

# ირაკლი ზაკუტაშვილი

ექსპლუატაციის პროცესში ავტომობილების  
საიმედოობის უზრუნველყოფის მეთოდების სრულყოფა

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, 0175, საქართველო  
ივლისი, 2013

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

## სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელის მომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ირაკლი ზაკუტაშვილის მიერ შესრულებულ სადოქტორო ნაშრომს დასახელებით: **„ექსპლუატაციის პროცესში ავტომობილების საიმედოობის უზრუნველყოფის მეთოდების სრულყოფა“** და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტზე სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

ივლისი, 2013

ხელმძღვანელი: ვ. ლეკიაშვილი -----

რეცენზენტი: მ. შილაკაძე -----

რეცენზენტი: პ. დოლიძე -----

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2013

ავტორი: ზაკუტაშვილი ირაკლი

დასახელება: „ექსპლუატაციის პროცესში ავტომობილების  
საიმედოობის უზრუნველყოფის მეთოდების  
სრულყოფა“

ფაკულტეტი: სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: „\_\_\_“ \_\_\_\_\_ 2013

ინდივიდუალური პროვინებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

---

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

## რეზიუმე

### ექსპლუატაციის პროცესში ავტომობილების საიმედოობის უზრუნველყოფის მეთოდების სრულყოფა.

ავტომობილების გამოყენების ეფექტიანობის პოზიციებიდან გამომდინარე განსაკუთრებული ყურადღება გამახვილებულია მათი ტექნიკური მდგომარეობის შენარჩუნებაზე გაწეული საექსპლუატაციო ხარჯების შემცირებისკენ. ეს განპირობებულია სხვადასხვა საექსპლუატაციო პირობებში ტექნიკური მდგომარეობის თანდათანობითი გაუარესებით, რაც აისახება მტყუნებებისა და უწესივრობების ინტენსიურობით.

საავტომობილო ტრანსპორტის მოძრავი შემადგენლობის ტექნიკური ექსპლუატაციის დებულებები და პრინციპებით გათვალისწინებულია და "რეგლამენტით" განსაზღვრულია ავტომობილებზე განსახორციელებელი ტექნიკური ზემოქმედების ფორმები.

მოცემული ნაშრომი ეხება აღნიშნული საკითხების გამოკვლევას მსუბუქი ავტომობილების მაგალითზე და მოიცავს ტექნიკური ზემოქმედების მეთოდებისა და ფორმების გაუმჯობესებას. იგი ითვალისწინებს უმტყუნებლობის პროგნოზირების სტატისტიკური და დიაგნოსტიკის მეთოდების ურთიერთშეხამებას და შესაბამისად მათი გამოყენების ზონების დადგენას გარბენის მიხედვით, აგრეთვე დიაგნოსტიკის ოპტიმალური პერიოდულობის განსაზღვრას.

**ნაშრომის მიზანია:** ექსპლუატაციის პროცესში ავტომობილების საიმედოობის მართვის მეთოდების სრულყოფა ტექნიკური ზემოქმედებით, მათ შორის დიაგნოსტიკის რეჟიმების პარამეტრების გაუმჯობესების გზით.

საკითხის თანამედროვე მდგომარეობის ანალიზის საფუძველზე და აღნიშნული მიზნის მისაღწევად ფორმირებული იქნა კვლევის ამოცანები:

- ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირების სტატისტიკური და დიაგნოსტიკის შეთავსების მეთოდის დამუშავება;
- დიაგნოსტიკის ოპტიმალური პერიოდულობის განსაზღვრის მეთოდის დამუშავება.

ნაშრომის მეცნიერულ სიახლეს წარმოადგენს ავტომობილების მექანიზმებისა და სისტემების და რესურსების პროგნოზირების მეთოდის დამუშავება. დიაგნოსტიკის შესრულების პერიოდულობის ოპტიმიზირება სისტემებისა და მექანიზმების მიხედვით.

ნაშრომი მოიცავს თეორიულ და ექსპერიმენტულ კვლევებს. კვლევის ობიექტად აღებული იქნა მსუბუქი ავტომობილები ექსპლუატაციის სხვადასხვა პირობებისთვის.

ნაშრომის თეორიულ ნაწილში პირველ ეტაპზე მოხდა ავტომობილების სისტემებისა და მექანიზმების მიხედვით უმტყუნებლობის პროგნოზირება სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით და პროგნოზირება ტექნიკური დიაგნოსტიკით. შემდეგ მოხდა მათი ურთიერთშეჯერება. დამუშავებულ მეთოდს საფუძვლად უდევს საკვლევი სისტემების და

მექანიზმების ტექნიკური მდგომარეობის პარამეტრების ცვლილების კანონზომიერების გამოვლენა.

ამოცანის მოდელირება განსაზღვრული იქნა აღნიშნული პარამეტრების დასაშვები ზღვრებიდან გამოსვლის თავიდან აცილების დროს ან გარბენის ოპტიმიზაციის კრიტერიუმად შერჩევის გზით.

მეორეს მხრივ, ტექნიკური დიაგნოსტიკის გამოყენებით, ტექნიკური მდგომარეობის მართვა დაკავშირებულია მისი შესრულების პერიოდულობის ოპტიმიზირებასთან, როდესაც კრიტერიუმად აღებულია, როგორც უმტყუნებლობის მაღალი დონე, ასევე დიაგნოსტიკის და მუშაობის უნარის აღდგენის კუთრი ხარჯები. ამ მხრივ დამუშავებული მეთოდი ითვალისწინებს ოპტიმალურობის კოეფიციენტის გამოვლენას, რაც ამოცანის ამოხსნას ამარტივებს და ხელმისაწვდომს ხდის კონკრეტული სისტემებისა და მექანიზმების დიაგნოსტიკის დროს.

ნაშრომის ექსპერიმენტულ ნაწილში თანმიმდევრობით მოცემულია სტატისტიკური მონაცემების დამუშავებით მიღებული საკვლევი ავტომობილების სისტემებისა და მექანიზმების საიმედოობის მაჩვენებლები. განსაკუთრებული ყურადღება აქვს დათმობილი საკონტროლო-დიაგნოსტიკური ოპერაციების ფაქტობრივი შესრულების პერიოდულობის დადგენას, მან თბილისის პირობებისთვის შეადგინა დაახლოებით 20,0 ათასი კმ. ე.ი. წელიწადში ორჯერ. შესწავლილი იქნა დიაგნოსტიკის ეკონომიკური მაჩვენებლები როგორც ელექტრული მართვის სისტემებისთვის, ისე კონკრეტული უწყისივრობის აღმოჩენისათვის.

გამოვლენილი იქნა უმტყუნებლობის, ხანგამძლეობის და სარემონტო ვარგისიანობის რაოდენობრივი მახასიათებლები, მტყუნებათა განაწილების კანონზომიერებები და მათი შემფასებელი პარამეტრები.

შესრულდა თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ერთობლივი ანალიზი. უმტყუნებლობის პროგნოზირების ორივე მეთოდის შეთავსებით განსაზღვრული იქნა აღნიშნული მეთოდების გამოყენების ზონები გარბენის მიხედვით. ტექნიკურ-ეკონომიკური კრიტერიუმით დადგენილი ზონები მიუთითებენ დიაგნოსტიკის გამოყენების უპირატესობაზე იმ პირობით, რომ ეკონომიკური მაჩვენებლები დასაშვებ ზღვრებში იქნება შენარჩუნებული. დამუშავებული მეთოდები მისაღებია ავტომობილის ნებისმიერი სისტემისა და მექანიზმისათვის მხოლოდ მოძრაობის უსაფრთხოებაზე მოქმედი სისტემებისთვის საჭიროა შემოღებული იქნას დამატებითი კრიტერიუმი.

დიაგნოსტიკის პერიოდულობის განსაზღვრა შესრულდა ექსპერიმენტით გამოვლენილი მაჩვენებლების მიხედვით და ოპტიმალურმა სიდიდემ შეადგინა 20.0 ათასი კმ. სამუხრუჭე სისტემისთვის და 60.0 ათასი კმ. საჭის სისტემისთვის, რაც რეალურ პირობებთან შესაბამისობაშია.

აღნიშნული მეთოდების პრაქტიკული რეალიზაციის შედეგად მიღებული იქნა შესაბამისი ძირითადი დასკვნები.

დამუშავებული იქნა უმტყუნებლობის სტატისტიკური პროგნოზირებისა და ტექნიკური დიაგნოსტიკის შეთავსების რუკა. იგი შედეგების პრაქტიკაში რეალიზების საშუალებას იძლევა და მოიცავს კონსტრუქცი-

ული ელემენტებისა და კვანძების გარბენებს, მათ შესაბამის უმტყუნებო მუშობის ალბათობებს და პროგნოზირების შეთავსებული მეთოდების მიზანშეწონილების ინფორმაციას.

შემოთავაზებული მეთოდით განსაზღვრული იქნა საკონტროლო-დიაგნოსტიკური ოპერაციების შესრულების პერიოდულობა სამუხრუჭე და საჭით მართვის სისტემებისათვის. სამუხრუჭე სისტემისათვის მან შეადგინა 20,0 ათასი კმ, რომელიც უზრუნველყოფს უმტყუნებო მუშობას 0,98 დონეზე, ხოლო საჭის სისტემისათვის 60,0 ათას კმ-ს 0,95 უმტყუნებლობის დონით. მეთოდი იძლევა პერიოდულობის ვარირების საშუალებას უმტყუნებლობის სასურველი დონისა და კუთრი ხარჯების ცვლილების მიხედვით.

ავტომობილის ელექტრული მართვის მქონე სისტემებისა და მექანიზმებისათვის დიაგნოსტიკების პერიოდულობის დადგენისა და კორექტირების აუცილებელი პირობას წარმოადგენს მომსახურების აუცილებელი ხარჯების ფარდობასა და ოპტიმალურობის კოეფიციენტებს შორის კავშირის გამოვლენა.

მტყუნებათა ინტენსიურობის მიხედვით განსაზღვრული პერიოდულობის მნიშვნელობები იძლევიან ტექნიკური მდგომარეობის ოპტიმალური მართვის საშუალებას ექსპლუატაციის პროცესში.

## Abstract

### Perfection of the methods providing automobiles Reliability in the operating process

Resulting from efficiency positions of automobiles application, the special attention is paid to keeping of their technical state to reduce the operation expenses made. It is determined by gradual impairment of the technical state in the different operational conditions, reflected by the intensiveness of breakdowns and malfunctions.

The provisions and principles of technical operation for the moving contingent of automobile transport provide and “regulations” define technical impact forms on automobiles.

The given thesis concerns the research of the specified points with the example of light vehicles and includes the technical influence methods and forms improvement. It provides the inter combination of statistic and diagnostic methods of malfunctions prognosis and consequently the determination of their application zones according to the mileage, and the determination of optimum periodicity of diagnostics as well.

**The aim of the thesis:** the perfection of the control methods of automobile reliability by the technical impact within the operation process, including improving the parameters of diagnostics regimes.

Based on the analysis of the current state of the point and for the achievement of the specified aim, the research tasks were made out:

- Elaboration of the combination of statistic and diagnostic methods of the technical state;
- Elaboration of the methods determining the optimum periodicity of diagnostics.

**The scientific innovation of the thesis** is represented by the elaboration prognosis method of automobile mechanisms, systems and resources. The optimization of the diagnostics periodicity according to the systems and mechanisms.

The thesis includes theoretic and experimental studies. The objects of the studies will be the light vehicles for different conditions of the operation.

In the theoretic part of the thesis at the first stage, the malfunctions prognosis was made according to the automobile mechanisms and systems, according to the statistics data and prognosis with technical diagnostics. Then their inter-reconciling was made. The basis for the elaborated method is the reflection of the parameters variations regularities of the technical state of systems and mechanisms being studied.

The modeling of the task was determined during the avoidance of the specified parameters out of the permissible limits or by selecting optimization criterion of the mileage.

On the other hand, by the application of the technical diagnostics, the technical state control is in the connection with the optimization of its fulfillment periodicity, the criterion taken both the high level of malfunction and diagnostics

and working skill recovery fixed expenses. With this the elaborated method provides the reflection of the optimality ratio that simplifies the task solution and makes available the diagnostics time of specific systems and mechanisms.

