების შემდეგი ოპტიმალური რეჟიმები:

- დენის ძალა $-J = 225$ ა
- დადულების სიჩქარე $-V_1 = 0,0015$ მ/წმ
- საელექტროდე მავთულის გამოტყორცნა $-e = 12$ მმ,
- ძაბვა $-u = 25$ ვ,
- საელექტროდე მავთულის მიწოდების სიჩქარე $-V = 0,03$ მ/წმ.

ამ რეჟიმებით აღდგენილი გაცვეთილი სასოფლო სამეურნეო გუთნების სახნისების სისალე შეადგენდა:

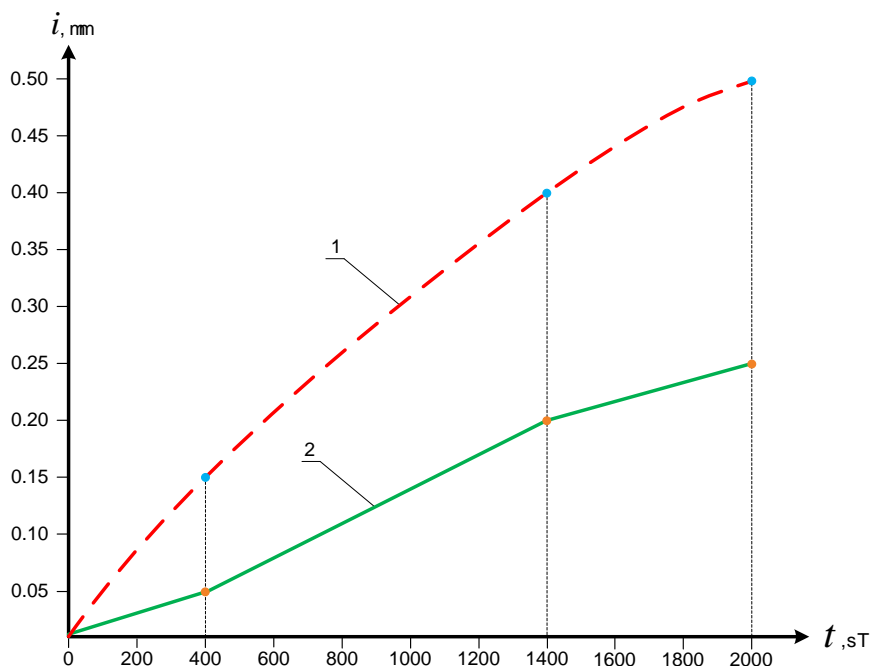
$$H_{\mu} = 10800 \text{ მჰა}$$

4.7. მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულებით აღდგენილი სახნისების საექსპლუატაციო გამოცდები

ჩვენს მიერ დამუშავებული დეტალების მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულებით აღდგენის რაციონალური ტექნოლოგიის გამოცდის მიზნით საექსპლუატაციო ცდებს ვატარებდით საქართველოს სოფლის მეურნეობის სამინისტროს სამეცნიერო-კვლევითი ცენტრის ჯილაურას ბაზაზე (გამოცდის ოქმი წარმოდგენილია დანართში). ჩვენს მიერ შემუშავებული რეჟიმების მიხედვით ხდებოდა გაცვეთილი სახნისების აღდგენა და მისი ცვეთგამძლეობის შედარება ახალთან, რომლებიც ითვლებოდნენ ეტალონურ ნიმუშად. პერიოდულად ხდებოდა ორივე ნამუშევრის აღრიცხვა სპეციალურ ჟურნალებში და მათი ურთიერთშედარება. მიღებული შედეგების დამუშავება ხდებოდა ალბათურ-სტატისტიკური მოდელირებისა და ჩვენს მიერ მე-3-ე თავში წარმოდგენილი მეთოდის მიხედვით.

აღდგენილი სახნისების ცვეთის განაწილების მრუდების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ისინიც ემორჩილებიან ნორმალური განაწილების კანონს იმ განსხვავებით, რომ თითქმის ყველა მრუდი მარჯვენა ასიმეტრიულია, რაც იმას ნიშნავს, რომ მთიანი პირობები და ზოგჯერ არასწორი ექსპლუატაცია (ამ დროს ცვეთის განაწილების მრუდები მარცხენა ასიმეტრიულნი იყო) უარყოფითად მოქმედებენ სახნისების რესურსსა და საიმედოობაზე.

ნახ. 4.6-ზე წარმოდგენილია ახალი და მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულებით აღდგენილი სახნისების ცვეთის დინამიკა მათი ურთიერთშედარებისათვის.



ნახაზი 4.6 ახალი და მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულებით აღდგენილი სახნისების ცვეთის დინამიკა.

1.ახალი სახნისი; 2.მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულებით აღდგენილი სახნისი.

როგორც მიღებული მრუდებისა და ცდების შედეგად შეგროვილი ინფორმაციის ანალიზი გვიჩვენებს ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულებით აღდგენილი სასოფლო სამეურნეო გუთნების სახნისების ცვეთგამედგობა და შესაბამისად რესურსი თითქმის 1,2...1,5-ჯერ მეტია, ვიდრე ახალი სახნისებისა, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ აღნიშნული მეთოდი ეფექტურია და შეიძლება წარმატებით იქნეს გამოყენებული სარემონტო საწარმოებში და ფერმერულ და გლეხური მეურნეობების ცენტრალური სარემონტო სახელოსნოებში.

4.8.მანქანების გაცვეთილი დეტალების მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულებით აღდგენის რესურსდამზოგი ტექნოლოგია

ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული სამუშაოების საფუძველზე, რომლებიც სწარმოებდა ჩვენს მიერ დაპროექტებულ და დამზადებულ ხელსაწყოზე, დამუშავებული იქნა სასოფლო სამეურნეო ტექნიკის გაცვეთილი დეტალების აღდგენის ალტერნატიული ინოვაციური რესურსდამზოგი რაციონალური ტექნოლოგია ავტომატური დადულებით მდნობის ქვეშ. ამ პროცესს რაციონალურს ვუწოდებთ იმიტომ, რომ მისი გამოყენებით შესაძლებელია მინიმალური დანახარჯებისა და ჩვენი დანადგარის გამოყენებით მივიღოთ მაღალი სისაღის, ჩაჭიდების სიმტკიცისა და ცვეთგამძლეობის ლითონური საფარი. აღნიშნული ხერხი შეიძლება წარმატებით იქნეს გამოყენებული ნებისმიერ გლეხური და ფერმერული მეურნეობების ცენტრალურ სარემონტო სახელოსნოებში ისეთი სპეციფიკური დეტალების აღსადგენად, როგორცაა ძრავების მუხლა და გამანაწილებელი ლილვები, სახნისები, ფრთები, კულტივატორების

თათები, ფრეზების მუშა ორგანოები და სხვა. ამ დროს უნდა გავითვალისწინოთ, რომ დეტალების მოდალური ცვეთა უნდა აღემატებოდეს 10 მმ-ს. ქვემოთ წარმოდგენილია აღნიშნულ ტექნოლოგიური პროცესის ძირითადი ოპერაციები.

4.8.1. მოსამზადებელი სამუშაოები

დეტალების აღდგენისათვის საჭიროა ჩატარდეს მოსამზადებელი სამუშაოები. მოსამზადებელ სამუშაოებში შედის დეტალების გახეხვა შესაბამისი სისუფთავის მისაღებად, რის შემდეგაც საჭიროა მოხდეს როგორც აღსადგენი დეტალის, ასევე დამუშავებული საელექტროდე მავთულის ცხიმგაცლა. ცხიმგაცლა შესაძლებელია აცეტონით ან ბენზინით. მისი ძირითადი დანიშნულებაა აღსადგენი დეტალის და ელექტროდების გულმოდგინე გასუფთავება ჭუჭყისა და მტვერისგან. ცალკეულ შემთხვევებში რეკომენდებულია აღსადგენი დეტალის დაკეჭვა.

მოსამზადებელი ოპერაციების შემდეგ აღსადგენი დეტალის ზედაპირის ხაოიანობა უნდა იყოს $R_a = 3.2...12.5$ მკმ. მხოლოდ ამის შემდეგ არის შესაძლებელი დაიწყოს დეტალების დადულების პროცესი. [49, 37] ასევე წინასწარ საჭიროა ფლუსის გულმოდგინედ მოზადება და გასუფთავება მავნე მინარევებისაგან.

4.8.2. დეტალების მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულებით რეჟიმების შერჩევა

მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულების რეჟიმების შერჩევას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს მაღალი ხარისხის ლითონური საფარის მისაღებად.

ქვემოთ წარმოდგენილია ჩვენს მიერ დამზადებული ხელსაწყოების ტექნიკური მახასიათებლები:

1. დაფარული ლითონური ფენის სისქე, მმ _ 5...40
2. ლითონური საფარის ხაოიანობა, მკმ, 3,2...12,5.
7. ქსელიდან მოთხოვნილი სიმძლავრე, კვტ, 15-მდე.
8. კვების ძაბვა, ვ. 220.
9. გაბარიტები (სიგრძე, სიგანე, სიმაღლე), მმ, 1200X2200X1100.
10. მასა, კგ, 600

მოწყობილობას გააჩნია მუშაობის 9 რეჟიმი ტექნოლოგიური დენის ძალის ცხრა მნიშვნელობა. აღდგენის რეჟიმები მოცემულია ცხრ.4.12-ზე

- დენის ძალა - $J = 225$ ა
- დადულების სიჩქარე - $V_1 = 0,0015$ მ/წმ
- საელექტროდე მავთულის გამოტყორცვა - $e = 12$ მმ,

- ძაბვა - $U = 25$ ვ,
- საელექტროდე მავთულის მიწოდების სიჩქარე - $V = 0,03$ მ/წმ.

ცხრილი 4.12

დეტალების მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით აღდგენის რეჟიმები.

აღდგენის რეჟიმების ნომერი	1	2	3	4	5	6	7	8	9
დენის ძალა, ა	30	60	90	120	150	180	210	240	270
ძაბვა, ვ	5	10	15	20	25	30	35	40	145
ელექტროდის გამოტყორცნა, მმ	2	4	6	8	10	12	14	16	18
საელექტროდე მასალის მიწოდების სიჩქარე, მ/წმ	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045

გარდა აღნიშნული ფიქსირებული რეჟიმებისა ჩვენს მიერ მოდერნიზებული დანადგარი საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ ასევე მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღების რეჟიმების უსაფეხური რეგულირება.

რეჟიმების შერჩევა ხდება აღსადგენი დეტალის სისქისა და ზედაპირის მოთხოვნილი სისუფთავის მიხედვით.

დრო, რომელიც საჭიროა მაქსიმალური სისქის ლითონური საფარის მისაღებად დამოკიდებულია ფლუსისა და საელექტროდე მავთულის შემადგენლობაზე, აღსადგენი დეტალის მასალაზე და ჩვენს შემთხვევაში განისაზღვრებოდა ექსპერიმენტულად თითოეულ კონკრეტულ შემთხვევაში.

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ აღდგენის პროცესი უნდა შეასრულოს მაღალკვალიფიციურმა პერსონალმა სწორი რეჟიმებითა და ელექტროდების სწორი მოძრაობით.

ოპერატორის მცირე შეცდომასაც კი შეუძლია მნიშვნელოვნად გააუარესოს აღდგენილი ფენის ხარისხი.

იმისათვის, რომ ეს გარემოება ავიცილოთ თავიდან საჭიროა დავიცვათ შერჩეული რეჟიმი და განსაკუთრებით დენის ძალა, რომელიც მუდმივად უნდა ვაკონტროლოთ წინა პანელზე არსებული ამპერმეტრით.