In the experimental part of the thesis, the indicators of the reliability of studied automobile systems and mechanisms received by processing statistics data are given gradually. The special attention is paid to the determination of the actual fulfillment periodicity of control-diagnostics operations, it consisted for Tbilisi conditions, about 20,0 thousand km, in other words twice per year. The diagnostics economic indicators were studied both for electrical control systems, and for special malfunction discovery.

The quantitative specifications of malfunctions, durability and repair suitability, malfunctions distribution regularities and their estimating parameters were reflected.

The general analysis of theoretical and experimental studies was made. By combining the both methods of malfunctions prognosis, the zones of the specified method application were determined according to the mileage. The zones, determined by technical-economic criterion indicate to the advantages of the application of diagnostics with the condition, that the economic indicators will be kept within the permissible limits. The elaborated methods are acceptable for any systems and mechanisms of the automobile, other additional criteria should necessarily be brought only for the systems active with the movement security.

The determination of the diagnostics periodicity was completed according to the indicators reflected by the experiment and the optimum quantity consisted 20.0 thousand km for brake gear and 60.0 thousand km for steering system, that is in conformity with the real conditions.

Being the result of the practical realization of the specified methods, the corresponding main conclusions were made.

The map of the combination of malfunctions statistic prognosis and technical diagnostics was elaborated. It gives the opportunity to realize the results in practice and includes the mileage of the constructional parts and units, the information on the advisability of the combining methods of prognosis and probabilities of their corresponding failure-free operation.

By the offered method, the periodicity of control-diagnostics operation fulfillment for brake gear and steering systems was determined. It consisted 20,0 thousand km for brake gear systems, providing failure-free operation on the level of 0,98, and 60,0 thousand km for steering systems with the level of malfunction of 0,95. The method gives the opportunity of the variation of the periodicity according to the desirable level of malfunction and fixed expenses variation.

The necessary condition for the determination and correction of the diagnostics periodicity for the systems and mechanisms of electrical control automobiles is represented by the reflection of the linkage between necessary expenses ratio and optimality ratio.

The meanings of the periodicity defined according to the malfunctions intensiveness give the opportunity for optimal control of the technical state in the operation process.



## შინაარსი

შესავალი .....	13
1. ლიტერატურის მიმოხილვა .....	16
1.1 ავტომობილების ტექნიკური ზემოქმედების ოპტიმიზაციის მეთოდები.....	17
1.2. ტექნიკური მდგომარეობის მართვის მეთოდები.....	26
2. შედეგები და მათი განსჯა .....	38
2.1. თეორიული მეთოდების დამუშავება.....	40
2.1.1. ავტომობილის უმტყუნებლობის სტატისტიკური პროგნოზირების მეთოდის დამუშავება.....	40
2.1.2. პროგნოზირების სტატისტიკური და ტექნიკური დიაგნოსტიკის შეთავსების მეთოდის დამუშავება.....	45
2.1.3. ავტომობილის საკონტროლო–დიაგნოსტიკური ოპერაციების პერიოდულობის განსაზღვრის მეთოდი.....	49
2.2. ექსპერიმენტული ნაწილი.....	59
2.2.1. ექსპერიმენტული კვლევის პირობები და ორგანიზაცია.....	59
2.2.2. ავტომობილის საკონტროლო გამზომი ხელსაწყოების საიმედოობის მაჩვენებლების გამოვლენა.....	63
2.2.3. ძრავის ფუნქციონალური სისტემების მაჩვენებლების გამოვლენა.....	66
2.2.4. სამუხრუჭე სისტემის საიმედოობის მაჩვენებლების გამოვლენა.....	73
2.2.5. გადაბმულობის და გადაცემათა კოლოფის საიმედოობის მაჩვენებლების გამოვლენა.....	78
2.3. დამუშავებული მეთოდების პრაქტიკული რეალიზება და შედეგების შეფასება.....	83
2.3.1. ძრავის გაზგამანაწილებელი სისტემის ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირება.....	84
2.3.2. საკონტროლო–დიაგნოსტიკური ოპერაციების პერიოდულობის განსაზღვრა.....	89
2.3.3. დიაგნოსტიკის ოპტიმალური პერიოდულობის განსაზღვრა.....	93
3. დასკვნა .....	97
გამოყენებული ლიტერატურა .....	100

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1.	რესურსების განაწილების პარამეტრები.....	65
ცხრილი 2.	ძრავის მტყუნებათა პროცენტული განაწილება სისტემების მიხედვით.....	68
ცხრილი 3.	ძრავის სისტემის საიმედოობის მალიმიტირებელი დეტალები.....	68
ცხრილი 4.	ძრავას სისტემებისა და მექანიზმების მტყუნებათაშორისო ნამუშევარი.....	71
ცხრილი 5.	მტყუნებებისა და უწყისვრობების პროცენტული განაწილება მათი გამოვლენის მეთოდის მიხედვით.....	72
ცხრილი 6.	მტყუნებებისა და უწყისვრობების პროცენტული განაწილება მათი გამოვლენის მეთოდის მიხედვით.....	74
ცხრილი 7.	სამუხრუჭე სისტემის მტყუნებათა პროცენტული განაწილება.....	75
ცხრილი 8.	სამუხრუჭე სისტემის დეტალებისა და კვანძების რესურსების განაწილების პარამეტრები.....	77
ცხრილი 9.	გადაბმულობის საიმედოობის მალიმიტირებელი დეტალების რესურსების განაწილების პარამეტრები.....	80
ცხრილი 10.	ავტომობილის უმტყუნებლობის სტატისტიკური და დიაგნოსტიკური პროგნოზირების შეთავსების კარტა.....	89
ცხრილი 11.	პარამეტრების საანგარიშო ცხრილი.....	91
ცხრილი 12.	საჭის დიაგნოსტიკის ოპტიმალური პერიოდულობის საანგარიშო ცხრილი.....	92
ცხრილი 13.	ავტომობილ "ოპელის" სისტემებისა და მექანიზმების დიაგნოსტიკის პერიოდულობის საანგარიშო ცხრილი.....	95

## ნახაზების ნუსხა

ნახაზი 1.	მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრის ცვლილება გარბენის ზრდის მიხედვით.....	20
ნახაზი 2.	პერიოდულობის განსაზღვრა პარამეტრის დასაშვები დონის მიხედვით.....	21
ნახაზი 3.	დიაგნოსტიკური პარამეტრის წინსწრების მნიშვნელობის ფორმირების სქემა წრფივი რეალიზაციის დროს.....	30
ნახაზი 4.	კვლევის მეთოდოლოგიური სქემა.....	39
ნახაზი 5.	კუთრი ხარჯების ცვლილება პარამეტრის დასაშვები დონისაგან დამოკიდებულებით.....	44
ნახაზი 6.	კონსტრუქციული ელემენტის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა და სტატისტიკური პროგნოზირების (სპ) და ტექნიკური დიაგნოსტიკის (ტდ) გამოყენების ზონები.....	46
ნახაზი 7.	უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა, ტექნიკური მდგომარეობის პარამეტრის სხვადასხვა ნიშნელობისათვის.....	52
ნახაზი 8.	დიაგნოზის შეცდომისა და ცდომილების ცვლილების საანგარიშო სქემა.....	55
ნახაზი 9.	ოპტიმალურობის მრუდი ნორმალური განაწილების დროს...	57
ნახაზი 10.	ოპტიმალურობის მრუდი განაწილების ექსპონენციალური კანონის შემთხვევაში.....	57
ნახაზი 11.	ავტომობილების ტესტირებაზე განაცხადების დღიური განაწილების სიმჭიდროვის მრუდი.....	60
ნახაზი 12.	დიაგნოსტიკების ხანგრძლივობის განაწილების სიმჭიდროვის მრუდი.....	62
ნახაზი 13.	ძრავის ზეთის წნევის გადამწოდის – 1 და მანომეტრის – 2 უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის მრუდები.....	64
ნახაზი 14.	ძრავის გაგრილების სისტემის ტემპერატურული გადამწოდის –1 და თერმომეტრის – 2 უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის მრუდები.....	65
ნახაზი 15.	უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის მრუდები.....	69
ნახაზი 16.	უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის მრუდები.....	70

ნახაზი 17.	მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრები.....	70
ნახაზი 18.	გარბენის ერთეულზე მისული რაოდენობა. დამუხრუჭებათა რაოდენობის განაწილების სიმჭიდროვის მრუდი.....	74
ნახაზი 19.	რესურსების განაწილების სიმჭიდროვის მრუდი.....	77
ნახაზი 20.	გადაბმულობის და მექანიკური გადაცემათა კოლოფის გადართვების რაოდენობის განაწილების სიმჭიდროვის მრუდი.....	79
ნახაზი 21.	გადაბმულობის მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრის ცვლილება გარბენის მიხედვით.....	81
ნახაზი 22.	ავტომატურ გადაცემათა კოლოფში ზეთის შეცვლის ფაქტიური პერიოდულობის განაწილების სიმჭიდროვის მრუდი.....	82
ნახაზი 23.	ძრავის საიმედოობის შენარჩუნების ხარჯების ცვლილების დიაგრამა და პროგნოზირების შეხამებული მეთოდის გამოყენების ზონების გამოვლენა.....	86
ნახაზი 24.	პროგნოზირების ზონების კორექტირება სტატისტიკური მეთოდის დროს.....	87
ნახაზი 25.	პროგნოზირების ზონების კორექტირება ტექნიკური დიაგნოსტიკის მეთოდის დროს.....	88
ნახაზი 26.	სამუხრუჭე სისტემის საკონტროლო–დიაგნოსტიკური მომსახურების პერიოდულობის განსაზღვრა.....	91
ნახაზი 27.	საჭის საკონტროლო–დიაგნოსტიკური მომსახურების პერიოდულობის განსაზღვრა.....	93
ნახაზი 28.	ოპტიმალურობის საშუალო მრუდი ავტომობილ "ოპელის" სისტემებისა და მექანიზმებისათვის.....	94

## შესავალი

ავტომობილების გამოყენების ეფექტიანობის პოზიციებიდან გამომდინარე განსაკუთრებული ყურადღება გამახვილებულია მათი ტექნიკური მდგომარეობის შენარჩუნებაზე გაწეული საექსპლუატაციო ხარჯების შემცირებისკენ. ეს განპირობებულია სხვადასხვა საექსპლუატაციო პირობებში ტექნიკური მდგომარეობის თანდათანობითი გაუარესებით, რაც აისახება მტყუნებებისა და უწესივრობების ინტენსიურობით. იმის და მიხედვით თუ როგორია ავტომობილის საიმედოობის საწყისი მაჩვენებლები და როგორია ექსპლუატაციის პროცესში ამ მაჩვენებლების რეალიზაციის პირობები, მტყუნებებისა და უწესივრობების განვითარების კანონზომიერებებიც შესაბამისი იქნება. ამიტომ ამ მაჩვენებლების სასურველ დონეზე შენარჩუნება დაკავშირებულია ორგანიზაციულ–ტექნიკურ ღონისძიებათა კომპლექსზე, რაც გულისხმობს მატერიალური და შრომითი ხარჯების შესაბამის ინტენსიფიკაციას. ასეთ პირობებში მნიშვნელოვანი და აუცილებელია ტექნიკური ზემოქმედების ღონისძიებათა ისეთი კომპლექსის დამუშავება, რომელიც შერჩეული კრიტერიუმით იქნება ოპტიმალური.

საავტომობილო ტრანსპორტის მოძრავი შემადგენლობის ტექნიკური ექსპლუატაციის დებულებები და პრინციპებით გათვალისწინებულია და "რეგლამენტით" განსაზღვრულია ავტომობილებზე განსახორციელებელი ტექნიკური ზემოქმედების ფორმები. ისინი მოიცავენ როგორც პროფილაქტიკურ ოპერაციათა ჯგუფს სისტემებისა და მექანიზმების მიხედვით, ისე შესაცვლელი დეტალების ნომეკლატურას სათანადო საშემსრულებლო რეჟიმების პარამეტრებით და ეკონომიკური მაჩვენებლებით. ტექნიკური ზემოქმედების თითოეული ფორმა და სახეობა მოითხოვს ოპტიმიზირებას შერჩეული კრიტერიუმით კონკრეტული მოდელის და კლასის საავტომობილო მოძრავი შემადგენლობისათვის და კონკრეტული საექსპლოატაციო პირობებისთვის.

ავტომობილებზე განხორციელებული ტექნიკური ზემოქმედების ტექნოლოგიურ სისტემებში მნიშვნელოვანი და განსაკუთრებული ადგილი უკავია ტექნიკურ დიაგნოსტიკას. როგორც ცნობილია მის მიზანს შეადგენს უწყისივრობებისა და მტყუნებათა მიზეზების დადგენა და მუშაობისუ-ნარიანობის რესურსის პროგნოზირება, ხოლო ზოგადად საავტომობილო პარკისათვის "ავადმყოფი" ავტომობილების გამოვლენა ამ მიმართულებით ძირითადად ორი სახის სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები მიმდინარეობს. ერთია ავტომობილის მექანიზმებისა და სისტემების სადიაგნოსტიკო ნიშნებისა და პარამეტრების რანჟირება და დაზუსტება, ხოლო მეორეა დიაგნოსტიკის პერიოდულობის ოპტიმიზირება და ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების განსაზღვრა.

პირველი სახის კვლევებს საფუძვლად უდევს ავტომობილის კვანძების, სისტემების და დეტალების მტყუნებების წარმოქმნის კანონზომიერებების შესწავლა და მათი მიზეზ-შედეგობრივი ანალიზი სათანადო სადიაგნოსტიკო ნიშნების ასახვით, რაც დაკავშირებულია ძვირადღირებული სადიაგნოსტიკო საშუალებების და მოწყობილობა-დანადგარების გამოყენებასთან.

თანამედროვე ავტომობილების ელექტრონული მართვის სისტემებისათვის მისი განხორციელება შესაძლებელია კომპიუტერული პროგრამებით კონკრეტული მარკისა და მოდელის ავტომობილებისათვის მათი სპეციალური საკონტროლო-ინფორმაციული და გამზომი მოწყობილობების გამოყენებით.

მეორე სახის კვლევები მოიცავენ დიაგნოსტიკის რეჟიმების ოპტიმიზაციის ამოცანებს, მისი შესრულების პერიოდულობის, შრომატე-ვადობის და ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების ღირებულებების განსაზღვრის მეთოდების სრულყოფასა და დაზუსტებას ავტომობილის აგრეგატებისა და სისტემების მიხედვით, აგრეთვე დიაგნოსტიკის ადგილისა და როლის ტექნიკური მდგომარეობის უზრუნველყოფის ტექნოლოგიურ პროცესში. ეს საყურადღებოა იმითაც, რომ ელექტრონული

მართვის სისტემების დიაგნოსტიკისათვის გამოყენებული მოწყობილობის საიმედოობა, სიზუსტე და ცდომილების დონე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს რეჟიმების პარამეტრებზე.

ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორები ქმნიან იმის აუცილებლობას, რომ მოიძებნოს ავტომობილების ტექნიკური მდგომარეობის და საერთოდ საიმედოობის მართვის ეფექტური გზები მატერიალური და შრომითი ხარჯების მინიმალური დანაკარგებით.

**სამუშაოს მიზანს** წარმოადგენს ექსპლუატაციის პროცესში ავტომობილების საიმედოობის მართვის მეთოდების სრულყოფა ტექნიკური ზემოქმედებით, მათ შორის დიაგნოსტიკის რეჟიმების პარამეტრების გაუმჯობესების გზით.

საკითხის თანამედროვე მდგომარეობის ანალიზის საფუძველზე და აღნიშნული მიზნის მისაღწევად ფორმირებული იქნა კვლევის ამოცანები:

- ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირების სტატისტიკური და დიაგნოსტიკის შეთავსების მეთოდის დამუშავება;
- დიაგნოსტიკის ოპტიმალური პერიოდულობის განსაზღვრის მეთოდის დამუშავება.

**ნაშრომის მეცნიერულ სიახლეს** წარმოადგენს ავტომობილების მექანიზმებისა და სისტემების და რესურსების პროგნოზირების მეთოდის დამუშავება. დიაგნოსტიკის შესრულების პერიოდულობის ოპტიმიზირება სისტემებისა და მექანიზმების მიხედვით.

ავტომობილების ტექნიკური ექსპლუატაციის აღნიშნული მეთოდების სრულყოფა საექსპლუატაციო პირობების გათვალისწინებით საშუალებას იძლევა ტექნიკური მდგომარეობის და საიმედოობის მართვის პროცესები ეფექტურად იქნას განვითარებული. ეს ხელს შეუწყობს საავტომობილო ტრანსპორტის, როგორც უმნიშვნელოვანესი ფუნქციონალური რგოლის პრობლემების რაციონალურ გადაწყვეტას მოძრაობისა და ეკოლოგიურობის უსაფრთხოების ამაღლების და ტექნიკური ხარჯების მინიმიზაციის თვალსაზრისით.

## 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

ავტომობილების ტექნიკური მდგომარეობის გარკვეულ დონეზე შენარჩუნება და უზრუნველყოფა მრავალ ფაქტორზე დამოკიდებული სარეალიზაციო სისტემას წარმოადგენს. უპირველეს ყოვლისა ამ სისტემის ეფექტიანობა განისაზღვრება საავტომობილო კონსტრუქციების სრულყოფით, დამზადების ტექნოლოგიების მუდმივად განახლებადი განვითარებით. მათში ჩადებული საიმედოობის მაჩვენებლებით. საექსპლუატაციო პირობებისადმი შესაბამისობით და შეგუებით.

მეორეს მხრივ არანაკლებ მნიშვნელოვანი და მეურნეობრივი პოზიციებით გადაწყვეტია ექსპლუატაციის პროცესში მოძრავი შემადგენლობის მუშაობის უნარის ისეთ დონეზე შენარჩუნება, რომელიც უზრუნველყოფს მის ფუნქციონირებას საექსპლუატაციო-ტექნიკური მაჩვენებლების და პარამეტრების განუხრელ დაცვას ტექნიკური დოკუმენტაციით გათვალისწინებული მოთხოვნების მიხედვით. ამან განაპირობა საავტომობილო ტრანსპორტის განვითარების ყველა ეტაპზე საიმედოობის კვლევის ფორმებისა და მეთოდების სრულყოფა-გაუმჯობესება და დღეისათვის იგი სატრანსპორტო ლოჯისტიკური სისტემის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი რგოლია.

საიმედოობის რაოდენობრივი მაჩვენებლების შეფასებამ მოითხოვა შესაბამისი მათემატიკური აპარატის შექმნა. მათემატიკური მეთოდების, მასობრივი მომსახურების თეორიის, მტყუნებათა პროგნოზირების საიმედოობის მაჩვენებლების გაზრდის შესახებ შეიქმნა ცნობილი მეცნიერების ფუნდამენტალური შრომები ტექნიკის სფეროში პრობლემური საკითხების გადაწყვეტისათვის [1-8].

ტექნიკის ისეთი მნიშვნელოვანი სფეროსათვის, როგორცაა საავტომობილო ტრანსპორტი მთელი თავისი ინფრასტრუქტურით და ექსპლუატაციის თავისებურებებით, მნიშვნელოვანია მისი ეფექტური ფუნქციონირება, რასაც განსაკუთრებული ყურადღება ექცეოდა და ექცევა.



ამიტომ მოძრავი შემადგენლობის საიმედოობის კვლევისადმია მიძღვნილი მეცნიერთა შრომები [11-24].

ავტომობილების ტექნიკური მდგომარეობის უზრუნველყოფის და საიმედოობის შესახებ სამეცნიერო-კვლევით მუშაობას ეწევიან სამეცნიერო და სასწავლო ინსტიტუტები საავტომობილო და საერთოდ მანქანათმშენებლობის ქარხნები და ფირმები. საყურადღებო სამუშაოები სრულდება საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში, რ. დვალის სახელობის მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტში, აგრარულ უნივერსიტეტში, საავტომობილო ტრანსპორტის წარმოება-დაწესებულებებში, ავტოსერვისის ცენტრებში და სხვა.

ამ მიმართულებით შესრულებული კვლევების შედეგად გადაწყდა მრავალი აქტუალური ამოცანა ტექნიკურად მზადყოფნის კოეფიციენტის მოძრაობის და ეკოლოგიური უსაფრთხოების ამაღლების და საერთოდ მოძრავი შემადგენლობის ეფექტიანობის გაზრდის თვალსაზრისით.

ამ მხრივ სამეცნიერო კვლევითი მუშაობა შემდეგი მიმართულებით ხასიათდება:

- ტექნიკური ზემოქმედების რეჟიმების ოპტიმიზაციის მეთოდების დამუშავება და სრულყოფა;
- ტექნიკური მდგომარეობის მართვის მეთოდების დამუშავება.

## **1.1 ავტომობილების ტექნიკური ზემოქმედების**

### **ოპტიმიზაციის მეთოდები**

ექსპლუატაციის პროცესში ავტომობილებზე განხორციელებული ტექნიკური ზემოქმედება მოიცავს პროფილაქტიკური მიზნით დაგეგმილ სამუშაოთა კომპლექსს, რომლის მიზანია მუშაობის უნარის და წესიერულობის შენარჩუნება გარკვეული ნამუშევრის განმავლობაში. მასში იგულისხმება როგორც პროფილაქტიკურ ოპერაციათა ფორმირება და მათთვის შესრულების პერიოდულობის განსაზღვრა და კორექტირება, ასევე შესაბამისი სისტემებისა და მექანიზმების დიაგნოსტირების

მოცულობისა და პერიოდულობის დადგენა, რაც ტექნოლოგიური პროცესის აუცილებელ კომპონენტს წარმოადგენს.

ავტომობილების ნამუშევრის ზრდასთან ერთად იცვლება ტექნიკური მდგომარეობის დამახასიათებელი პარამეტრები. ამ ცვლილების კანონზომიერები სხვადასხვა საექსპლუატაციო პირობებში განსხვავდებიან ერთიმეორისაგან. ამიტომ ტექნიკური ზემოქმედების მოთხოვნილებებიც სხვადასხვანაირი იქნება. ეს კი იმაზე მიგვანიშნებს, რომ ტექნიკური ზემოქმედების რეჟიმების პარამეტრების (პერიოდულობა, შრომატევადობა, ხარჯები, ოპერაციათა ჩამონათვალი) სწორ შერჩევაზე იქნება დამოკიდებული ავტომობილების უმტყუნებლობის დონე და საიმედოობის ისეთი კომპლექსური მაჩვენებელი, როგორცაა ტექნიკურად მზადყოფნის კოეფიციენტი.

აღნიშნული პარამეტრების ცვლილებაზე მრავალი ფაქტორის გავლენამ განაპირობა ტექნიკური მომსახურების პერიოდულობის განსაზღვრის მთელი რიგი მეთოდების დამუშავება [13,14,17]. ყველა მათგანს სხვადასხვა დონით ოპტიმიზაციის კრიტერიუმებად აღებული აქვთ უმტყუნებლობის შესაძლო მაქსიმუმი და საექსპლუატაციო-ტექნიკური ხარჯების მინიმუმი, ანუ ნებისმიერი სამეურნეო სფეროს მართვის ძირითადი ეკონომიკური მოთხოვნა – მინიმალური კუთრი ხარჯებით მაქსიმალური ეფექტის მიღება. ამ მხრივ საფუძველს წარმოადგენს პროფ. გ. კრამარენკოს მიერ დამუშავებული ტექნიკურ-ეკონომიკური მეთოდი [13]. იგი ითვალისწინებს პერიოდულობის განსაზღვრას ტექნიკურ მომსახურებასა და მიმდინარე რემონტზე გაწეული ჯამური კუთრი ხარჯების კრიტერიუმს. აღნიშნულ მეთოდს საფუძვლად უდევს ხარჯების ცვლილების მკვეთრად გამოხატული კანონზომიერება იმ პირობით, რომ პერიოდულობის გაზრდით ტექნიკური მომსახურების ხარჯები მცირდება მისი იშვიათად შესრულების გამო, ხოლო მიმდინარე რემონტის ხარჯები იზრდება მტყუნებათა ინტენსიურობის გაზრდის გამო. მათ ჯამს აქვს ექსტრემალური, ამ შემთხვევაში მინიმალური მნიშვნელობა, რომელსაც

შეესაბამება ოპტიმალური პერიოდულობა. ამავე ნაშრომში მოცემულია ოპერაციათა ჩამონათვალისა და მოცულობის კრიტერიუმების რეკომენდაციები აგრეგატებისა და სისტემების მიხედვით. მიმდინარე რემონტის თანხვედრი ოპერაციების შესრულების საშუალო პერიოდულობა განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$l = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n} \quad (1)$$

სადაც  $\sum_{i=1}^n l_i$  არის დასაკვირვებელი ობიექტების საერთო ნამუშევარი;  
 $n$  – მიმდინარე რემონტების ერთნაირი ოპერაციების გამეორების რიცხვი.