4.8.3. გამოსაყენებელი ელექტროდების მასალისა და ფლუსის შერჩევა

მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულების დროს ელექტროდისა და ფლუსის შერჩევას დიდი მნიშვნელობა აქვს. საელექტროდე მავთულის შერჩევა ელექტროდის დამოკიდებულია ალსადგენი დეტალის კონფიგურაციაზე, გაბარიტებსა და განივკვეთზე. ყველაზე უფრო კარგი შედეგი ჩვენი ექსპერიმენტების დროს აჩვენეს ფხნილ გულა ელექტროდებმა, რომლებიც დამზადებული იქნა საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში CB-08Г მარკის მავთულის ბაზაზე. ფლუსად გამოყენებული იყო №3 შემადგენლობის მდნობი, რომელიცა მოცემულია მესამე თავში. ამ დროს ელექტრული რკალი სტაბილურია, რადგანაც დროს ყველა წრედში ელექტრული დენი გადაეცემა გამტარის კვეთში, ხოლო განაკვეთის შემცირების შემთხვევაში დენის სიმკვრივე მკვეთრად იზრდება, ნაპერწკალი უფრო მძლავრი და ეფექტური ხდება.

ყველაზე კარგი შედეგი მივიღეთ მაშინ, როცა დაცული იყო შემდეგი რეჟიმები:

- დენის ძალა $-I = 225$ ა;
- დადულების სიჩქარე $-V_1 = 0,0015$ მ/წმ;
- საელექტროდე მავთულის გამოტყორცნა $-e = 12$ მმ;
- ძაბვა $-u = 25$ ვ;
- საელექტროდე მავთულის მიწოდების სიჩქარე $-V = 0,03$ მ/წმ.

4.8.4. დეტალების მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულებით დეტალების ალდგენის ტექნოლოგიის თავისებურებანი

სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის გაცვეთილი დეტალების ალდგენის ეფექტი დიდად არის დამოკიდებული დადგენილი ტექნოლოგიური პროცესის დაცვაზე.

როგორც ავლნიშნეთ, ალსადგენი დეტალებს წინასწარ უნდა ჩაუტარდეთ ცხიმგაცლა აცეტონით ან ბენზინით, რათა სრულად მოსცილდეს ჭუჭყი, მტვერი, ზეთისა და ცხიმის ნაწილაკები. ამის შემდეგ იწყება დეტალების მდნობის ქვეშ ავტომატური დადულებით ალდგენა, რომელიც ხორციელდება ავტომატიურადხელით ჩვენს მიერ მოდიფიცირებული დანადგარის გამოყენებით, რომელიც შეიცავს ავტომატურად მართვის ორგანოებსა და პულტებს. როგორც ჩატარებულმა ცდებმა გვიჩვენა ელექტროდი მიზანშეწონილია მივმართოთ ალსადგენი დეტალის პერპერდიკულარულად გარკვეული ექსცენტრიტეტით.

ელექტროდის ალსადგენ დეტალთან დაჭერის ძალა უნდა იყოს მუდმივი, ჩვენი ცდების ფარგლებში ყველაზე მაღალხარისხიანი ლითონური საფარი მიიღებოდა ელექტროდის მოძრაობით სიჩქარით— $0,03$ მ/წმ.

დადუღების რეჟიმის გამოყენების დროს საჭიროა პერიოდულად შესვენება. ე.ი 10...15 წუთით.

მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღება უზრუნველყოფს მაღალი ხარისხის ლითონური საფარის მიღებას, ამ დროს დიფუზიის გამო ლითონის ფენა მტკიცედ უკავშირდება ძირითად ლითონს, ხოლო მისი მიკროსისალე აღწევს 10000...10500 მპა, რაც განაპირობებს აღდგენილი დეტალის რესურსისა და ცვეთგამძლეობის მნიშვნელოვნად გაზრდას.

როგორც ავლიშნეთ, პროცესის სტაბილიზაციაში დიდი მნიშვნელობა აქვს ოპერატორის კვალიფიკაციას. არაკვალიფიკაციური ოპერატორის შემთხვევაში ადგილი აქვს ისეთ უარყოფით მოვლენებს, როგორცაა ლითონურ საფარის დაბალი სიგლუვე და არათანაბრობა, ნამწვი აირების არსებობა საფარზე, ნაკაწრები დეტალზე და სხვა.

მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღების პროცესის შემდეგ საჭიროა მოხდეს აღდგენილი დეტალის კონტროლი გარეგანი სახით, გეომეტრიული ზომებით და ხაოიანობით.

გარეგანი სახის კონტროლი ხდება საფარზე არათანაბარი უბნებისა და ცხადი დეფექტების გამოვლინების მიზნით. გეომეტრიული ზომების კონტროლისას აღგენენ აღდგენილი საფარის სისქეს და განსაზღვრავენ აღდგენის შემდგომი მექანიკური დამუშავების სახეს.

4.9. მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით სახნისების აღდგენის პროცესის ტექნიკურ-ეკონომიკური შეფასება

როგორც აღვიშნეთ, სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის გაცვეთილი დეტალების რესურსის გაზრდა მათი აღდგენის თანამედროვე პროგრესიული ხერხების გამოყენებით მნიშვნელოვანი ეკონომიკური ამოცანაა.

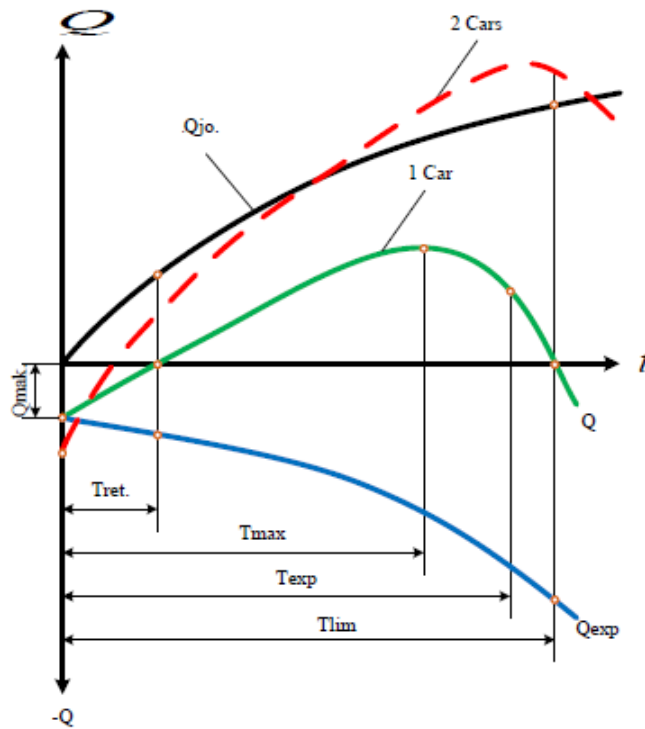
თანამედროვე მეცნიერული გამოკვლევებით დასაბუთებულია, რომ დეტალების საიმედოობისა და რესურსის გაზრდაზე ფინანსური დანახარჯები მოკლე დროში ანაზღაურდება და იძლევა საკმაოდ დიდ შემოსავალს.

აღნიშნულ ეკონომიკურ ეფექტს ემატება ის გარემოებაც, რომ მნიშვნელოვნად მცირდება მოთხოვნილება სათადარიგო ნაწილებზე და მანქანების მოცდენა საპასუხისმგებლო სასოფლო-სამეურნეო ოპერაციების დროულად ჩატარებაზე.

ჟ. კაციტაძისა და ა. პრონიკოვის მონაცემებით ექსპლუატაციის მთელი პერიოდისათვის დანახარჯები მანქანების ტექნიკურ მომსახურებასა და რემონტზე, მათი ცვეთის გამო, მნიშვნელოვნად აღემატება ახალი მანქანის ფასს, მაგალითად ავტომობილებისათვის 6-ჯერ, თვითმფრინავებისათვის 5-ჯერ, ჩარხებისათვის 8-ჯერ, რადიო ტექნიკური აპარატისათვის 12-ჯერ, ხოლო სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკისათვის 5-ჯერ.

ამიტომ, მსოფლიო მასშტაბით უდიდესი სამეცნიერო და საკონსტრუქციო-ტექნოლოგიური სამუშაოები მიმდინარეობს მანქანების საიმედოობისა და ხარისხის მკვეთრად გაზრდის მიზნით, როგორც დაპროექტების, ასევე დამზადებისა და ექსპლუატაციის დროს. ტოლფასია მათი რაოდენობის გაზრდისა ყოველგვარ კაპიტალდაზღვრებათა გარეშე.

საინტერესოა ამ მიმართულებით ჯ. კაციტაძის და ა. პრონიკოვის მოსაზრება, რომელიც იძლევა საინტერესო დიაგრამას ორი სხვა და სხვა მანქანის გამოყენების ეფექტურობის შედარებით. აღნიშნული მეთოდი აკადემიკოს ჯ. კაციტაძისა და ჩემს მიერ [16, 17] წარდგენილი და განხილული იქნა ქალაქ ვარნაში 2017 წელს ჩატარებულ საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ კონგრესზე. დიაგრამა მოცემული ნახ. 4. 7-ზე.



ნახაზი 4.7 მანქანის ეკონომიკური ეფექტიანობის ცვლილება დროში.

ამ დიაგრამის მიხედვით სხვა და სხვა ვარიანტების საიმედოობის დონის მანქანების შედარება პირველ რიგში უნდა მოხდეს მაქსიმალური ეკონომიკური ეფექტის მიღწევის გათვალისწინებით წარმოებისა და ექსპლუატაციის დანახარჯების მიხედვით.

ზოგად შემთხვევაში ჯამური ეკონომიკური ეფექტის ცვლილება დროში მანქანის ექსპლუატაციისას შედგება ორი ძირითადი ფაქტორისაგან. ერთის მხრივ, საჭიროა გათვალისწინებული იქნეს დანახარჯები ახალი მანქანის დამზადებაზე Q_d , რომელშიც შედის მისი დაპროექტება, დამზადება, გამოცდა, ტრანსპორტირება და სხვა, ასევე დანახარჯები მის ექსპლუატაციაზე, რომელშიც შედის ტექნიკური მომსახურება, რემონტი, დიაგნოსტიკა და სხვა პროფილაქტიკური ღონისძიებანი, რომლებიც უზრუნველყოფენ მანქანების მუშაუნარიან მდგომარეობაში შენარჩუნებას. ეს დანახარჯები $Q_e + Q_d$ არის უარყოფითი ეფექტურობის ბალანსში. მეორე მხრივ, მანქანის მუშაობა იძლევა დადებით ეკონომიკურ ეფექტს Q_{mus} . (მოგებას) მისი მიზნობრივი დანიშნულების მიხედვით.

Q_e - ს ცვლილებას დროის ფუნქციაში გააჩნია ზრდის ტენდენცია, რადგანაც მანქანების ცალკეული ელემენტების დაბერება მოითხოვს დამატებით ხარჯებს მათი შეცვლისათვის.

Q_{mus} - ის ცვლილებას დროში კი პირიქით აქვს ზრდის ინტენსივობის შემცირების ტენდენცია, რადგანაც მანქანების მოცდენები ტექნიკურ მომსახურებასა და რემონტზე ამცირებენ მათ მწარმოებლურობას. ამიტომ ჯამური ეფექტურობის მრუდს $Q(t) = Q_d + Q_e(t) + Q_{mus}(t)$ აქვს მაქსიმუმი და ორჯერ გადაკვეთს t აბსცისთა ღერძს.