განხილული ტექნიკურ-ეკონომიკური მეთოდის გამოყენება მიზანშეწონილი და ეფექტურია ავტომობილების ექსპლუატაციის დასაწყისში და შემდგომ ეტაპებზე არ არის გათვალისწინებული მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრის ზრდის ტენდენციურობა. ეს გარემოება არის მხედველობაში მიღებული ა. მ. შეინინის მიერ დამუშავებულ პერიოდულობის განსაზღვრისა და კორექტირების მეთოდის, როდესაც იგი განსაზღვრულია როგორც უმტყუნებლობის ფუნქცია, ე.ი. ალბათობა იმისა, რომ ნამუშევრის გარკვეულ შუალედში მტყუნება არ მოხდება.

მომსახურების პერიოდულობისათვის იგი შემდეგნაირად განისაზღვრება:

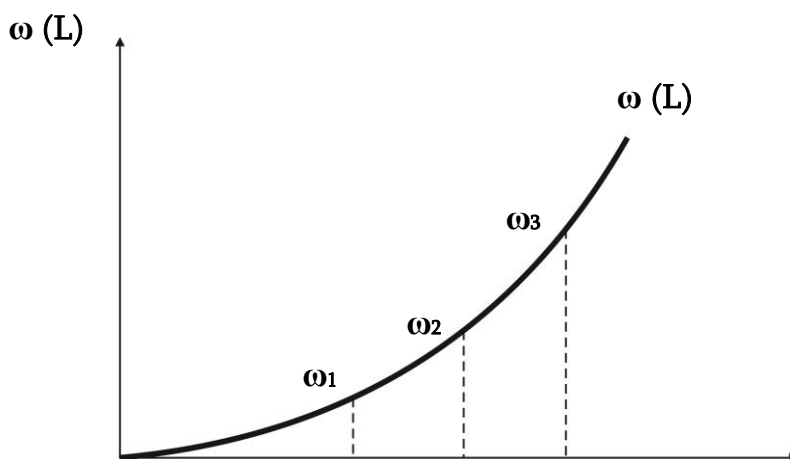
$$P(L_2 - L_1) = e^{[\Omega(L_2) - \Omega(L_1)]} \quad (2)$$

სადაც  $\Omega(L_2)$  არის წამყვანი ფუნქცია და წარმოადგენს ობიექტის მტყუნებათა საშუალო რაოდენობას.

ავტორის მიერ დასაბუთებული დებულებით, როდესაც მომსახურებებს შორის პერიოდში უმტყუნებო მუშობის ალბათობა 0,80-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს, შეიძლება ვისარგებლოთ გამოსახულებით

$$P(L_{\text{მოშ.}}) = 1 - \omega(L_{\text{მოშ.}}) \quad (3)$$

სადაც  $\omega$  არის მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრი და იგი გარბენის ზრდასთან ერთად იზრდება (ნახ. 1).



ნახ. 1. მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრის ცვლილება გარბენის ზრდის მიხედვით

ამ მეთოდის მიხედვით მომსახურების პერიოდულობა უნდა იცვლებოდეს მუდმივად, რაც ორგანიზაციული მიზეზებით შეუძლებელია, ამიტომ ავტორი გვთავაზობს მის დეფერენცირებას და მთელი საექსპლუატაციო ციკლის განმავლობაში მინიმუმ სამი პერიოდის გამოყოფას: პირველი პერიოდია გარბენა 0–დან 5–მდე, რომლისთვისაც მომსახურების პერიოდულობა აიღება მაქსიმალური. მეორე პერიოდი მოიცავს ნამუშევარს 0,5–დან 0,75–მდე, როდესაც პერიოდულობა აიღება შედარებით შემცირებული და მესამე პერიოდი ნამუშევრით 0,75–დან 1–მდე როდესაც მომსახურების პერიოდულობა მინიმალურია.

ტექნიკური მომსახურების პერიოდულობის დასაბუთებისა და კვლევის საკითხებისადმი მიძღვნილი ე. კუზნეცოვის შრომები [14-16]. მის მიერ შემოთავაზებული მოძრავი შემადგენლობის ტექნიკური მომსახურების რეჟიმების ოპტიმიზაციის მეთოდები დაფუძნებულია შეფასების ისეთ მნიშვნელოვან კრიტერიუმებზე როგორებიცაა: აგრეგატებისა და მექანიზმების ტექნიკური მდგომარეობის პარამეტრების დასაშვები დონე, მოძრაობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფა, მოძრავი შემადგენლობის მწარმოებლურობა, უმტყუნებლობის დასაშვები დონე, ტექნიკურ-ეკონომიკური კრიტერიუმები და სხვა.

მოძრაობის უსაფრთხოებაზე მოქმედი სისტემებისა და მექანიზმებისათვის ავტორის თვალსაზრისით უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის

დასაშვები დონე უნდა იყოს 0,90–0,95, ხოლო დანარჩენი სისტემებისათვის 0,85–0,90.

ტექნიკური მდგომარეობის პარამეტრის ზღვრული მნიშვნელობისა და მისი ცვლილების კანონზომიერების კრიტერიუმით ე. კუზნეცოვის მიერ დამუშავებული იქნა მომსახურების პერიოდულობის ოპტიმიზაციის მეთოდი. ამ მეთოდის გამოყენების სფეროა მომსახურების ობიექტები, რომლებსაც ტექნიკური მდგომარეობის პარამეტრის ცვლილების აშკარად გამოხატული ნიშნები აქვთ (ნახ. 2). მათ მიეკუთვნება აგრეგატები, მექანიზმები და კვანძები, რომლებიც მოითხოვენ სარეგულირებელ სამუშაოებს. პერიოდულობა განისაზღვრება შემდეგნაირად:

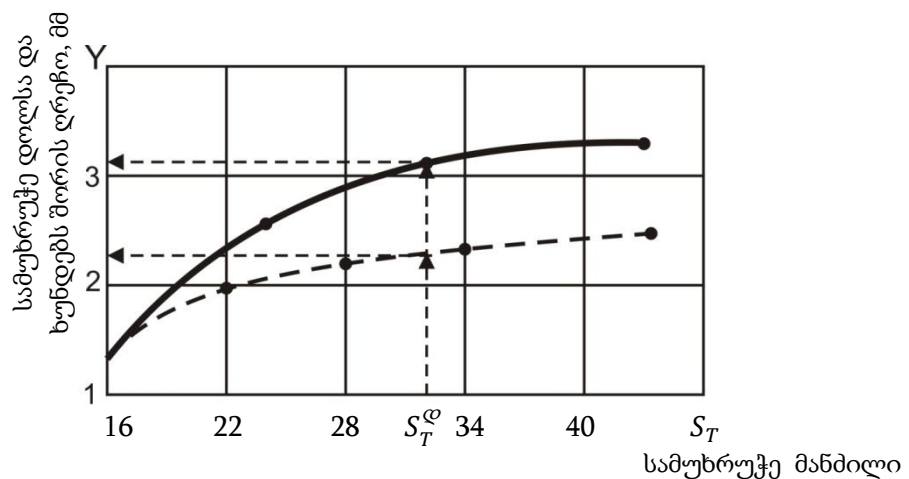
$$l_0 = \frac{Y_{\text{ფ}} - Y_{\text{ბ}}}{\mu \cdot \bar{a}} \quad (4)$$

სადაც,  $Y_{\text{ფ}}$  არის ტექნიკური მდგომარეობის პარამეტრის დასაშვები მნიშვნელობა;

$Y_{\text{ბ}}$  – პარამეტრის ნომინალური მნიშვნელობა;

$\bar{a}$  – ტექნიკური მდგომარეობის ცვლილების საშუალო ინტენსიურობა;

$\mu$  – მაქსიმალური ინტენსიურობის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს განაწილების მრუდს ვარიაციით კოეფიციენტებსა და ალბათობის სარწმუნო დონეს.



ნახ. 2. პერიოდულობის განსაზღვრა პარამეტრის დასაშვები დონის მიხედვით

საკითხის ტექნიკურად მაღალ დონეზე გადაწყვეტის მიუხედავად, აღნიშნული მეთოდი არ ითვალისწინებს ეკონომიკურ მახასიათებლებს, რასაც ხშირად გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს.

პროფ. ა. შეინინის მიერ დამუშავებული იქნა ტექნიკური მომსახურების განსაზღვრის ანალიზური მეთოდი. იგი მოიცავს, როგორც საიმედოობის მაჩვენებლებს და მის მთავარ კონპონენტს – უმტყუნებლობის დონეს, ასევე ეკონომიკურ მახასიათებლებს. მეთოდი ითვალისწინებს პერიოდულობის გავლენას დეტალების რესურსზე, გამოყენებული მასალების ღირებულებას, აგრეთვე შრომით ხარჯებს. ეს კი ძალზე მნიშვნელოვანია, ტექნიკურ მომსახურებასა და რემონტზე გაწეული ხარჯები წარმოადგენენ პერიოდულობის მხოლოდ ერთ ეკონომიკურ კრიტერიუმს, მაგრამ პარალელურად შეიძლება გათვალისწინებული იქნას სხვა ფაქტორებიც: მოძრაობის უსაფრთხოება, ეკოლოგია, სატრანსპორტო პროცესის შეწყვეტით გამოწვეული დანაკარგები, მოცდენები და სხვა.

$$L_{\text{მომს}} = \sqrt[n+1]{\frac{C_{\text{ტა}}(n+1)}{b \cdot n}} \quad (5)$$

სადაც,  $C_{\text{ტა}}$  არის მომსახურების ღირებულება, ლარი;

$b$  – მიმდინარე რემონტების ხარჯის ცვლილების კუთხური კოეფიციენტი, ლარი/1000 კმ<sup>n+1</sup>;

$n$  – ხარისხის მაჩვენებელი.

ტექნიკური მომსახურების ამა თუ იმ ოპერაციის შესრულების დასაბუთებისათვის გამოიყენება ეკონომიკურ-ალბათური მეთოდი. იგი წარმოადგენს ზემოთ აღნიშნული მეთოდების (ტექნიკურ-ეკონომიკური და უმტყუნებლობის დასაშვები დონის მიხედვით) გაერთიანებას და დამყარებულია იძულებითი, პროფილაქტიკური ოპერაციების შესრულებისათვის გაწეული მინიმალური კუთრი ხარჯების გამოვლენის პრინციპზე [17].

განსაკუთრებით საყურადღებო და მნიშვნელოვანია ავტორთა ჯგუფის მიერ დამუშავებული ტექნიკური მომსახურების პერიოდულობის

ოპტიმიზაციის მეთოდი [19]. მის მიხედვით მტყუნებათა კლასიფიკაციის საფუძველზე განსაზღვრულია ოპერაციათა შესრულების პერიოდულობა პარალელური, მიმდევრობითი და ძირითადი სისტემებისათვის. ოპტიმიზაციის კრიტერიუმს წარმოადგენს მტყუნებებისა და უწყესივრობების აღმოფხვრაზე გაწეული კუთრი ხარჯების მინიმუმი. ოპტიმიზაციის მიზნობრივი ფუნქცია შემდეგნაირად გამოისახება:

$$C_{კუთ}(L_{მომს}) = \frac{C_{მტყ}}{t_{საშ}} + \frac{C_{მომს}}{t_{მომს_i}} \rightarrow \min \quad (6)$$

სადაც,  $C_{მტყ}$  და  $C_{მომს}$  – მტყუნებებისა და მომსახურების ღირებულებებია შესაბამისად;

$t_{საშ}$  და  $t_{მომს_i}$  – ნამუშევრის საშუალო და მიმდინარე მნიშვნელობები.