Q - ს ზრდისას დროის პერიოდი $t = T_{am}$, რომლის დროსაც $Q_d + Q_e = Q_{mus}$ წარმოადგენს ამოგების ვადას, როდესაც მანქანამ ექსპლუატაციის დროს დააბრუნა ის დანახარჯები, რომლებიც ჩადებული იყო მის დამზადებაზე. ამ მომენტიდან დაწყებული $t = T_{am}$ მანქანა იწყებს მოგების მოტანას, მაგრამ ეს პროცესი თანდათან უფრო მცირდება საექსპლუატაციო დანახარჯების გამო $t = T_{ZR}$ -მდე, როდესაც ისევ $Q_d + Q_e = Q_{mus}$. როცა $t > T_{ZR}$ დანახარჯები მანქანების ექსპლუატაციაზე მეტია მანქანის გამოყენების ეფექტურობაზე. მანქანის ექსპლუატაციის რაციონალური ხანგრძლივობა იმყოფება დიაპაზონში $T_{maq} < T_e < T_{ZR}$. საიმედოობის პოზიციიდან მანქანის ვარიანტის შერჩევა უნდა გამომდინარეობდეს მანქანების დამზადებასა და ექსპლუატაციაზე დანახარჯების შედარებით იმ ეკონომიკურ ეფექტთან, რომელსაც ის უზრუნველყოფს.

მაგალითად თუ ნახახაზ 4.7-ს გავუკეთებთ ანალიზს, შეგვიძლია ავღნიშნოთ, რომ მიუხედავად იმისა, რომ $Ne2$ მანქანის დამზადებაზე დანახარჯები მეტია, ვიდრე პირველ მანქანაზე, მაღალი მწარმოებლურობის, ხარისხისა და საიმედოობის ხარჯზე იგი უფრო მეტ ეკონომიკურ ეფექტს იძლევა და შესაძლებელია მისი უფრო ხანგრძლივი ექსპლუატაცია.

საბოლოოდ, შეიძლება დავასკვნათ, რომ მანქანების საიმედოობის შეფასების დროს ეკონომიკური კრიტერიუმი ერთ-ერთი მნიშვნელოვანია ოპტიმალური გადაწყვეტილების მისაღებად [1].

მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით სახნისების აღდგენის პროცესის ეკონომიკური ეფექტიანობის გაანგარიშებისათვის გამოვიყენეთ ჩვენს მიერ დამუშავებული მეთოდიკა.

ზემოთ აღნიშნული მეთოდით აღდგენის მიზანშეწონილობას განვსაზღვრავდით ფორმულით:

$$C_{aR} \leq KC_{ax}$$

სადაც C_{aR} -გაცვეთილი სახნისის აღდგენის ღირებულებაა, ლარი.

C_{ax} -ახალი სახნისის დამზადების ღირებულებაა, ლარი.

K –ხანგამძლეობის კოეფიციენტი.

$$K = \frac{\varepsilon_{ax}}{\varepsilon_{aR}}$$

ε_{ax} –ახალი დეტალის საშუალო ცვეთგამძლეობაა და ჩვენი საექსპლუატაციო გამოკვლევებით მივიღეთ:

$$\varepsilon = 0.0002 \text{ მმ/სთ.}$$

ε_{aR} –იგივე აღდგენილი დეტალისათვის და ჩვენი გამოკვლევებით მივიღეთ

$$\varepsilon_{aR} = 0.00015 \text{ მმ/სთ.}$$

მაშინ გვექნება:

$$K = \frac{0.0002}{0.00015} = 1.3$$

სახნისის დამზადების ღირებულება ოფიციალური მონაცემებით შეადგენს:

$$C_{ax} = 50 \text{ ლარი.}$$

ხოლო ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მეთოდით აღდგენის ღირებულება შეადგენს:

$$C_{aR} = 18 \text{ ლარი.}$$

მაშინ ჩვენი ხერხის გამოყენების ეკონომიკური მიზანშეწონილობა იქნება:

$$18 < 50$$

შემოთავაზებული ტექნოლოგიის გამოყენების წლიურ ეკონომიკურ ეფექტს ვანგარიშობთ ფორმულით :

$$\varepsilon = ((C_1 + E_n K_1)K - (C_2 + E_n K_2))N$$

სადაც C_1 და C_2 –ერთეული პროდუქციის თვითღირებულებაა.

E_n –კაპიტალდაზანდებათა ეფექტიანობის ნორმატიული კოეფიციენტი და ჩვენს პირობებში დადგენილია:

$$E_n = 0.15$$

სახნისების აღდგენის თვითღირებულებას ჩვენს მიერ დამუშავებული ტექნოლოგიის გამოყენებით ვანგარიშობთ ფორმულით [40]:

$$C_1 = M + L_{Zir} + L_{dam} + H + C + O + B$$

M –აღდგენისათვის საჭირო მასალების ღირებულებაა, ლარი.

L_{Zir} –საწარმოო მუშების ძირითადი ხელფასი, ლარი.

L_{dam} –საწარმოო მუშების დამატებითი ხელფასი, ლარი.

H –დანახარჯები დაზღვევაზე, ლარი.

C –საერთო საწარმოო ზედნადები ხარჯები, ლარი.

O –საამქროების ზედნადები ხარჯები, ლარი.

B –არაპირდაპირი საწარმოო ხარჯები, ლარი.

ეკონომიკური გაანგარიშებისათვის მასალები მოცემულია ცხ. 4. 13-ში.

ცხ. 4.13

მონაცემები ეკონომიკური ეფექტიანობის გაანგარიშებისათვის.

მაჩვენებლები	აღნიშვნა	აღდგენის ხერხის მაჩვენებელი	
		არსებული ტექნოლოგია	შემოთავაზებული ტექნოლოგია
წლიური პროგრამა	N	500	500
აღდგენის ღირებულება, ლარი	C ₁ ,C ₂	16.2	18.4
კაპიტალური დაბანდებანი, ლარი	K ₁ ,K ₂	1500	1450
ნორმატიული კოეფიციენტი	E _n	0.15	0.15

აღნიშნული მონაცემების ჩასმით ზემოთ წარმოდგენილ ფორმულაში მივიღებთ:

$$\mathcal{P}_{\text{გო}} = ((16,2 + 0,15 \cdot 1500) - (18,4 + 0,15 \cdot 1450)) \cdot 800 = 4240 \text{ ლარი}$$

საბოლოოდ, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით სახნისების აღდგენა იძლევა 4240 ლარის წლიურ ეკონომიკურ ეფექტს, რაც მიუთითებს მის უპირატესობაზე აღდგენის სხვა ხერხებთან შედარებით.

5. დასკვნები და რეკომენდაციები

სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული სამუშაოების საფუძველზე შეგვიძლია გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნები და რეკომენდაციები:

1. დასაბუთებულია საქართველოს მთიან პირობებში მომუშავე სასოფლო სამეურნეო გუთნების მუშაობის თავისებურებანი და გაანალიზებულია მათი გავლენა მუშაუნარიანობაზე, როგორცაა: კვანძებსა და დეტალებზე მუდმივად მოქმედი ნიშანცვლადი დინამიკური დატვირთვები, მუშა გარემოში არსებული აბრაზიული ნაწილაკები, გარემოს ნესტიანობა, რადიაცია, ხახუნის ძალები და სხვ.

2. განხილულია გუთნების კონსტრუქციული თავისებურებანი, მათი ძირითადი დეფექტები სამთო პირობებში მუშაობის დროს და დადგენილია, რომ ყველაზე მეტად ცვეთად დეტალებს წარმოადგენენ სახნისები, რომლებიც არსებით გავლენას ახდენენ საექსპლუატაციო საიმედოობაზე.

3. დამუშავებულია თეორიული საფუძვლები სასოფლო სამეურნეო გუთნების საიმედოობის გაანგარიშების, გაზრდისა და გაცვეთილი დეფიციტური დეტალების ინოვაციური რესურსდამზოგი ტექნოლოგიით აღდგენისათვის.

4. თეორიული და ექსპერიმენტული სამუშაოების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ საქართველოს სამთო პირობებში მომუშავე სასოფლო სამეურნეო გუთნების საშუალო ნამუშევარი მტყუნებაზე შეადგენს $\bar{H} = 19,3$ ჰა, მტყუნებათა ინტენსივობა $\lambda = 0,05$ ჰა⁻¹, უმტყუნო მუშაობის ალბათობა $P(H) = 0,54$, მზადყოფნის კოეფიციენტი $K_{\text{მზ.}} = 0,8$, ხოლო ტექნიკური გამოყენების კოეფიციენტი $K_{\text{ტ.კ.}} = 0,76$.

მიღებულია შესაბამისი ადეკვატური მათემატიკური მოდელები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან მოვახდინოთ საიმედოობის მაჩვენებლების პროგნოზირება.

5. გამოკვლეულია მტყუნებათა სახეების განაწილება და აღმოჩნდა, რომ მას აქვს ასეთი სახე: (ცდომილება 2-3%).

- კონსტრუქციული მტყუნებები -18%,
- საწარმოო -37%,
- საექსპლუატაციო -45%.

ყველაზე მეტი წილი მოდის საექსპლუატაციო მტყუნებაზე 45 %, რაც ჩვენი ვარაუდით აიხსნება მთიან რეგიონში ტექნიკის მუშაობის თავისებურებებით და მექანიზატორთა დაბალი კვალიფიკაციით.

6.გამოკვლეულია სამთო პირობებში მომუშავე გუთნების სახნისების ცვეთის კანონზომიერებანი, მათი ზღვრული დასაშვები ცვეთა, მიღებულია შესაბამისი ალბათურ-სტატისტიკური მათემატიკური მოდელები.

7.განსაზღვრულია სასოფლო სამეურნეო გუთნების დეტალების ცვეთის განაწილების დიფერენციალური და ინტეგრალური ფუნქციები, მიღებულია ცვეთის ადეკვატური ალბათურ-სტატისტიკური მოდელები და დადგენილია დეტალების ცვეთის ყველაზე უფრო გავრცელებული (მოდალური) მნიშვნელობა $M_0=22,9$ მმ, რომლის მიხედვითაც დასაბუთებულია გაცვეთილი დეტალების აღდგენის რაციონალური ხერხი-ავტომატური დადუღება მდნობის ქვეშ.

8.დაპროექტებული, მოდიფიცირებული და გამოცდილია ორიგინალური დანადგარი სასოფლო სამეურნეო გუთნების გაცვეთილი დეტალების მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით აღდგენისათვის, რომელიც საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ აღდგენის პროცესი უსაფეხუროდ დადუღების სრულ რეჟიმში. მასზე მიღებულია პატენტი და რეკომენდებულია ფერმერებისა და კერძო მეწარმეთათვის .

9.დამუშავებულია მეთოდიკური საფუძვლები და კერძო ორიგინალური მეთოდიკები მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით მიღებული ლითონური საფარის ისეთი მნიშვნელოვანი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების გამოკვლევისა და ოპტიმიზაციისათვის, როგორცაა სისალე და ცვეთამედეგობა.

10.გამოკვლეულია დადუღებული ლითონური საფარის მიკროსტრუქტურა, სისალე და ცვეთამედეგობა მსგავსობისა და განზომილებათა და ექსტრემალური ექსპერიმენტების დაგეგმვის თეორიების გამოყენებით, მიღებულია აღდგენის პროცესის დამახასიათებელი მსგავსობის კრიტერიუმები, კრიტერიალური განტოლებების ზოგადი და ანალიზური სახეები, ბოქს-უილსონის მეთოდით ჩატარებულია მათი ოპტიმიზაცია და დადგენილია აღდგენის ოპტიმალური რეჟიმები:

- დენის ძალა $-J = 225$ ა

- დადუღების სიჩქარე $-V_1 = 0,0015$ მ/წმ

- საელექტროდე მავთულის გამოტყორცნა $-e = 12$ მმ,

- ძაბვა $-u = 25$ ვ,

- საელექტროდე მავთულის მიწოდების სიჩქარე $-V = 0,03$ მ/წმ.

11.დამუშავებული და რეკომენდებულია ფერმერებისა და კერძო მეწარმეთათვის სასოფლო სამეურნეო ტექნიკის გაცვეთილი დეტალების აღდგენის რესურსდამზოგი ინოვაციური ტექნოლოგია მათი ავტომატური დადუღებით მდნობის ქვეშ.

12.ჩატარებულია აღნიშნული ტექნოლოგიით აღდგენილი სასოფლო სამეურნეო გუთნების სახნისების საექსპლუატაციო გამოცდებიდა დასაბუთებულია, რომ მათი ცვეთამდეგობა იზრდება 1,2...1,5-ჯერ, ვიდრე ახალი დეტალებისა.

13.ჩატარებულია ჩვენს მიერ შემოთავაზებული რესურსდამზოგი ინოვაციური ტექნოლოგიით სასოფლო სამეურნეო გუთნების სახნისების აღდგენის ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტიანობის გაანგარიშება და დასაბუთებულია, რომ მისი გამოყენება იძლევა $E = 4240$ ლარის წლიურ ეკონომიკურ ეფექტს.

ბიბლიოგრაფია

1. აბულაძე, იოსები. „აჭარაში მომუშავე მცირე მექანიზაციის სასოფლო სამეურნეო ტექნიკის საექსპლუატაციო საიმედოობის გაზრდა და რესურსდამზოგი ტექნოლოგიის დამუშავება ცვეთადი დეტალების აღდგენისათვის“. დისერტაცია აგროინჟინრის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად., აკაკი წერეთლის ქუთაისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, 2018;
2. გეგელიძე, გივი., შაფაქიძე, ელგუჯა. სასოფლო-სამეურნეო მანქანები: სახელმძღვანელო აგროსაინჟინრო ფაკულტეტების სტუდენტებისათვის. თბილისი: განათლება, 1974.
3. ზედგინიძე, ირაკლი. ექსპერიმენტის დაგეგმვის საფუძვლები: მონოგრაფია, სპი-ის გამომცემლობა, თბილისი, 1995
4. კაციტაძე, ჯემალი. მანქანების საიმედოობა და რემონტი: სახელმძღვანელო აგროსაინჟინრო ფაკულტეტების სტუდენტებისათვის. თბილისი: განათლება, 2001.
5. კაციტაძე, ჯემალ., სარჯველაძე ნუგზარ მანქანების ტექნიკური სერვისი: სახელმძღვანელო აგროსაინჟინრო ფაკულტეტების სტუდენტებისათვის. თბილისი: განათლება, 2008.
6. კაციტაძე, ჯემალი., ჭალაგანიძე შოთა., კაპანაძე ივანე „საქართველოში მომუშავე საზღვარგარეთული სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის საიმედოობის მაჩვენებლების გამოკვლევა“ საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის ჟურნალი “მოამბე” №27 (ივნისი 2010) თბილისი: 321-324.
7. კაპანაძე, ივანე. „საქართველოში შემოტანილი სას. სამ. ტექნიკის საიმედოობის მაჩვენებლებისა და სერვისის რაციონალური ფორმების დამუშავება“. დისერტაცია აგროინჟინრის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად., საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი, 2011
8. კაციტაძე, ჯემალი., ქუთელია გიორგი, „რესურსდამზოგი ტექნოლოგიების გამოყენებით მანქანებისა და მოწყობილობების საიმედოობის გაზრდის ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასება“ საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის ჟურნალი “აგრარული მეცნიერება და ტექნოლოგიები” №2 (მაისი 2014), თბილისი: 32-38
9. კაციტაძე, ჯემალი., ქუთელია, გიორგი ”რაჭა-ლეჩხუმის მთიან პირობებში მომუშავე გუთნების სახნისების ცვეთის ალბათურ-სტატისტიკური მოდელირება“ საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის ჟურნალი “მოამბე” №32 (ნოემბერი 2015) თბილისი: 230-237
10. კაციტაძე, ჯემალი., ქუთელია, გიორგი. „მანქანების საიმედოობის გაზრდის რესურსდამზოგი ტექნოლოგია“. ზეპირი მოხსენება კონფერენციაზე, საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი, 24-25 ნოემბერი, 2015.

11. კაციტაძე, ჯემალი., სარჯველაძე, ნუგზარი. სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის საიმედოობისა და რემონტისშემდგომი რესურსის გაზრდა: მონოგრაფია, თბილისი, 1996.
12. კაციტაძე, ჯემალი., ლილუაშვილი, ავთანდილი. მანქანების რემონტი: სახელმძღვანელო აგროსაინჟინრო ფაკულტეტების სტუდენტებისათვის. თბილისი: განათლება, 2001.
13. კაციტაძე, ჯემალი., ქარქაშაძე, ნაპოლეონ. თანამედროვე მათემატიკური მეთოდების გამოყენება ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმიზაციისათვის მანქანების საიმედოობის გაზრდის მიზნით: სახელმძღვანელო აგროსაინჟინრო ფაკულტეტების სტუდენტებისათვის. თბილისი: დეგაპრინტი, 2018.
14. კაციტაძე, ჯემალი., სარჯველაძე, ნუგზარი., კაპანაძე, ივანე. სამეცნიერო-მეთოდური რეკომენდაციები საზღვარგარეთიდან შემოტანილი სასოფლო-სამეურნეო მანქანების საიმედოობის გაანგარიშების, გაზრდისა და ტექნიკური სერვისის რაციონალური ფორმების შერჩევისათვის: მონოგრაფია, თბილისი: პოლიგრაფისტი, 2012.
15. კაციტაძე, ჯემალი., დარჩიაშვილი, გიორგი. მანქანათა დეტალების აღდგენის პროგრესული ტექნოლოგიური პროცესები: მონოგრაფია, თბილისი: პოლიგრაფისტი, 1989 .
16. კაციტაძე, ჯემალი., აბულაძე იოსები. “ მცირე მექანიზაციის მანქანების აღსადგენი დეტალების ნომენკლატურა და აღდგენის ტექნოლოგიები”, ჟურნალი საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის „მოამბე“, №2(38), თბილისი (მაისი 2017): 167-172
17. კაციტაძე, ჯემალი., ქუთელია, გიორგი. სასოფლო სამეურნეო ტექნიკის საიმედოობის გაზრდა დეტალების მდნობის ქვეშ ავტომატური დადუღებით: მონოგრაფია, თბილისი, სსმმა-ის გამომცემლობა, 2016.
18. კაციტაძე, ჯემალი., ქუთელია, გიორგი მოწყობილობა ფლუსის ქვეშ ელექტრო დადუღებით დეტალების აღსადგენად, საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი “საქპატენტი“, 14550/2, 2018
19. კაციტაძე, ჯემალი., ქუთელია, გიორგი დანადგარი სახნისების მსგავსი დეტალების აღდგენისათვის, საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი “საქპატენტი“, 13930/01, 2017
20. მახარობლიძე, რევაზი., მახარობლიძე, ზაზა., ბასილაშვილი, ბეჟანი. სასოფლო სამეურნეო მანქანების ფერდობზე მუშაობის ფიზიკური და მათემატიკური მოდელირება: მონოგრაფია, თბილისი: მწიგნობარი, 2018.

21. მახარობლიძე, რევაზი. ექსპერიმენტების დაგეგმვის თანამედროვე მეთოდები სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის საკითხებზე: სახელმძღვანელო აგროსაინჟინრო ფაკულტეტების სტუდენტებისათვის. თბილისი: განათლება, თბილისი: სსმი, 1974.
22. მახალდიანი, ვახტანგი. ექსპერიმენტული მასალის დამუშავება. თბილისი: სსმი, 1965.
23. სარჯველაძე, ნიკა. ელექტრონაპერწკლური ლეგირებით მიღებული ლითონური საფარის ჩაჭიდების სიმტკიცის გამომკვლევა. საქ. სოფლის მეურ. მეც. აკადემიის ჟურნალი “მოამბე”, თბილისი, №29 (მაისი 2014):240-244
24. სარჯველაძე, ნიკა. „ტექნოლოგიური და ორგანიზაციული ღონისძიებების დამუშავება სასოფლო სამეურნეო ტექნიკის საიმედოობის გაზრდისათვის“. დისერტაცია აგროინჟინრის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად., საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი, 2012
25. სარჯველაძე, ნიკა კულტივატორების თათების ცვეთის ზოგიერთი კანონზომიერებანი. ჟურნალი საქართველოს სოფლის მეურნეობის აკად. “მოამბე” №28, თბილისი (ნოემბერი 2010)
26. სალუქვაძე, რევაზი., ქარქაშაძე, ნაპოლეონ., კასრაძე, დიმიტრი. ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდური საფუძვლები და ეკონომიკური ეფექტიანობა: მონოგრაფია, სსსი, 1978 .
27. ქარქაშაძე, ნაპოლეონ., კაციტაძე ,ჯემალი., ქუთელია, გიორგი. ტექნიკური პროგრესი, ეკონომიკური კვლევების ეფექტიანობა და მანქანების დეფიციტური დეტალების აღდგენის ალტერნატიული რესურსდამზოგი ტექნოლოგიები: მონოგრაფია, თბილისი, დეგაპრინტი, 2017.
28. ქუთელია, გიორგი ჩაის ბუჩქის სასხლავ-დამქუცმაცებელი აგრეგატი, საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი.“ საქპატენტი’ , 13790/01, 2017
29. ქუთელია, გიორგი ჩაის საშრობი მოწყობილობა, საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი, „საქპატენტი“, 13624/02, 2016
30. ქუთელია, გიორგი ხეხილის ნაყოფის ასაღები მანქანა, საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი, „საქპატენტი“,13743/01 2016
31. ქუთელია, გიორგი კომბინირებული აგრეგატი ჩაის პლანტაციების აღდგენისათვის საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი „ საქპატენტი“, 13742/01, 2016
32. Archard, Tim Hirst W The wear of metals under unlubricated conditions, London, Proc. R. Soc, 9 (№ 1206, vol. 2360) , 397-410;

33. Brook, Ran Reliability Concepts in Engineering Manufacture, London, Butterworths, 1982
34. Barwell F. Tribology in production. Product Eng.№ 7, 2012, p. 253-261
35. Katsitadze, Jemal “Searching processes of renewal details of agricultural technics With the elektrosparkeing Ellou” Oral presentanions, XVI International scientific-technical conference “Trans MOTAUTO-15”,Varna, 2015.
36. Chalaganidze, Shota., Katsitadze, Jemal., Qutelia, Giorgi. The theoretical and experimental study of the ploughs' ploughsharesin order to increase the reliability of resource-saving technology using simil a r i t y a n d d i m e n s i o n s t h e o r y, J. Annals of Agrarian Science 15 (2017) ,329-331.
37. Data Processing Vocabulary. Section 14. Reliability, Maintenance and Availability. - Geneva: ISO 2382, 2016. - 16 p.
38. International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 191. Reliability, Maintainability and Quality of Service (draft).-Geneva: International Electrotechnical Commission, 2017. - 75 p.
39. Finkin, Evans What happens whenpart wear. Machine Desing. March 19, 1970, 148-154.
40. J. Katsitadze ,Z. Phutkaradze,T. Pawlowski - Plowshares wear investigation of the plows working in mountainous conditions using statistical probabilistic modeling, Journal of Agricultural science and Technology A8, Neo-York, 2018, p.254-258
41. Katsitadze, Jemal., Qutelia, Giorgi. “Improving the reliability of agricultural machinery, using the method of restoration of parts under submerged arc”. Journal MTM (MACHINES, TECHNOLOGIES, MATERIALS), №6,Sofia (June 2016): 307-311
42. Katsitadze, Jemal, Kutelia, Giorgi. “Theory of similarity and dimensions in the study of the process of restoration of details of agricultural machinery under submerged arc welding, in: International Scientific”, Technical Congress, Bulgaria, Varna, 2015.
43. Katsitadze, Jemal “Theoretical Basics Calculation Reliability of Agricultural Techniques,” XX International Scientific-technical Conference, “Trans MOTAUTO-12 ”,Varna, Bulgaria,(2012).
44. Katsitadze,Jemal., Kutelia,Giorg., Abuladze, Ioseb. “Wear resistance of the plowshares of the agricultural plows working under mountainous conditions and the increase of their resource,” IV Scientific Congress Agricultural Machinery, 22-25.06.2016, Varna, Bulgaria, 2016.