ძირითადი სისტემების და მექანიზმების, მათ შორის სამუხრუჭე სისტემის ელემენტების მტყუნებების პროგნოზირებისათვის პროფ. ვ. ლეკიაშვილის მიერ დამუშავებული იქნა სტატისტიკური მეთოდი [23]. სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე განისაზღვრება სარეგულირებელი პარამეტრების ზღვრულ მდგომარეობამდე ნამუშევრის განაწილების კანონები. ამ კანონებისა და პარამეტრების და უმტყუნებლობის საჭირო დონის მიხედვით მოხდება ელემენტების მტყუნებათა პროგნოზირება და დაინიშნება შესაბამისი მომსახურების რეჟიმი. ამ შემთხვევაშიც პერიოდულობის განსაზღვრის საფუძველს წარმოადგენს კუთრი ხარჯების მინიმუმი, რომელიც შემდეგნაირად განისაზღვრება:

$$C_{კუთ}(L_{მომს}) = \frac{1}{L_{მომს}} \{ C_{მტყ}^{ტმ} [\bar{P}(L_{მომს})] + P_1(L_{მომს}) - P_2(L_{მომს}) + C_{დააგ} + C_{მტყ} \cdot P_2(L_{მომს}) \} \rightarrow \min \quad (7)$$

სადაც,  $C_{მტყ}^{ტმ}$  არის მტყუნებების ღირებულება ტექნიკური მომსახურების დროს;

$C_{მტყ}$  – მტყუნების ღირებულება;

$\bar{P}(L_{მომს})$  – უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის საშუალო მნიშვნელობა;

$P_1(L_{\text{მომ}})$  – დიაგნოსტიკის არასასურველი ალბათობა;

$P_2(L_{\text{მომ}})$  – მტყუნებათა წარმოქმნის (დიაგნოსტიკის შეცდომა) ალბათობა;

$C_{\text{დიაგ}}$  – დიაგნოსტიკის ღირებულება;

$n$  – პერიოდულობის მაქსიმალურ და მინიმალურ მნიშვნელობათა ფარდობა.

როგორც ვხედავთ განხილული მეთოდი მოიცავს დიაგნოსტიკის გამოყენებას პერიოდულობის დადგენისათვის, რაც სწორი შედეგის მიღების აუცილებლობით არის განპირობებული. კუთრი ხარჯები განისაზღვრება საკვლევი ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის სხვადასხვა მნიშვნელობი-სათვის (მაქსიმალურ და მინიმალურ მნიშვნელობებს შორის). მინიმალური კუთრი ხარჯების შესაბამისი პერიოდულობა იქნება ოპტიმალური იმ პირობით, რომ სისტემის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის დონე არ იქნება წინასწარ შერჩეულ დონეზე ნაკლები. ამ შემთხვევაში ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკის საფუძველს წარმოადგენს ექსპლუატაციის პროცესში დამახასიათებელი უწყესივრობების ჩამონათვალი, რომელთა მიხედვითაც შეირჩევა სადიაგნოსტიკო პარამეტრები, განისაზღვრება ნორმატული მაჩვენებლები, საშუალებები, ტექნოლოგია და სამუშაოს შესრულების ორგანიზაცია.

პროფ. ვ. ხარიტონაშვილის მიერ დამუშავებული იქნა პერიოდულობის განსაზღვრის მეთოდი, როდესაც კრიტერიუმს წარმოადგენს საწვავის ხარჯი [11]. ე.ი. პერიოდულობასა და გახარჯულ საწვავს შორის ფუნქციონალური კავშირის გამოვლენა. ავტორი პერიოდულობის სიდიდეს არა გარბენილი კილომეტრებით, არამედ გახარჯული საწვავის მოცულობით განსაზღვრას, რაც ლოგიკური და მისაღებია. მითუმეტეს, რომ გათვალისწინებული იქნება ტექნიკური მდგომარეობა, როგორც საწვავის ხარჯზე მოქმედი ფაქტორებიდან ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კომპონენტი. აღნიშნული მეთოდი მისაღებია ყველა შემთხვევაში, თუ საწვავის ხარჯის აღრიცხვა და კონტროლი სათანადო დონეზეა უზრუნველყოფილი. აქ საყურადღებოა დიაგნოსტიკის პერიოდუ-ლობის განსაზღვრის



მეთოდის, დამუშავებული პროფ. ვ. ვლასოვის მიერ. მეთოდის საფუძველს წარმოადგენს საკვლევი ობიექტის რესურსის გამოვლენა სტატისტიკური მონაცემებით, საიმედოობის მალიმიტირებელი დეტალების ტექნიკური მდგომარეობის ცვლილებების კანონზომიერების განსაზღვრა. პერიოდულობის დადგენა მოიცავს ეკონომიკური და ტექნიკური მაჩვენებლების ოპტიმიზაციას, დიაგნოსტიკის ღირებულებას და ეფექტს, რასაც ის იძლევა, ანუ მტყუნების რისკს დიაგნოსტიკის შემდეგ. ავტორის მიერ დამუშავებულია კორექტირების კოეფიციენტები, რაც აზუსტებს პერიოდულობის მნიშვნელობას. მიუხედავად მრავალმხრივი ფაქტორების გათვალისწინებისა, მოცემული მეთოდი დიდი ნამუშევრის მქონე ავტომობილებისათვის, ხასიათდება ნაკლოვანებებით და არ ასახავს სადიაგნოსტიკო მოწყობილობების სიზუსტეს და დიაგნოსტიკის "შეცდომებს".

როგორც ცნობილია მოძრაობის უსაფრთხოების პოზიციებიდან გამომდინარე განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ავტომობილების მართვის ორგანოების სისტემებისა და მექანიზმების უმტყუნებლობის უზრუნველყოფას. ძირითად მიზანს წარმოადგენს უეცარი, საშიში მტყუნებების წარმოქმნის თავიდან აცილება. ასეთი მტყუნებებით ხასიათდებიან ძირითადად არალითონის მასალისგან დამზადებული ელემენტები, რომელთა ნომეკლატურული რაოდენობა საერთო რაოდენობის დაახლოებით 10-15%-ს შეადგენს სხვადასხვა მოდელისა და მარკის ავტომობილებისათვის (რეზინის შლანგები, დიაფრაგმები, პლასტმასის და სხვა ქიმიური შემადგენლობის მქონე დეტალები). ასეთი დეტალების მტყუნებები ხასიათდებიან განაწილების ექსპონენციალური კანონით, რომლის შემთხვევაშიც მტყუნების პროგნოზირება გაძნელებულია ან საერთოდ შეუძლებელია, დიაგნოსტიკაც არ იძლევა სასურველ შედეგს ან არამიზანშეწონილია. ამიტომაც საავტომობილო ტექნიკაში იშვიათად, მაგრამ მაინც მიმართავენ ელემენტების (კვანძების) რეზერვირებას.

ამ მხრივ საყურადღებოა პროფ. ვ. ლეკიაშვილის მიერ დამუშავებული რეზერვირებული სისტემის ტექნიკური მომსახურების (კონტროლის) პერიოდულობის განსაზღვრის მეთოდი. პნევმატიკურამძრავიანი სამუხრუჭე სისტემის მუშა სამუხრუჭე კამერის მაგალითზე მის მიერ შემოღებული იქნა დიაფრაგმების დარეზერვების სქემა (ერთის ნაცვლად შემოღებული იქნა ორი დიაფრაგმა). ერთი დიაფრაგმის გასკდომის შემთხვევაში მტყუნება არ წარმოიქმნება და მაშასადამე სატრანსპორტო პროცესიც არ შეწყდება. მეორე დიაფრაგმის მწყობრიდან გამოსვლამდე საჭიროა დაზიანებული დიაფრაგმის შეცვლა.

ამ პერიოდულობის განსაზღვრა ხდება შემდეგი გამოსახულებით:

$$L_{\text{გომს}} = L_{\text{საშ}} \sqrt[n]{1 - \sqrt[N]{P_{\text{ს.ს.}}(L)_{\text{გომს}}}} \quad (8)$$

სადაც,  $n$  არის დიაფრაგმების რაოდენობა ( $n=2$ );

$N$  – კამერების რაოდენობა ( $N = 4(6)$ );

$P_{\text{ს.ს.}}(L)_{\text{გომს}}$  – სამუხრუჭე სისტემის უმტყუნებო მუშაობის დასაშვები სიდიდე.

უნდა აღინიშნოს, რომ საბორტე დიაგნოსტიკის გამოყენების შემთხვევაში დამუშავებული იქნა მუდმივი კონტროლის მეთოდი, რომელიც გულისხმობს დიაფრაგმებს შორის წნევის გადამწოდის დაყენებას სათანადო საკონტროლო ნათურით მძღოლის კაბინაში.

ტექნიკური მომსახურების და კონტროლის პერიოდულობის განსაზღვრის განხილულმა მეთოდებმა შექმნეს იმის პირობა, რომ საკითხის ოპტიმიზაცია განხორციელდეს თანამედროვე საავტომობილო კონსტრუქციების თავისებურებების გათვალისწინებით, რაც დაკავშირებულია ელექტრული მართვის სისტემების კომპიუტერული პროგრამებით დიაგნოსტიკის პროცესის სრულყოფასთან.

## 1.2. ტექნიკური მდგომარეობის მართვის მეთოდები

ექსპლუატაციის პროცესში ავტომობილების მუშაობის უნარიანობის აღდგენა (აღდგენის პროცესები) მოიცავს სისტემებისა და მექანიზმების

მუშა პარამეტრების აღდგენას ნომინალურ ან დასაშვებ ზღვრებამდე. ეს დაკავშირებულია ერთის მხრივ სარეგულირებელი პარამეტრების სისტემაში მიყვანას, მეორეს მხრივ მწყობრიდან გამოსული ელემენტების (დეტალების) შეცვლას. ბუნებრივია, ასეთ პირობებში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მტყუნებათა პროგნოზირების ამოცანას. იგი შეიძლება ორი მიმართულებით განხორციელდეს: სტატისტიკური მონაცემების შეგროვების, დამუშავების და ანალიზის საფუძველზე მტყუნებათა კანონზომიერების გამოვლენა, მიზეზებისა და მათი გამომწვევი ფაქტორების და პირობების დახასიათება; სისტემებისა და მექანიზმების დიაგნოსტიკის პროცესის სრულყოფა, სადიაგნოსტიკო საშუალებების შერჩევა და მათი გამოყენების ეფექტიანობა.

აღნიშნული მიმართულებებით შესრულებული კვლევები და მათი შედეგები მოითხოვენ თეორიულ გაანგარიშებებსა და ექსპერიმენტულ დასაბუთებას.

ამ მხრივ განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს კოქსის და სმიტის ნაშრომი, რომელიც ტექნიკური სისტემების აღდგენის პროცესებს ეხება [31]. ავტორების მიერ კლასიფიცირებული იქნა აღდგენის პროცესის სამი ჯგუფი: მარტივი, საერთო და საერთო არასტაციონალური. მარტივი ეწოდება ისეთ დამოუკიდებელ, დადებით და ერთნაირად განაწილებული  $t_1$ ,  $t_2$  და  $t_3$  და ა.შ. ისეთი სიდიდეების თანაფარდობას, რომლებიც არ იქნებიან 0-ის ტოლი.

აღდგენის საერთო პროცესის დროს ნამუშევრების, ობიექტის ექსპლუატაციის დაწყებიდან პირველ შეცვლამდე, განაწილება განსხვავდება შემდგომი შეცვლების ნამუშევრების განაწილებისაგან, მაგრამ ყველა განაწილება, პირველის გარდა, მიიღება ერთნაირი. საერთო არასტაციონალური აღდგენის პროცესის შემთხვევაში მტყუნებამდე განაწილების კანონები შეიძლება განსხვავდებოდეს ერთიმეორისაგან.