45. Katsitadze, Jemal, Kutelia, Giorgi. Improving the reliability of Agricultural Machinery, using the method of restoration, of parts under submerged arc welding, and its technical and economic evaluation, Int. J. Sci., Tech. Innovat. Ind. (2017)307–310, MTM, Varna.
46. Katsitadze, Jemal. Development of resource-saving technology of restoration of details of cars, Works of the International scientific and technical conference "Cars for Agriculture", Varna, 2013, 67-70.
47. Katsitadze, Jemal., Karkashadze, Napoleon ., Qutelia, Giorgi. Indicators of reliability of plows working in mountainous conditions of Georgia, J. Annals of Agrarian Science 156(2018), 210-212.
48. Qutelia, Giorg. „Increase in wear resistance and resource of ploughshares of the agricultural plows working in conditions of Georgia”. Oral presentanions. Proceedings of ISERD International Conference, Bucharest, Romania: (February 2018)
49. Tabor D. The mechanisms of Free Rolling Friction. Journal of the American Soc of Lubrication Engineering. Now Dec, 2016
50. Анилович, Вениамин Основы надежности с/х техники. М. МИИСП .1985 ,103с.;
51. Анилович, Вениамин Прогнозирование надежности тракторов. М.: Машиностроение, 1986, 222с.;
52. Адлер Юрий Планирование экспериментов при поиске оптимальных условий. М. Наука,1981 ,103 с.;
53. Алабужев, Петр Теория подобия и размерностей. Моделирование. М. Высшая школа, 1987, 200 с.;
54. Байканова, Валентина Восстановление деталей с/х машин. М. Колос, 1999 ,80с.;
55. Гнеденко, Борис Математические методы в теории надежности, М.: Наука. 1985,524с.
56. Двали, Рафаел., Махалдиани ,Вахтант Механизация тяги в горной местности, Тбилиси, Наука, 1970 ,100с.;
57. Ермолов, Леонид Основы надежности с/х техники, М.: Колос , 1982, 289с.;
58. Кацитадзе, Джемал, Кутелия, Гиорги «Износостойкость лемехов сельскохозяйственных плугов ,работающих в горных условиях и повышение их ресурса», Материалы НТК,Варна(22-25 , июнь),2016

59. Кацитадзе, Джемал, Кутелия, Гиорги “ Теория подобия и размерностей в исследовании процесса восстановления изношенных деталей сельскохозяйственной техники(СХТ) наплавкой под флюсом».Материалы НТК ,Варна(22-25 июня), 2015.
60. Кереселидзе, Шалва, Махароблидзе Реваз Об актуальности механизации горного земледелия, Тбилиси, 1979 ,103с.;
61. Кряжков, Владимир Надежность и качество с/х техники, Агропромиздат, М. 1989. – 335с.;
62. Селиванов, Александр Теоретические основы ремонта и надежности с/х техники. М. Колос, 1982, 188с.;
63. Казарцев ,Василий Ремонт машин. М. 1961 ,382с.;
64. Кугель, Рафаел Испытания на надежность машин, М.1982 ,230с.;
65. Михлин, Владимир Управление надежностью с/х техники. М.: Колос, 1988, 280г.;
66. Налимов, Валерий Теория эксперимента. М. Наука, 1986, 99 с.;
67. Проников , Александр Надежность машин, М.: Машиностроение, 1988, 592с.;
68. Спицин, Иван Новые технологические процессы восстановления деталей. М. 2001 , 43с.;
69. Ульман , Ионна Ремонт сельскохозяйственных машин. М. Колос, 1992 , 493с.;
70. Хохлов, Иван Проблемы механизация горного земледелия, Тбилиси, 1965 ,160с.;
71. Шадричев, Василий – Основы Выбора рационального способа восстановления автотракторных деталей металлопокрытиями. М. 1992, 296с.;

დანართები

შემთხვევითი რიცხვების ცხრილი დანართი1

15	77	01	64	69	69	58	40	81	16	60	20	00	84	22	28	26	46	66	36	86	66	17	34	49
85	40	51	40	10	15	33	94	11	65	57	62	94	04	99	05	57	22	71	77	99	68	12	11	14
47	69	35	90	95	16	17	45	86	29	16	70	48	02	00	59	33	93	28	58	34	32	24	34	07
13	26	87	40	20	40	81	46	08	09	74	99	16	92	99	85	19	01	23	11	74	00	79	41	69
10	55	33	20	47	54	16	86	11	16	59	34	71	55	84	03	48	17	60	13	38	71	23	91	83
05	06	67	26	77	14	85	40	52	68	60	41	94	98	18	62	20	94	03	71	60	26	45	17	92
65	50	89	18	74	42	07	50	15	69	86	97	40	25	88	14	17	73	92	07	93	11	93	45	15
59	68	53	31	55	73	47	16	49	79	69	80	76	16	60	58	53	07	04	53	66	94	94	18	13
31	31	05	36	48	75	16	00	21	11	42	44	84	46	84	83	20	49	17	12	21	93	34	61	19
91	59	46	44	45	49	25	36	12	07	25	90	89	55	25	83	47	17	23	93	99	56	14	39	16
63	59	73	21	67	80	00	25	58	25	72	06	12	86	74	54	79	70	85	88	71	58	21	98	48
89	72	47	56	94	78	58	60	65	97	84	79	42	31	49	94	15	31	13	09	45	43	03	82	81
70	51	21	03	18	50	21	99	49	73	06	99	19	24	96	39	43	10	14	12	94	08	55	54	70
14	15	99	60	44	62	72	38	18	36	63	92	61	55	93	77	66	82	10	91	81	51	67	01	47
92	46	90	39	99	64	08	00	97	27	54	96	63	40	54	34	70	27	48	18	68	59	91	83	32
81	23	17	13	01	37	57	92	16	34	15	80	90	25	64	67	77	29	95	84	80	84	84	87	22
87	54	42	46	56	28	89	02	06	98	59	90	74	13	38	98	66	23	20	23	90	55	31	83	448
74	73	84	98	13	11	48	25	33	39	27	36	08	99	57	60	42	88	68	25	22	89	67	83	48
94	55	14	00	97	32	51	92	47	03	92	33	73	20	21	29	77	37	06	98	64	63	34	31	43
69	21	94	26	20	73	90	70	92	76	49	14	60	34	43	90	51	72	11	07	75	94	19	49	40
82	36	36	89	29	87	70	08	71	98	49	00	89	89	99	29	08	02	72	32	68	16	29	82	19
25	06	22	30	87	87	44	48	90	91	38	53	10	60	29	40	07	58	97	84	09	04	33	56	72
82	37	97	60	92	76	39	17	84	34	67	65	52	89	90	62	97	04	33	81	91	27	56	46	35
83	71	07	22	15	17	55	56	82	62	88	83	86	38	14	63	89	39	81	90	25	62	58	68	87
73	13	79	15	12	18	34	22	24	75	56	47	45	22	81	30	82	38	34	52	57	48	30	34	17
91	28	00	57	30	92	12	38	95	21	15	70	78	50	88	01	07	90	72	77	99	53	04	34	75
33	47	55	62	57	08	21	77	31	05	64	74	04	93	42	20	19	09	71	46	37	32	69	69	89

დანართი 2

სტიუდენტის t - კრიტერიუმის მნიშვნელობები 0,05 და 0,1 მნიშვნელოვნობის დონისათვის

თავისუფლების ხარისხის რიცხვი	0,5	0,1	თავისუფლების ხარისხის რიცხვი	0,05	0,1
1	12,706	6,314	18	2,101	1,734
2	4,303	2,920	19	2,093	1,729
3	3,182	2,353	20	2,086	1,725
4	2,776	2,132	21	2,080	1,721
5	2,571	2,015	22	2,074	1,717
6	2,447	1,943	23	2,069	1,714
7	2,365	1,895	24	2,064	1,711
8	2,306	1,860	25	2,060	1,708
9	2,262	1,833	26	2,056	1,706
10	2,228	1,812	27	2,052	1,703
11	2,201	1,796	28	2,048	1,701
12	2,179	1,782	29	2,045	1,699
13	2,160	1,771	30	2,042	1,697
14	2,145	1,761	40	2,020	1,680
15	2,131	1,753	60	2,000	1,670
16	2,120	1,746	120	1,980	1,660
17	2,110	1,740			

დანართი 3

F - კრიტერიუმის მნიშვნელობები 0,2; 0,05 და 0,01 მნიშვნელოვნები

F - კრიტერიუმის მნიშვნელობა **0,2** -ის შემთხვევაში.

f_2	f_1								
	0,2								
	1	2	3	4	5	6	12	24	∞
1	9,5	12,0	13,1	13,7	14,0	14,3	14,9	15,2	15,6
2	3,6	4,0	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5
3	2,7	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,4	2,4
5	2,2	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,1
6	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0
7	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,8
8	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7
9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7
10	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6
11	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,6
12	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5
13	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5
14	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5
15	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5
16	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4
17	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4
18	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4
19	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4
20	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4
22	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,4	1,4
24	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,4	1,3
26	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,4	1,3
28	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,4	1,3
30	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3
40	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,2
60	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2
120	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	1,1
∞	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,0

დანართი 4

F - კრიტერიუმის მნიშვნელობა 0,01 -ის შემთხვევაში.

f_2	f_1									
	0,01									
	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞
1	4052	4999	5403	5625	5764	5859	5981	6106	6234	6366
2	98,5	99,0	99,2	99,3	99,3	99,3	99,3	99,4	99,4	99,5
3	34,1	30,8	29,5	28,7	28,2	27,9	27,5	27,1	26,6	26,1
4	21,2	18,0	16,7	16,0	15,5	15,2	14,8	14,4	13,9	13,9
5	16,3	13,3	12,1	11,4	11,0	10,7	10,3	9,9	9,5	9,0
6	13,7	10,9	9,8	9,2	8,8	8,5	8,1	7,7	7,3	6,9
7	12,3	9,6	8,5	7,9	7,5	7,2	6,8	6,5	6,1	5,7
8	11,3	8,7	7,6	7,0	6,6	6,4	6,0	5,7	5,3	4,9
9	10,6	8,0	7,0	6,4	6,1	5,8	5,5	5,1	4,7	4,3
10	10,0	7,6	6,6	6,0	5,6	5,4	5,1	4,7	4,3	3,9
11	9,7	7,2	6,2	5,7	5,3	5,1	4,7	4,4	4,0	3,6
12	9,3	6,9	6,0	5,4	5,1	4,8	4,5	4,2	3,8	3,4
13	9,1	6,7	5,7	5,2	4,9	4,6	4,3	4,0	3,6	3,2
14	8,9	6,5	5,6	5,0	4,7	4,5	4,1	3,8	3,4	3,0
15	8,7	6,4	5,4	4,9	4,6	4,3	4,0	3,7	3,3	2,9
16	8,5	6,2	5,3	4,8	4,4	4,2	3,9	3,6	3,2	2,8
17	8,4	6,1	5,2	4,7	4,3	4,1	3,8	3,5	3,1	2,7
18	8,3	6,0	5,1	4,6	4,3	4,0	3,7	3,4	3,0	2,6
19	8,2	5,9	5,0	4,5	4,2	3,9	3,6	3,3	2,9	2,5
20	8,1	5,9	4,9	4,4	4,1	3,9	3,6	3,2	2,9	2,4
22	7,9	5,7	4,8	4,3	4,0	3,8	3,5	3,1	2,8	2,3
24	7,8	5,6	4,7	4,2	3,9	3,7	3,3	3,0	2,7	2,2
26	7,7	5,5	4,6	4,1	3,8	3,6	3,3	3,0	2,6	2,1
28	7,6	5,5	4,6	4,1	3,8	3,5	3,2	2,9	2,5	2,1
30	7,6	5,4	4,5	4,0	3,7	3,5	3,2	2,8	2,5	2,0
40	7,3	5,2	4,3	3,8	3,5	3,3	3,0	2,7	2,3	1,8
60	7,1	5,0	4,1	3,7	3,3	3,1	2,8	2,5	2,1	1,6
120	6,9	4,8	4,0	3,5	3,2	3,0	2,7	2,3	2,0	1,4
∞	6,6	4,6	3,8	3,3	3,0	2,8	2,5	2,2	1,8	1,0

დანართი 5

F - კრიტერიუმის მნიშვნელობა 0,05-ის შემთხვევაში.

f_2	f_1								
	0,05								
	1	2	3	4	5	6	12	24	∞
1	164,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	244,9	249,0	254,3
2	18,5	19,2	19,2	19,3	19,3	19,3	19,4	19,5	19,5
3	10,1	9,6	9,3	9,1	9,0	8,9	8,7	8,6	8,5
4	7,7	6,9	6,6	6,4	6,3	6,2	5,9	5,8	5,6
5	6,6	5,8	5,4	5,2	5,1	5,0	4,7	4,5	4,4
6	6,0	5,1	4,8	4,5	4,4	4,3	4,0	3,8	3,7
7	5,6	4,7	4,4	4,1	4,0	3,9	3,6	3,4	3,2
8	5,3	4,5	4,1	3,8	3,7	3,6	3,3	3,1	2,9
9	5,1	4,3	3,9	3,6	3,5	3,4	3,1	2,9	2,7
10	5,0	4,1	3,7	3,5	3,3	3,2	2,9	2,7	2,5
11	4,8	4,0	3,6	3,4	3,2	3,1	2,8	2,6	2,4
12	4,8	3,9	3,5	3,3	3,1	3,0	2,7	2,5	2,3
13	4,7	3,8	3,4	3,2	3,0	2,9	2,6	2,4	2,2
14	4,6	3,7	3,3	3,1	3,0	2,9	2,5	2,3	2,1
15	4,6	3,7	3,3	3,1	3,0	2,9	2,5	2,3	2,1
16	4,5	3,6	3,2	3,0	2,9	2,7	2,4	2,2	2,0
17	4,5	3,6	3,2	3,0	2,8	2,7	2,4	2,2	2,0
18	4,4	3,6	3,2	2,9	2,8	2,7	2,3	2,1	1,9
19	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,3	2,1	1,9
20	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,3	2,1	1,8
22	4,3	3,4	3,1	2,8	2,7	2,6	2,2	2,0	1,8
24	4,3	3,4	3,0	2,8	2,6	2,5	2,2	2,0	1,7
26	4,2	3,4	3,0	2,7	2,6	2,5	2,2	2,0	1,7
28	4,2	3,3	3,0	2,7	2,6	2,4	2,1	1,9	1,7
30	4,2	3,3	2,9	2,7	2,5	2,4	2,1	1,9	1,6
40	4,1	3,2	2,9	2,6	2,5	2,3	2,0	1,8	1,5
60	4,0	3,2	2,8	2,5	2,4	2,3	1,9	1,7	1,4
120	3,9	3,1	2,7	2,5	2,3	2,2	1,8	1,6	1,3
∞	3,8	3,0	2,6	2,4	2,2	2,1	1,8	1,5	1,0

დანართი 6

კორხრენის კრიტერიუმი

ზედა ხუთ პროცენტთან კრიტიკული მნიშვნელობებისათვის ($q = 5\%$)

სტატისტიკისთვის $G = \frac{S^2_{max}}{\sum_{i=1}^k S_i^2}$, განლაგებული დისპერსიის k დამოუკიდებელი

შეფასებებით. თითოეული მათგანი ფლობს v თავისუფლების ხარისხს

$v_1 \backslash v_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	16	36	144	∞
2	0,9985	0,9750	0,9392	0,9057	0,8584	0,8534	0,8332	0,8159	0,8010	0,7880	0,7341	0,6602	0,5813	0,5000
3	9669	8709	7977	7457	7071	6771	6530	6333	6167	6025	5466	4748	4031	3333
4	9065	7679	6841	6287	5895	5598	5365	5175	5017	4884	4366	3720	3093	2500
5	0,8412	0,6838	0,5981	0,5440	0,5063	0,4783	0,4564	0,4387	0,4241	0,4118	0,3645	0,3066	0,2513	0,2000
6	7808	6161	5321	4803	4447	4184	3980	3817	3682	3568	3135	2612	2119	1667
7	7271	5612	4800	4307	3907	3726	3555	3384	3254	3154	2756	2278	1833	1429
8	0,6798	0,5157	0,4377	0,3910	0,3595	0,3362	0,3185	0,3043	0,2926	0,2829	0,2462	0,2022	0,1616	0,1250
9	6385	4775	4027	3584	3286	3067	2901	2768	2659	2568	2226	1820	1446	1111
10	6020	4450	3733	3311	3029	2823	2666	2541	2439	2353	2032	1655	1308	1000
12	0,5410	0,3924	0,3264	0,2880	0,2624	0,2439	0,2299	0,2187	0,2098	0,2020	0,1737	0,1403	0,1100	0,0833
15	4709	3346	2758	2419	2195	2034	1911	1815	1736	1671	1429	1144	0889	0667
20	3894	2705	2205	1921	1735	1602	1501	1422	1357	1303	1108	0879	0675	0600
24	0,3434	0,2354	0,1907	0,1656	0,1493	0,1374	0,1286	0,1216	0,1160	0,1113	0,0942	0,0743	0,0567	0,0417
30	2929	1980	1593	1377	1237	1137	1061	1002	0958	0921	0771	0604	0457	0333
40	2370	1576	1259	1082	0968	0887	0827	0780	0745	0713	0595	0462	0347	0250
60	0,1737	0,1131	0,0895	0,0766	0,0682	0,0623	0,0583	0,0552	0,0520	0,0497	0,0411	0,0316	0,0234	0,0167
120	0998	0632	0495	0419	0371	0337	0312	0292	0279	0266	0218	0165	0120	0083
∞	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000



ქ უ რ ნ ა ლ ი

სასოფლო სამეურნეო ტექნიკის საიმედოობის შესახებ სტატისტიკური მასალის მისაღებად

საგრანტო პროექტი

„ახალი მასალებისა და ტექნოლოგიების დამუშავება მანქანების
საიმედოობის გაზრდისათვის“.

პროექტის ხელმძღვანელი : ჯემალ კაციტაძე

შემსრულებლები:

ივანე კაპანაძე

გიორგი ქუთელია

ილია ბიძინაშვილი

1.სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის დასახელება

2.მანქანის მარკა

3.გამომშვები ქვეყანა და წელი

4.ძრავის მოდელი და სიმძლავრე

5.რაიონი

6.შ.პ.ს „მექანიზატორი“, ფერმერული ან გლეხური მეურნეობა

7.მანქანის სამეურნეო ნომერი

8.მუშაობის დაწყების დრო

9.ნამუშევარი ძრ.სთ-ში

10.მექანიზატორის გვარი, სახელი

მონცემები საიმედოობის მაჩვენებლების შესახებ

1. მცუნებები

მცუნება კვანძი	ძრავი	ტრანსმისია	მართვის სისტემა	ჰიდრაულიკური სისტემა	კვების სისტემა	სხვა
მცუნების დასახელება						
ნამუშევარი მცუნებამდე						
მცუნებათა რიცხვი						
კონსტრუქციული						
საწარმო						
საექსპლუატაციო						
I ჯგუფის სირთულის						
II ჯგუფის სირთულის						
III ჯგუფის სირთულის						
შენიშვნა						

3. მონაცემები მანქანის მოცდენის შესახებ

სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის მოცდენის მიზეზები, რომლებიც გამოწვეულია უწესიერობით. უწესიერობის სახე და მისი აღმოფხვრის ხერხი.	მოცდენის დრო		მანქანის მუშაობის დრო
	საერთო	უწესიერობის აღმოფხვრის შედეგად	

დამატებითი ცნობები მანქანის მუშაობის შესახებ.

დაკვირვებებს აწარმოებდა

მონაცემები შეაგროვა

შეამოწმა

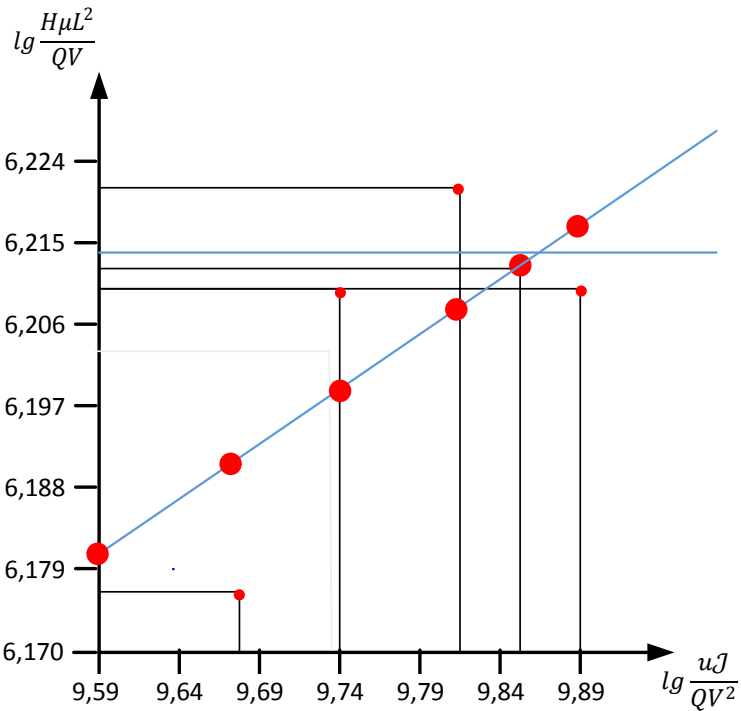
დანართები: 8, 9, 10, 11, 12, 13.

დანართი 8.

ცხ №1

დამოკიდებულება π_1 – სა და π – ს შორის

$\pi_1 = \frac{uJ}{QV^2}$			$\pi = \frac{H\mu L^2}{QV}$		
დენის ძაბვა, u ვ	$\frac{uJ}{QV^2} \cdot 10^8$	$\lg \frac{uJ}{QV^2}$	მიკრო სისალე $H\mu$, მკა	$\frac{H\mu L^2}{QV} \cdot 10^6$	$\lg \frac{H\mu L^2}{QV}$
20	39,1	9,5922	8900	1,48	6,1703
24	46,9	9,6712	9000	1,50	6,1761
28	54,8	9,7388	9700	1,62	6,2095
32	62,6	9,7966	10000	1,67	6,2227
36	70,4	9,8476	9800	1,63	6,2122
40	78,2	9,8932	9700	1,62	6,2095

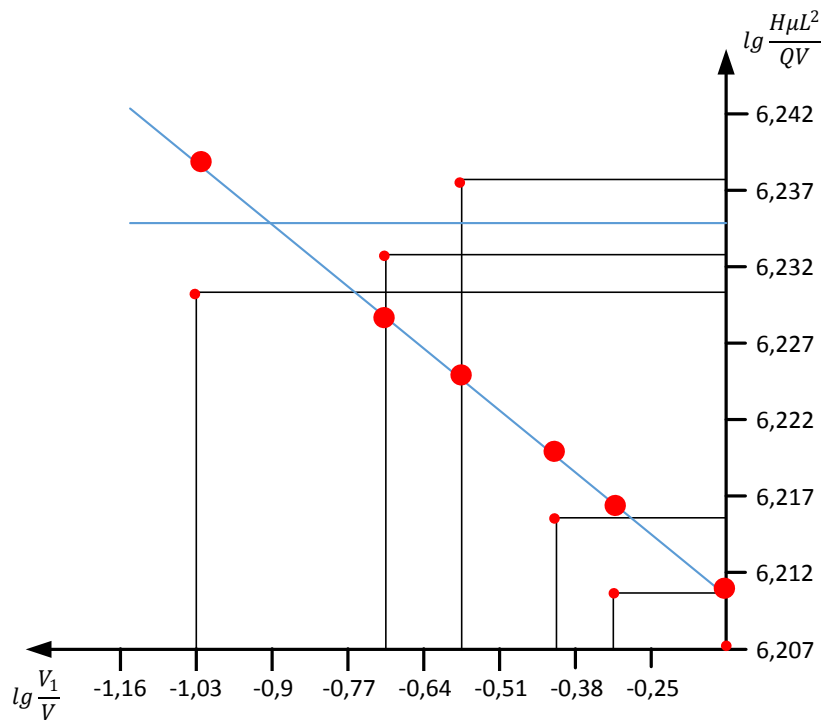


დანართი 9.