ავტომობილების მუშაობის უნარის აღდგენის პროცესის მაჩვენებლებია: დეტალების შეცვლათა განაწილების კომპოზიცია  $F_K(L)$ , მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრი  $\omega(L)$ , და წამყვანი ფუნქცია  $\Omega(L)$ , მათი განსაზღვრის

თანმიმდევრობა და ურთიერთკავშირი ნებისმიერი აღდგენის პროცესისა და ობიექტის მტყუნებამდე ნამუშევრის განაწილების ნებისმიერი კანონის შემთხვევაში შემდეგნაირია: პირველ რიგში განისაზღვრება  $n$ -ური შეცვლის განაწილების კომპოზიციის ფუნქცია  $F_{K_n}(L)$  ამ მიზნით გამოიყენება სტილტიესის ინტეგრალური ფორმულა:

$$F_{K_n}(L) = \int_0^L F_{K_{n-1}}(L-l) dF(l) \quad (9)$$

სადაც,  $L$  და  $l$  – ობიექტის ნამუშევრის (გარბენის) საერთო და მიმდინარე მნიშვნელობებია შესაბამისად.

შემდეგ ეტაპზე განისაზღვრება აღდგენის წამყვანი ფუნქცია  $\Omega(L)$ , რომელიც წარმოადგენს თანმიმდევრულ მტყუნებათა განაწილების კომპოზიციასა და  $0$ -დან  $L$ -გარბენამდე.

$$\Omega(L) = \sum_{n=1}^{\infty} F_{K_n}(L) \quad (10)$$

ბოლოს განსაზღვრავენ ელემენტის (ელემენტების ჯგუფის) მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრს  $\omega(L)$  ე.ი. მტყუნებათა რაოდენობას გარბენის  $L$ ,  $L+\Delta L$  ინტერვალების მიხედვით

$$\omega(L) = \frac{\Omega(L + \Delta L) - \Omega(L)}{\Delta L} \quad (11)$$

მოცემული მეთოდის გაგრძელებასა და სრულყოფას წარმოადგენს ა. შეინინის მიერ აღდგენის პროცესის პარამეტრების ანალიზური გზით განსაზღვრისა და მათი გრაფიკული სახით ინტერპრეტაციის ფორმა. მის მიხედვით გაანგარიშების საფუძველს წარმოადგენს თითოეული ელემენტის ან ელემენტების ჯგუფის რესურსების განაწილების კანონზომიერების პარამეტრები საშუალო რესურსის, ვარიაციის კოეფიციენტის და საშუალო კვადრატული გადახრების გამოვლენა და მათ საფუძველზე აღდგენის პარამეტრების გაანგარიშება.

აღნიშნული საკითხის შემდგომი ოპტიმიზაციის ამოცანას ემსახურება პროფ. ვ. ლეკიაშვილის მიერ დამუშავებული მეთოდი ტექნიკური ზემოქმედების მოთხოვნილებათა ხანგრძლივი პერიოდით პროგნოზირების

შესახებ [20]. პროგნოზირებისათვის საჭირო ორი სახის საწყისი ინფორმაცია: 1. ინფორმაცია, რომელიც ასახავს ავტომობილების აგრეგატების, სისტემებისა და მექანიზმების მიმდინარე ტექნიკური ზემოქმედების ნაირსახეობებს თავისი პარამეტრებით. 2. ინფორმაცია, რომელიც ახასიათებს კონკრეტული ავტომობილების ჯგუფის მუშაობის პარამეტრებს.

პირველი მოიცავს: მიმდინარე ტექნიკური ზემოქმედების სახეობებს და მათ სტრუქტურას; თითოეული სახის ნაკადის პარამეტრს  $\omega_{ტ.ჯ}(L)$  შესაცვლელი დეტალების ნომეკლატურას, ღირებულებას და შეცვლის კოეფიციენტს –  $K_{შეცვ}$ , მიმდინარე რემონტების შრომატევადობებს და შრომით ხარჯებს. მეორე მოიცავს: ავტომობილების რაოდენობას მათი მოდელების მიხედვით; ავტომობილების გარბენებს (ნამუშევარს) ექსპლუატაციის დაწყებიდან; ავტომობილების საგეგმო გარბენებს პროგნოზირების პერიოდისათვის.

ინფორმაციის პირველ წყაროში შემავალი დეტალების შეცვლის კოეფიციენტი სტატისტიკურად იანგარიშება  $i$ -ური დეტალის შეცვლათა რაოდენობის  $R_i$  შეფარდებით მიმდინარე რემონტების იმ რაოდენობასთან  $N_{ტ.ჯ}$ , რომლის დროსაც ამ დეტალის შეცვლაა შესაძლებელი.

$$K_{შეცვ} = \frac{R_i}{N_{ტ.ჯ} \cdot n} \quad (12)$$

სადაც  $n$  არის  $i$ -ური დასახელების დეტალების რაოდენობა.

მოცემული კოეფიციენტები შესაძლებლობას იძლევიან განისაზღვროს არამარტო რაოდენობა, არამედ გახარჯული სათადარიგო დეტალების ღირებულებაც.

$$C_{სათ.დ} = \sum_{i=1}^N C_i \cdot K_{შეცვ} \cdot n \quad (13)$$

სადაც  $C$  არის  $i$ -ური დასახელების დეტალის რაოდენობა.

საბოლოოდ საპროგნოზო პერიოდისათვის ავტორის მიერ მოცემულია ტექნიკური ზემოქმედების სახეობების მიხედვით მათი რაოდენობის საანგარიშო გამოსახულება.

$$N_{ტ.ზ.} = N_{ავტ.} \cdot \sum_{L_{საწყ.}}^{L_{საწყ.} + L_{გვ.}} \cdot \omega_{ტ.ზ.}(L) \quad (14)$$

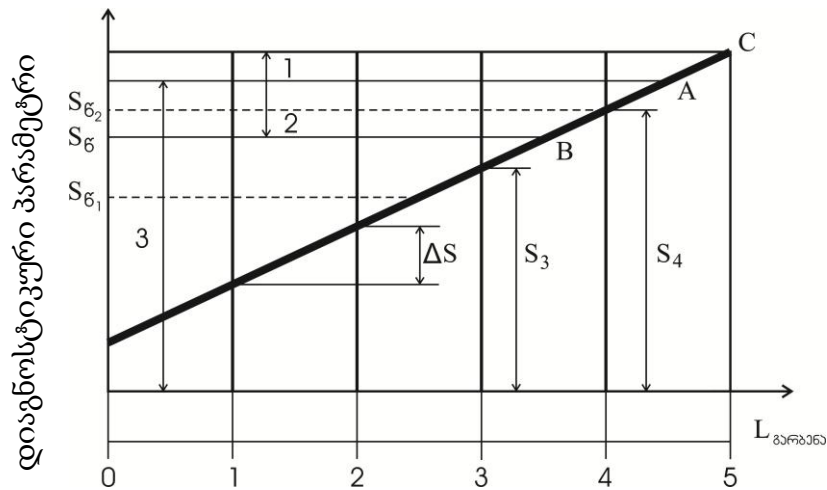
სადაც  $N_{ავტ.}$  არის გარკვეული ავტომობილების რაოდენობა, რომელთაც ერთნაირი საწყისი გარბენები აქვთ.

$L_{გვ.}$  – საგეგმო გარბენები პროგნოზირების პერიოდისათვის.

ტექნიკური ზემოქმედების პროგნოზირების განხილული მეთოდი სამართლიანია ყველა შემთხვევაში, როდესაც იგი სრულდება კონკრეტული ავტომობილების ჯგუფისათვის ან პარკისათვის კონკრეტული საექსპლუატაციო პირობების შემთხვევაში, მაგრამ იგი არ ითვალისწინებს მტყუნებათა წარმოქმნის ალბათობის გამოვლენას დიაგნოსტიკების გზით.

დიაგნოზის დასმა, ანუ დასკვნა ობიექტის მიმდინარე ტექნიკური მდგომარეობის შესახებ მიზნად ისახავს რაიმე ტექნიკური ზემოქმედების გარეშე ობიექტის შემდგომი ექსპლუატაციის შესაძლებლობის გამოვლენას და პროფილაქტიკური ან სარემონტო სამუშაოების საჭიროების დადგენას. ამ მიმართულებით შესრულებული კვლევები [28,34] ძირითადად დაფუძნებულია ძირითად პრინციპებზე, რომელთა მიხედვით ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობა ხასიათდება ერთი ან რამოდენიმე უწყვეტი რეალიზაციის მქონე დიაგნოსტიკური პარამეტრით – S.

ერთი პარამეტრის მქონე მარტივი ობიექტისათვის პარამეტრის შეცვლის არე ( $S_f \rightarrow S_{max}$ ) წარმოადგენს ერთგანზომილებიან ვექტორს, რომელიც განსაზღვრავს ობიექტის მდგომარეობათა სიმრავლეს და მოიცავს, როგორც წესივრულ  $N_1$  ისე უწესივრო  $N_2$  მდგომარეობათა სიმრავლეებს (ნახ. 3).



**ნახ. 3. დიაგნოსტიკური პარამეტრის წინსწრების მნიშვნელობის ფორმირების სქემა წრფივი რეალიზაციის დროს**

- 1 – მტყუნებისწინა მდგომარეობის ზონა; 2 – დიაგნოსტიკის პერიოდულობის შესაბამისი წესივრული მუშაობის მარაგი;
- 3 – წესივრული მდგომარეობის ზონა;
- ა – პროფილაქტიკა; ბ – წესივრულობა; გ – მტყუნება.

დიაგნოსტიკური პარამეტრის წინსწრები მნიშვნელობის  $S_{\sigma}$  დადგენა ხდება რეგულარული დიაგნოსტიკის პირობებში მორიგ დიაგნოსტიკამდე გარბენის პერიოდში პარამეტრის შესაძლო გაზრდით  $\Delta S$  მისი ზღვრული მნიშვნელობის  $S_{\sigma_{\text{დ}}}$  შემცირებით დიაგნოსტიკის მიღებული პერიოდულობისათვის. იგი წარმოადგენს უწესივრო ტექნიკური მდგომარეობის პირობით საზღვარს, რაც იმას ნიშნავს, რომ თუ დიაგნოსტიკური პარამეტრის მიმდინარე მნიშვნელობა (გაზომვით მიღებული)  $S_i$  აჭარბებს წინსწრებ მნიშვნელობას ( $S_i > S_{\sigma}$ ), ობიექტის წესივრული მდგომარეობის მიუხედავად ( $S_i < S_{\sigma_{\text{დ}}}$ ) მორიგ დიაგნოსტიკამდე გარბენის პერიოდში, მისი უმტყუნებლობა არ იქნება გარანტირებული. ამიტომ აუცილებელია სათანადო პროფილაქტიკური სამუშაოების შესრულება. პარამეტრის წინსწრები მნიშვნელობის გაზრდა იწვევს ექსპლუატაციის პროცესში ობიექტის მტყუნებათა რაოდენობის მატებას და პროფილაქტიკის ხარჯების შემცირებას. ხოლო წინსწრები მნიშვნელობის შემცირებით კი ხდება პირიქით იზრდება პროფილაქტიკის ხარჯები და მცირდება მტყუნებების რაოდენობა.

დიაგნოზის დასმა რთული ობიექტისათვის, რომლის მდგომარეობა ხასიათდება რამოდენიმე დიაგნოსტიკური პარამეტრით გამწვანებულია

იმის გამო, რომ თითოეული დიაგნოსტიკური პარამეტრი შეიძლება ერთდროულად დაკავშირებული იყოს რამოდენიმე სტრუქტურულ პარამეტრთან და შესაბამისად მისი შეცვლა მიუთითებს ობიექტის სხვადასხვა უწყესივრობებზე. მაგალითად, თუ ობიექტის ტექნიკურ მდგომარეობას ახასიათებს  $m$  დიაგნოსტიკური პარამეტრი დიაგნოსტიკის შედეგად ობიექტის შესაძლო მდგომარეობათა სიმრავლიდან უნდა გამოიყოს ერთი ყველაზე მოსალოდნელი მდგომარეობა, რაც შესაძლებელია გამოვლენილი დიაგნოსტიკური პარამეტრების ლოგიკური დამუშავებით. ამ მიზნით დიაგნოსტიკის პრაქტიკაში გამოიყენება დიაგნოსტიკური მატრიცები.

დიაგნოსტიკური მატრიცა არის ორნიშნა ლოგიკური მოდელი, რომელიც ასახავს ზღვრულ მნიშვნელობამდე მიღწეულ სტრუქტურულ პარამეტრებსა და დიაგნოსტიკურ პარამეტრებს შორის კავშირს. მატრიცის ვერტიკალური სვეტები მიეკუთვნება დიაგნოსტიკის ობიექტის უწყესივრობებს (სტრუქტურული პარამეტრები), რომლებმაც მიაღწიეს ზღვრულ მნიშვნელობებს, ხოლო ჰორიზონტალური სტრიქონები – დიაგნოსტიკის პარამეტრებს, რომლებსაც მიაღწევს ან გადააჭარბებს წინმსწრებ მნიშვნელობას. მატრიცის სტრიქონისა და სვეტის გადაკვეთის უჯრედში მოთავსებული აღნიშვნა "1" მიუთითებს შესაბამისი დიაგნოსტიკური პარამეტრით სვეტში არსებული უწყესივრობის აღმოჩენის შესაძლებლობაზე. "0" კი გამორიცხავს ამ შესაძლებლობას. ქვემოთ წარმოდგენილია ისეთი ობიექტის მატრიცა, რომლის შესაძლო 5 უწყესივრობა ხასიათდება 5 დიაგნოსტიკური პარამეტრით.

### დიაგნოსტიკური მატრიცის პრინციპული სქემა

პარამეტრები		სტრუქტურული პარამეტრების ზღვრული მნიშვნელობები (უწყესივრობები)				
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>
დიაგნოსტიკური პარამეტრების ნორმატივები	S <sub>1</sub>	0	0	1	1	0
	S <sub>2</sub>	1	1	1	1	1
	S <sub>3</sub>	0	0	0	0	1
	S <sub>4</sub>	0	1	1	0	1
	S <sub>5</sub>	0	1	0	0	0



როგორც მატრიციდან ჩანს, პირველი  $S_1$  დიაგნოსტიკური პარამეტრის არსებობა ( $S_1 \geq S_6$ ) მიუთითებს მესამე  $X_3$ , ან მეოთხე  $X_4$  უწყესივრობაზე და ა.შ.

ამგვარი მატრიცა საშუალებას იძლევა სათანადო დიაგნოსტიკური პარამეტრების კომპლექსების და ლოგიკური ავტომატების კომპიუტერული პროგრამების გამოყენებით გადაწყდეს ობიექტის წესივრობის ლოკალიზაციის ამოცანა, როდესაც ხდება დიაგნოსტიკურ მატრიცაში დამატებითი ინფორმაციის შეტანა.

ავტომობილის და მისი აგრეგატების ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირება გულისხმობს ტექნიკური დოკუმენტაციით დადგენილი ზღვრული მდგომარეობის მიღწევამდე ნამუშევრის ან მორიგ დიაგნოსტიკამდე დადგენილ პერიოდში (გარბენის სიდიდე) უმტყუნებო მუშაობის შესაძლებლობის განსაზღვრას, ე.ი. დიაგნოსტიკური პარამეტრების წინმსწრები მნიშვნელობების დადგენას. ამ მხრივ საყურადღებოა თეორიული კვლევები [15,28], სადაც დასაბუთებულია ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის პარამეტრების ცვლილების მიხედვით პროგნოზირების მეთოდების შერჩევა და ოპტიმიზაცია. ტექნიკურ მდგომარეობაზე მრავალი ფაქტორის გავლენის ანალიზმა ავტორებს საშუალება მისცა მეთოდების შერჩევისა და სრულყოფისათვის მოემუშაოთ პროგნოზირების დიაგნოსტიკური მეთოდების შესაძლებლობა კონკრეტული აგრეგატის, სისტემის თუ ელემენტისათვის.

სტატისტიკური პროგნოზირებისას დიაგნოსტიკის (კონტროლის) პერიოდულობა ან ნარჩენი რესურსი განისაზღვრება საკვლევი ობიექტის მტყუნებათა განაწილების კანონზომიერების მიხედვით, როგორც უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის საჭირო დონის შესაბამისი ნამუშევარი. პროგნოზირების ასეთი მეთოდი გამოიყენება საგარანტიო გარბენის განსაზღვრისას. მიუხედავად ამ მეთოდის სიმარტივისა და მოხერხებულობისა, იგი ნაკლებად ზუსტი და არაეკონომიურია, ვინაიდან არ ითვალისწინებს ცალკეული კვანძებისა და მექანიზმების ტექნიკური მდგომარეობის ცვლილების ხასიათსა და კანონზომიერების პარამეტრებს.

დიაგნოსტიკური პარამეტრის კერძო რეალიზაციის მიხედვით (ექსპლოატაციის მეთოდი) პროგნოზირება, რომელიც საკმაოდ ზუსტ და სარწმუნო შედეგს იძლევა ემყარება დიაგნოსტიკური პარამეტრის ნომინალურიდან  $S_n$  ზღვრულ  $S_{ზღ}$  მნიშვნელობამდე შეცვლის კანონზომიერებასთან მიახლოებული ფუნქციის ამოხსნას.

$$S(L) = S_{\theta} + aL^2 \quad (15)$$

ამასთან თუ ცნობილია დიაგნოსტიკის პერიოდულობა  $L_i$  და  $i$ -ური დიაგნოსტიკის შედეგად დადგენილი დიაგნოსტიკური პარამეტრის მიმდინარე მნიშვნელობა  $S_i$ , ობიექტის უმტყუნებო მუშაობის პროგნოზირება გულისხმობს იმის გარკვევას, ხომ არ გადააჭარბებს დიაგნოსტიკური პარამეტრის  $S_i$  მნიშვნელობა ზღვრულ მნიშვნელობას  $S_{ზღ}$  მისი დიაგნოსტიკამდე გარბენის განმავლობაში.

ზემოთ მოცემული პროგნოზირების ორივე მეთოდის შემთხვევაში პირველ რიგში უნდა განისაზღვროს დიაგნოსტიკური პარამეტრის შეცვლის ინტენსიურობა.

$$v = \frac{S_i - S_{ზღ}}{L_i^2} = \frac{\Delta S_i}{L_i^2} \quad (16)$$

ხოლო შემდეგ, პარამეტრის რეალიზაციის მიხედვით (პროგნოზირების პირველი ვარიანტისათვის) განისაზღვროს დიაგნოსტიკური პარამეტრის მნიშვნელობა  $S_{i+1}$  მორიგი  $i+1$  დიაგნოსტიკის შესაბამისი  $L_{i+1}$  გარბენის დროს (ნახ. 3).

$$S_{i+1} = S_{ზღ} + \frac{\Delta S_i}{L_i^2} (L_{i+1})^n \quad (17)$$

პროგნოზირების მეორე ვარიანტისათვის კი ობიექტის ნარჩენი რესურსი ანუ მორიგი  $i+1$  დიაგნოსტიკის დანიშვნის ვადა.

$$L_{i+1} = L_i \left( \sqrt[n]{\frac{S_{ზღ} - S_i}{S_i - S_{\theta}}} - 1 \right) \quad (18)$$

სადაც  $n$  არის ხარისხის მაჩვენებელი და განსაზღვრავს პარამეტრის შეცვლის ხასიათს ნამუშევრის მრუდის შესაბამისად.

ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირების აღნიშნული მეთოდის გამოყენება შეზღუდულია დიაგნოსტიკური პარამეტრის რეალიზაციის მიღების სირთულის გამო და ეფექტურია ცალკეული ძვირადღირებული ობიექტისათვის. სხვა ობიექტებისათვის კი მიზანშეწონილია პროგნოზირების ეკონომიკურ-ალბათური მეთოდი, რომელიც გულისხმობს პარამეტრის წინსწრების მნიშვნელობის და დიაგნოსტიკის პერიოდულობის ერთიანი ნორმატივის გამოყენებას. ამ შემთხვევაში დაცულია მიზნობრივი ფუნქციის ძირითადი მოთხოვნა იმის შესახებ, რომ გარკვეული პერიოდულობით დიაგნოსტიკის შესრულება ტექნიკურ-ეკონომიკური თვალსაზრისით მიზანშეწონილი და გამართლებულია, ვინაიდან ტექნიკური მდგომარეობის სასურველ დონეზე შენარჩუნება უზრუნველყოფილია უმტყუნებო მუშაობის მოცემული ალბათობით.

ეკონომიკური პოზიციის განსამტკიცებლად საჭიროა ობიექტის რესურსი შეძლებისდაგვარად სრულად იქნას ამოწურული, ანუ უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა იყოს არანაკლებ 0,95–0,98 მოძრაობის უსაფრთხოებაზე მოქმედი სისტემებისა და მექანიზმებისათვის და 0,85–0,90 ავტომობილის დანარჩენი აგრეგატებისა და სისტემებისათვის.

ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკის საერთო პროცესი შედგება დიაგნოსტიკური პარამეტრების აღქმის, მათი მიმდინარე მნიშვნელობების გაზომვის და დიაგნოზის დასმის ცალკეული ოპერაციების ერთობლიობისაგან. რთული ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის დასადგენად საჭიროა ოპტიმალური რაოდენობის დიაგნოსტიკური პარამეტრების გამოვლენა (გაზომვა) და მათი ლოგიკური დამუშავება დასაბუთებული და ამ მიზნით შედგენილი სპეციალური პროგრამის გამოყენებით.

დიაგნოსტიკის პროგრამა არის სადიაგნოსტიკო ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის დადგენის მიზნით გარკვეული თანმიმდევრობით შესრულე-ბული ალგორითმების (კონტროლის) ერთობლიობა, რომელსაც აქვს განვითარების 2 მიმდევრობა. იმ შემთხვევაში, როდესაც პარამეტრის გაზომვის შედეგი დადებითია "დიახ" – ანუ დიაგნოსტიკური პარამეტრის

მიმდინარე მნიშვნელობა წინმსწრებზე ნაკლებია, პროგრამა გრძელდება. უარყოფითი შედეგის შემთხვევაში "არა" ანუ როდესაც პარამეტრის მიმდინარე მნიშვნელობა წინმსწრებზე ან ზღვრულზე მეტია, იწყება კონკრეტული უწყესივრობის ძებნა [15].

დიაგნოსტიკის პროგრამის რეალიზაცია ხდება დიაგნოსტიკის სისტემის საშუალებით. დიაგნოსტიკის სისტემა მოიცავს მიმდინარე პროცესებს (შემაჯავალი და გამაჯავალი სიგნალები) დამუშავებისა და ანალიზის ოპერაციებს, რაც ხორციელდება სადიაგნოსტიკო საშუალებებით.

შემაჯავალი სიგნალების ხასიათის მიხედვით არჩევენ დიაგნოსტიკის ორგვარ სისტემას: ტესტური დიაგნოსტიკის სისტემა და ფუნქციური დიაგნოსტიკის სისტემა. დიაგნოსტიკური ტესტი არის სადიაგნოსტიკო ობიექტის წინასწარ დადგენილი განსხვავებული მდგომარეობის გამოსავლენად საჭირო საკმარისი შემოწმებების, კონტროლის (ზემოქმედებების) ერთობლიობა. აღნიშნული დიაგნოსტიკის სისტემა გამოიყენება ობიექტის წესივრობის ან მუშაობის უნარის შესამოწმებლად და მასში წარმოქმნილი უწყესივრობების მოსაძებნად იმ პირობებში, როდესაც ობიექტი მასზე დაკისრებულ ფუნქციას არ ასრულებს. ასეთი პროგრამის შედგენა ხდება დიაგნოსტიკის პროცესის ორგანიზაციის ეფექტიანობის გაზრდის პირობების გათვალისწინებით.