ცხ №2

დამოკიდებულება π_2 – სა და π – ს შორის

π_2			$\pi = \frac{H\mu L^2}{QV}$		
დადულების სიჩქარე V მ/წმ	$\frac{V_1}{V}$	$\lg \frac{V_1}{V}$	მიკრო სისაღე $H\mu$, მპა	$\frac{H\mu L^2}{QV} \cdot 10^6$	$\lg \frac{H\mu L^2}{QV}$
2,8	0,093	-1,0315	10200	1,7	6,2304
5,6	0,186	-0,7305	10280	1,71	6,2330
8,3	0,276	-0,5591	10360	1,73	6,2380
11,1	0,370	-0,4318	9840	1,64	6,2148
13,9	0,463	-0,3344	9740	1,62	6,2095
16,7	0,557	-0,2541	9700	1,61	6,2068

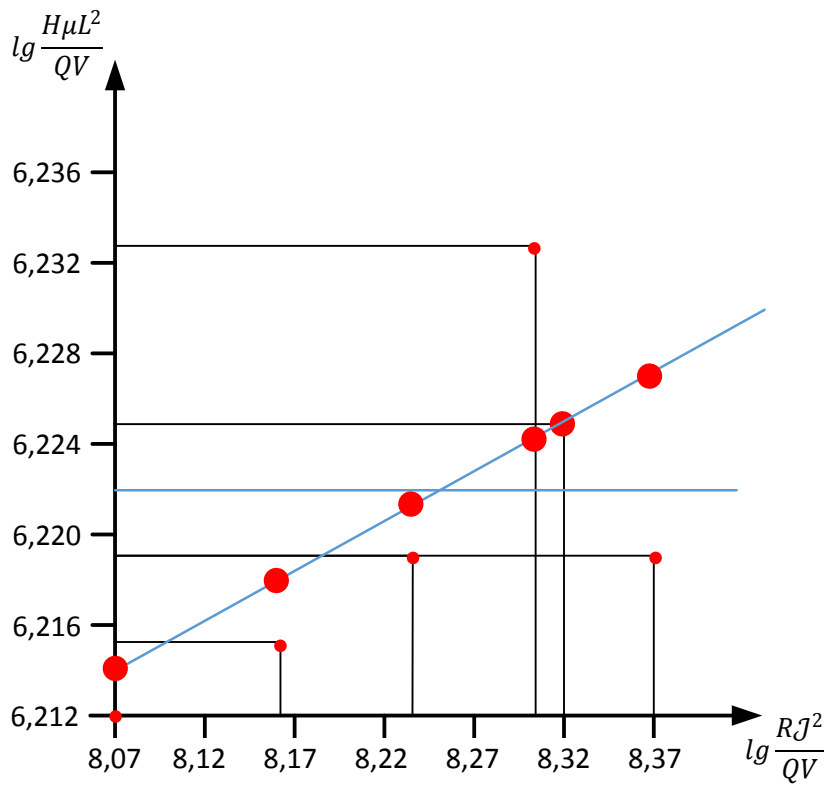


დანართი 10.

ცხ №3

დამოკიდებულება π_3 – სა და π – ს შორის

π_3			$\pi = \frac{H\mu L^2}{QV}$		
ელ წინაღობა R	$\frac{RJ^2}{QV} \cdot 10^7$	$\lg \frac{RJ^2}{QV}$	მიკრო სისალე $H\mu, \text{მპა}$	$\frac{H\mu L^2}{QV} 10^6$	$\lg \frac{H\mu L^2}{QV}$
0,09	11,6	8,0645	9788	1,63	6,2122
0,11	14,2	8,1523	9820	1,64	6,2148
0,13	16,8	8,2253	9900	1,65	6,2175
0,15	19,4	8,2878	10260	1,71	6,2330
0,16	20,7	8,3160	10100	1,68	6,2253
0,18	23,2	8,3655	9880	1,65	6,2175

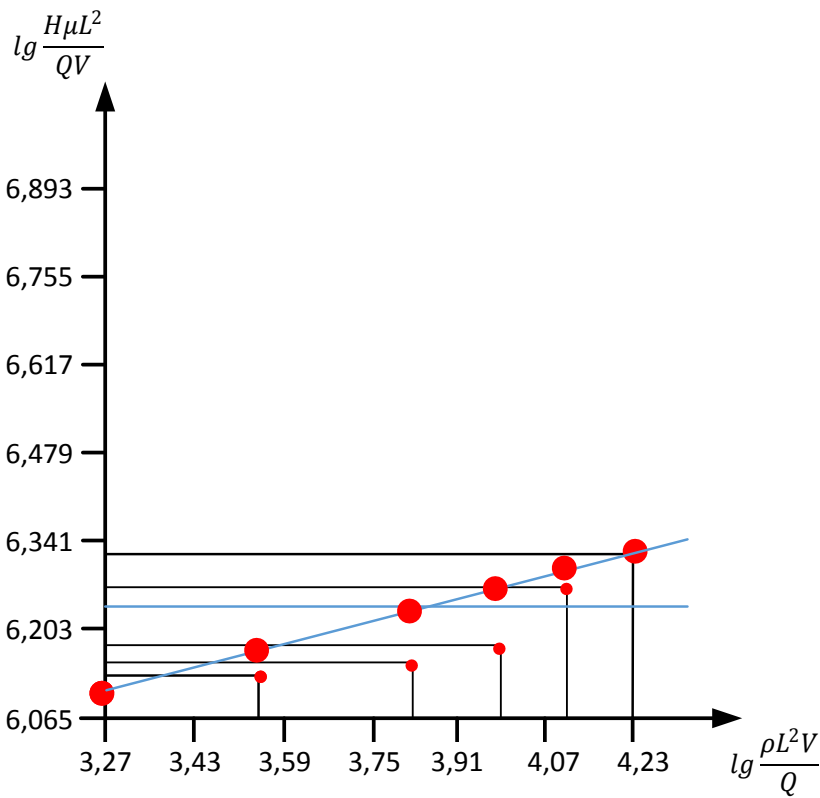


დანართი 11.

ცხ №4

დამოკიდებულება π_4 – სა და π – ს შორის

π_4			$\pi = \frac{H\mu L^2}{QV}$		
დეტალის ზომა L, მ	$\frac{\rho L^2 V}{Q} 10^3$	$lg \frac{\rho L^2 V}{Q}$	მიკრო სისალე $H\mu, მპა$	$\frac{H\mu L^2}{QV} 10^6$	$lg \frac{H\mu L^2}{QV}$
0,10	1,87	3,2718	8800	1,47	6,1673
0,14	3,67	3,5647	8920	1,49	6,1731
0,18	6,1	3,7853	8988	1,50	6,1755
0,22	9,1	3,9590	9022	1,50	6,1771
0,26	12,7	4,1038	10220	1,70	6,2304
0,30	16,9	4,2279	10240	1,71	6,2329

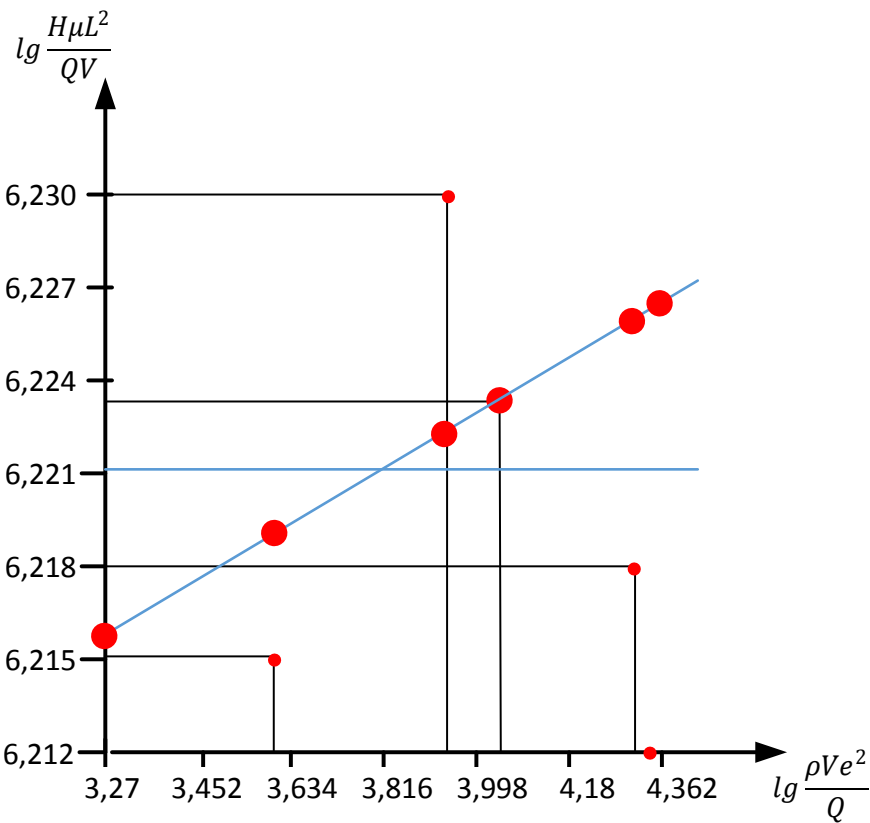


დანართი 12.

ცხ №5

დამოკიდებულება π_5 – სა და π – ს შორის

π_5			$\pi = \frac{H\mu L^2}{QV}$		
ელექტროდის გამოტყორცნა e, მ	$\frac{\rho V e^2}{Q} 10^3$	$\lg \frac{\rho V e^2}{Q}$	მიკრო სისალე H μ , მპა	$\frac{H\mu L^2}{QV} 10^6$	$\lg \frac{H\mu L^2}{QV}$
0,10	1,87	3,2718	9790	1,63	6,2122
0,15	4,21	3,6243	9822	1,64	6,2148
0,20	7,5	3,8751	10200	1,70	6,2304
0,25	11,7	4,0682	10000	1,67	6,2227
0,30	21,1	4,3243	9880	1,65	6,2175
0,35	22,9	4,3598	9800	1,63	6,2122

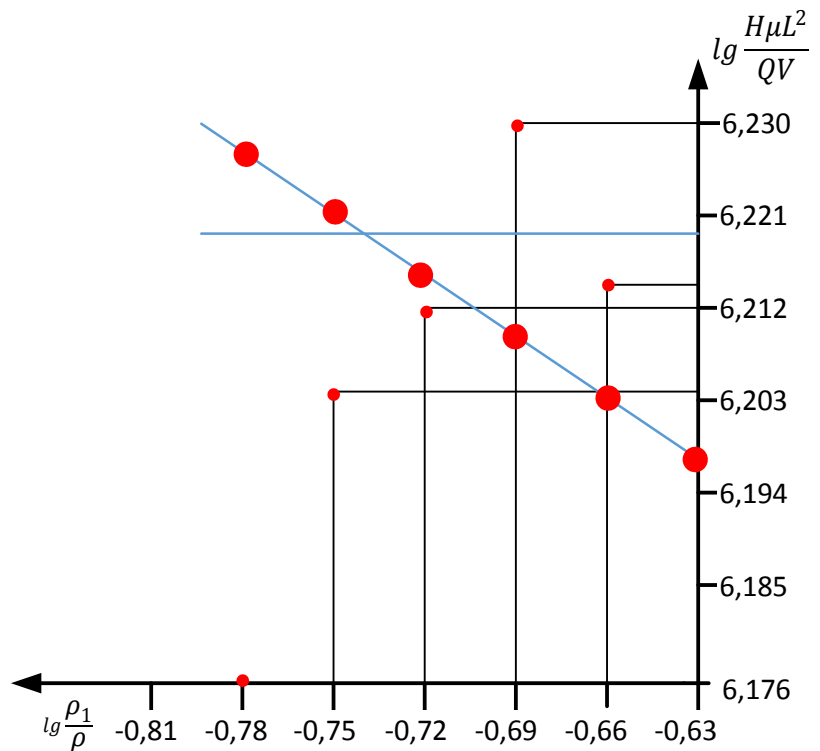


დანართი 13.

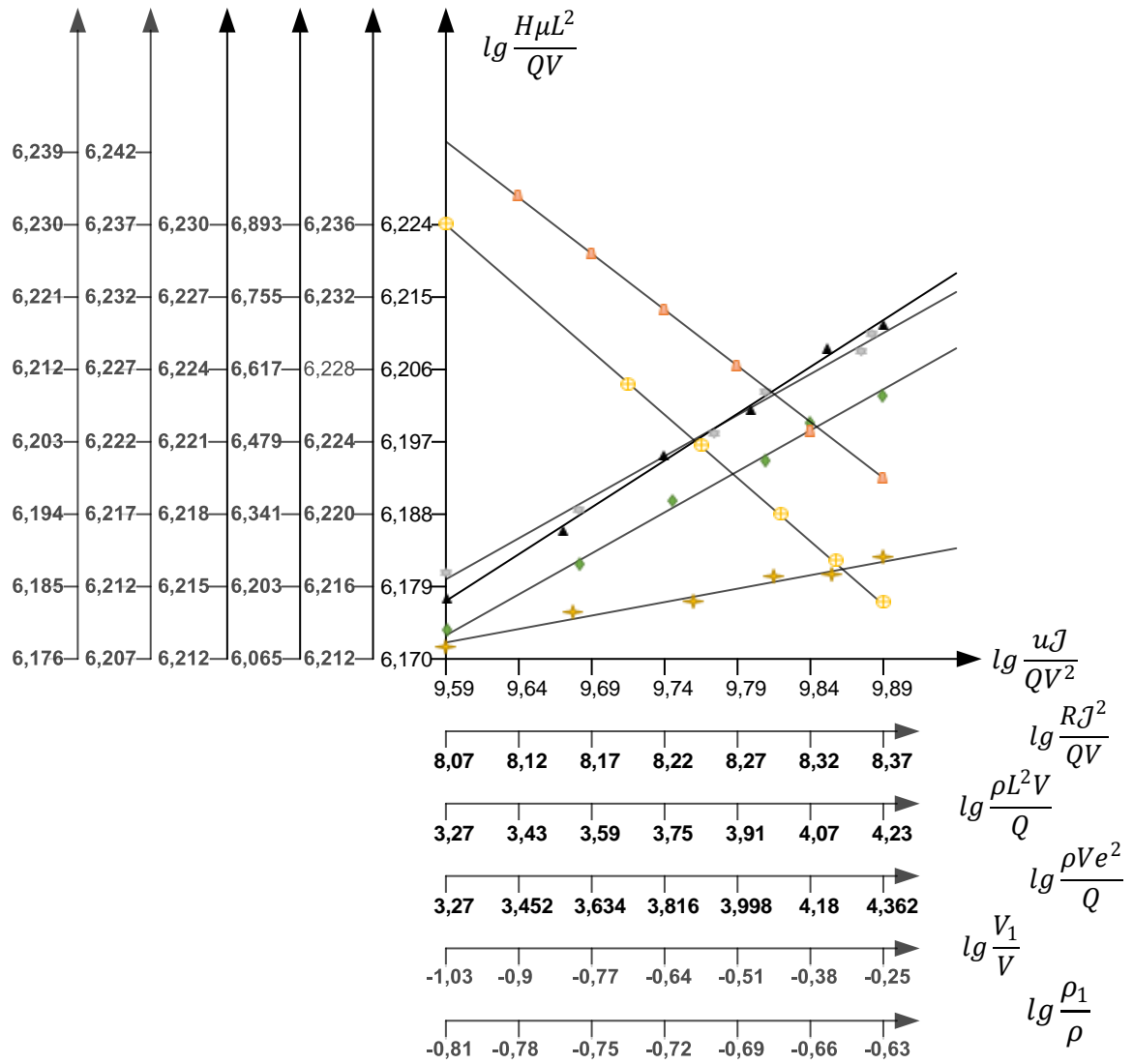
ცხ №6

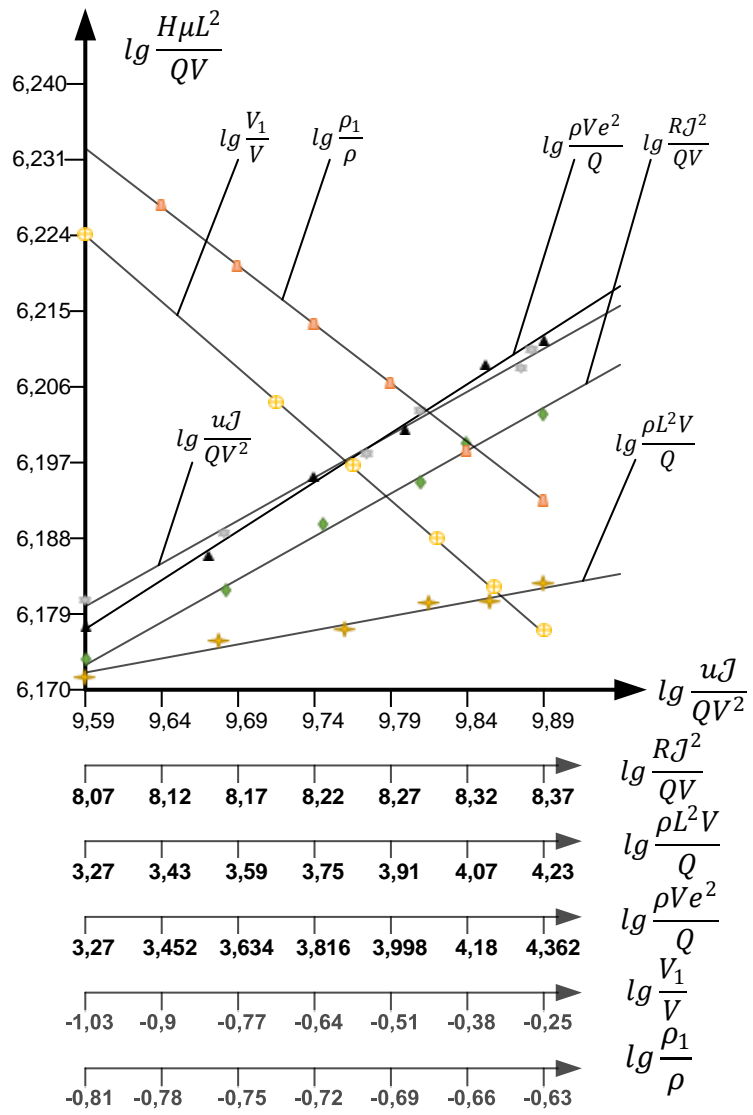
დამოკიდებულება π_6 – სა და π – ს შორის

π_6			$\pi = \frac{H\mu L^2}{QV}$		
ელექტროდის გამოტყორცნა e, მ	$\frac{\rho_1}{\rho} 10^3$	$\lg \frac{\rho_1}{\rho}$	მიკრო სისალე H μ ,მპა	$\frac{H\mu L^2}{QV} 10^6$	$\lg \frac{H\mu L^2}{QV}$
0,10	0,167	-0,7773	9000	1,50	6,1761
0,15	0,179	-0,7472	9600	1,60	6,2041
0,20	0,192	-0,7167	9800	1,63	6,2122
0,25	0,205	-0,6883	10100	1,70	6,2304
0,30	0,218	-0,6615	9860	1,64	6,2148
0,35	0,231	-0,6334	9220	1,54	6,1875



დანართები:14,15







**SCIENTIFIC AND TECHNICAL
UNION OF MECHANICAL ENGINEERING
BULGARIA
AWARDS**

A

DIPLOMA
**FOR THE PARTICIPATION IN THE
V INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONGRESS**



AGRICULTURAL MACHINERY 2017
TO

G. Kutelia, doctoral student

for the report

Improving the reliability of agricultural machinery, using the method of restoration of parts
under submerged arc welding, and its technical and economic evaluation

Prof. D.SC. Eng. Georgi Popov
Chairman of the
Scientific-Technical Union of Mechanical Engineering

Varna

21-24.06.2017





INTERNATIONAL SOCIETY FOR ENGINEERING RESEARCH AND DEVELOPMENT

International Conference on
Recent Innovations in Engineering and Technology

Certificate

This is to certify that *Giorgi Kutelia* has presented a paper
entitled *“Increase in wear resistance and resource of
ploughshares of the agricultural plows working in mountainous
conditions of Georgia”* at the International Conference on
Recent Innovations in Engineering and Technology (ICRIET)
held in Bucharest, Romania on 24th-25th February 2018.



[Signature]

Chairman

International Society for Engineering Research and Development



**SCIENTIFIC AND TECHNICAL
UNION OF MECHANICAL ENGINEERING BULGARIA
AWARDS**

DIPLOMA

**FOR THE PARTICIPATION IN THE
VI INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONGRESS
AGRICULTURAL MACHINERY 2018**



TO

Giorgi Kutelia

FOR THE REPORT

FORMATION ISSUES OF TEA PLANTATIONS

Georgi Popov
Chairman of the Scientific-Technical Union
of Mechanical Engineering



Prof. D.Sc. Eng. Georgi Popov
Chairman of the Scientific-Technical Union
of Mechanical Engineering

25 - 28.06.2018, Burgas, Bulgaria

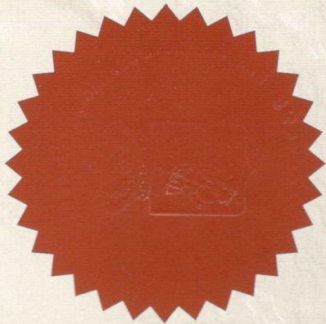


საქართველოს ინფორმაციული საკომუნიკაციო სისტემების ეროვნული ცენტრი
საქკაბეიტი

კ ა ბ ე ნ ტ ი

P 6601
ბაგოგონება

დასახელება: დანადგარი სახნისების მსგავსი დეტალების აღდგენისათვის
პატენტფორმული: ჯემალ კაციტაძე, ვლადიმერ მირუაშვილი, გიორგი ქუთელია
ბაგოგონებულ: ჯემალ კაციტაძე, ვლადიმერ მირუაშვილი, გიორგი ქუთელია



ძალაში შესვლის თარიღი: 2015-09-09
გაცემის თარიღი: 2017-01-24

ნიკოლოზ შიბიტიძე
თავმჯდომარე



საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი
საქპატენტი

პ ა ტ ე ნ ტ ი

U 2018 1995 Y
სასარგებლო მოდელი

დასახელება: მოწყობილობა ფლუსის ქვეშ ელექტრორკალური
დადუღებით დეტალების აღსადგენად
პატენტფლობელი: გიორგი ქუთელია
გამომგონებელი: გიორგი ქუთელია

განაცხადის შეტანის თარიღი: 21-07-2017

რეგისტრაციის თარიღი: 04-12-2018



მანანა ფრუიძე

თავმჯდომარის მოვალეობის შემსრულებელი