ფუნქციური დიაგნოსტიკის სისტემები გამოიყენება ობიექტის ფუნქციონირების შემოწმებისა და მათი ხელის შემშლელი უწყესივრობების მოძებნის მიზნით, უშუალოდ ფუნქციონირების პირობებში (ან იმიტაციურ პირობებში ფუნქციონირებისას) ტესტური დიაგნოსტიკისაგან განსხვავებით ფუნქციურ დიაგნოსტიკის პროგრამის შედგენისას დიაგნოსტიკის ორგანიზაციის გაუმჯობესების პირობების გათვალისწინება არ ხდება. ამასთან ერთად, ცალკეული შემოწმებების რეალიზაციის თანმიმდევრობის მიხედვით არჩევენ დიაგნოსტიკის უპირობო და პირობით პროგრამებს. უპირობო პროგრამის შემთხვევაში შემოწმებების რეალიზაციის

თანმიმდევრობა მკაცრად არის განსაზღვრული ე.ი. სავალდებულოა ყველა შემოწმების წინასწარ დადგენილი თანმიმდევრობის შესრულება. პირობითი პროგრამების რეალიზაციის დროს კი მორიგი შემოწმების შესრულების აუცილებლობის დადგენა ხდება წინა შემოწმების შედეგის გათვალისწინებით. იმის მიხედვით, თუ როგორი სიხშირით სრულდება პროგრამის უკვე რეალიზებული ცალკეული შემოწმებების შედეგების ანალიზი არჩევენ კომბინაციურ, თანმიმდევრულ და კომბინაციურ-თანმიმდევრულ პროგრამებს. ამიტომ სრული სადიაგნოსტიკო ობიექტის დიაგნოსტიკის ერთი და იგივე ამოცანის გადაწყვეტა შეიძლება ერთი მეორისაგან განსხვავებული პროგრამით განხორციელდეს. ასეთ პირობებში ცხადია განსხვავებული იქნება პროგრამის რეალიზაციის ხარჯები. ამიტომ დიაგნოსტიკის პროგრამების ოპტიმიზაცია მოიცავს, როგორც დიაგნოსტიკის ტექნოლოგიური პროცესების, ასევე ეკონომიკურ კრიტერიუმებს.

ავტომობილების ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირების მიზნობრივი ამოცანა და მისი გადაწყვეტის გზები მოითხოვენ მუდმივ განახლებასა და ოპტიმიზაციას კონკრეტული კრიტერიუმების მიხედვით, რაც განპირობებულია თანამედროვე სავალდებულო კონსტრუქციების სირთულით და ელექტრული მართვის სისტემებისა და აგრეგატების სიმრავლით. ამიტომ ამ მიმართულებით თანამედროვე მეთოდების დამუშავება და სრულყოფა მოძრავი შემადგენლობის გამოყენების ეფექტიანობის ამაღლების ერთ-ერთ აუცილებელ პირობას წარმოადგენს.

საკითხის მდგომარეობის შესწავლისა და ანალიზის საფუძველზე ფორმირებული იქნა კვლევის შემდეგი ამოცანები:

1. ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირების სტატისტიკური და დიაგნოსტიკის შეთავსების მეთოდის დამუშავება.
2. დიაგნოსტიკის ოპტიმალური პერიოდულობის განსაზღვრის მეთოდის დამუშავება.

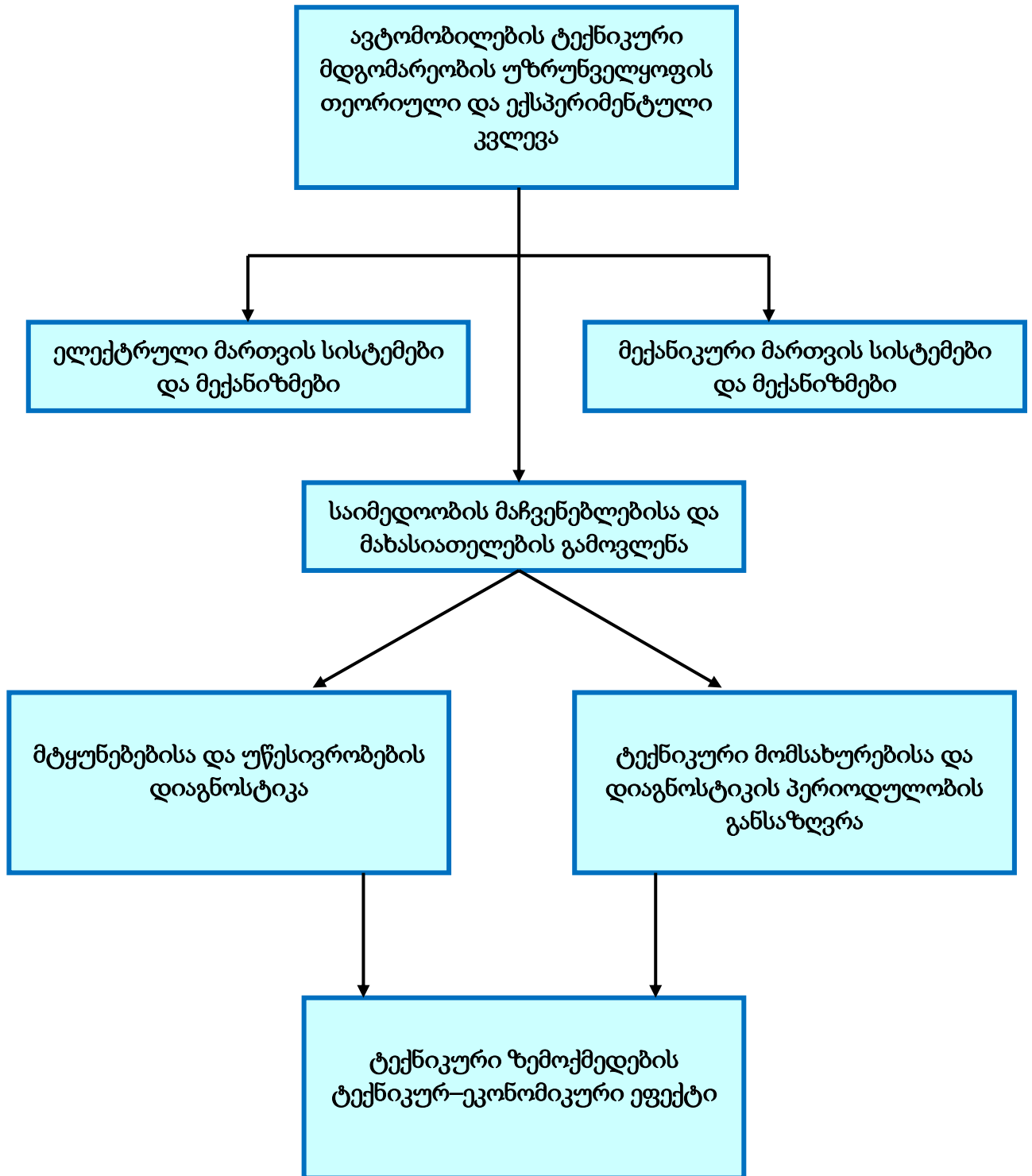
## 2. შედეგები და მათი განსჯა

სამუშაოს მიზანისა და დასახული ამოცანების შესაბამისად დამუშავებული იქნა კვლევის მეთოდოლოგიური სქემა (ნახ. 4). იგი მოიცავს თეორიული მეთოდების დამუშავებას და გაუმჯობესებას, ექსპერიმენტული მონაცემების შეგროვებას, დამუშავებასა და ანალიზს, თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების შეჯერებასა და მის საფუძველზე კონკრეტული დასკვნების მიღებას, რეკომენდაციებისა და წინადადებების ფორმულირებას.

კვლევის ობიექტად აღებული ექსპლუატაციაში მყოფი სხვადასხვა მარკის და მოდელის მოდერნიზებული, თანამედროვე ელექტრული მართვის სისტემებითა და მექანიზმებით აღჭურვილი მსუბუქი ავტომობილები. მათი ექსპლუატაცია დაკავშირებულია ქალაქისა და საქალაქთაშორისო მაგისტრალზე, აგრეთვე სხვა საექსპლუატაციო პირობებში მუშაობასთან.

თეორიული მეთოდების დამუშავება მოიცავს ავტომობილების სისტემებისა და მექანიზმების მტყუნებათა პროგნოზირების სტატისტიკური მეთოდისა და ტექნიკური მდგომარეობის პარამეტრების ცვლილებების კანონზომიერებების მეთოდის ერთობლივ გამოყენებას. საიმედოობის მართვის რეალიზაციის პროცესში დიაგნოსტიკის გამოყენებამ მოითხოვა საკონტროლო – დიაგნოსტიკური ოპერაციების პერიოდულობის განსაზღვრის ახალი მეთოდის დამუშავება.

ავტომობილებზე განსახორციელებელი ტექნიკური ზემოქმედების ოპერაციების შესრულებისას დიაგნოსტიკური მეთოდებისა და საშუალებების გამოყენება დაკავშირებულია დიდ მატერიალურ ხარჯებთან, რაც ზრდის ტექნიკური ექსპლუატაციის ხარჯებს, მაგრამ მტყუნებათა პროგნოზირებისა და დიაგნოსტიკის პერიოდულობის ოპტიმიზაციის შედეგად მიღებული ეფექტი იქნება გაცილებით მეტი, რაც მოახდენს არამარტო დიაგნოსტიკის ხარჯების კომპენსაციას, არამედ მოგვცემს მნიშვნელოვან ეკონომიას.



ნახ. 4. კვლევის მეთოდოლოგიური სქემა

ტექნიკური მომსახურებისა და დიაგნოსტიკის პერიოდულობის განსაზღვრის მეთოდის ფორმირებისას და მიზნობრივი ფუნქციის კრიტერიუმს დადგენისას მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული, როგორც დიაგნოსტიკის შეცდომების, ისე მისი არადანიშნულებისამებრ შესრულების ალბათობები. ეს მოახდენს თითოეული კონკრეტული სისტემის და კვანძის მომსახურების რეჟიმების პარამეტრების დაზუსტებას, დაკონკრეტებას და გაზრდის ავტომობილის ტექნიკურად მზადყოფნის კოეფიციენტს.

მეორეს მხრივ ავტომობილის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების ოპტიმიზაცია კონკრეტული საკვლევი ობიექტისათვის უნდა განხორციელდეს შერჩეული კრიტერიუმით. მოძრაობის უსაფრთხოების და ეკოლოგიური ნორმატივების უზრუნველყოფის თვალსაზრისით ავტომობილის შესაბამისი სისტემებისა და მექანიზმებისათვის ოპტიმიზაციის კრიტერიუმად აღებული უნდა იყოს მაღალი უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა, ხოლო დანარჩენი სისტემებისათვის პრიორიტეტული უნდა იყოს ეკონომიკური კრიტერიუმი – ტექნიკური მდგომარეობის შენარჩუნების კუთრი ხარჯების მინიმუმი. ამ პრინციპებით არის დამუშავებული თეორიული მეთოდები მოცემულ ნაშრომში.

## **2.1. თეორიული მეთოდების დამუშავება**

### **2.1.1. ავტომობილის უმტყუნებლობის სტატისტიკური**

#### **პროგნოზირების მეთოდის დამუშავება**

ექსპლუატაციის პროცესში ავტომობილების საიმედოობის უზრუნველყოფა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული მისი ძირითადი სისტემებისა და მექანიზმების ტექნიკური მდგომარეობის მუდმივ კონტროლსა და მტყუნებებისა და უწყესივრობის დროულად გამოვლენასა და აღმოფხვრაზე. ამ მხრივ განსაკუთრებულ შესწავლასა და განვითარებას მოითხოვს ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირება.



თანამედროვე ავტომობილებისათვის ეს გამოიხატება დიაგნოსტიკის თეორიული საფუძვლებისა და დამუშავებული მეთოდების პრაქტიკული რეალიზაციით. მიზანი და მიზეზები, რომლებითაც განპირობებულია დასახული ამოცანა, ეფექტიანობის გაზრდის თვალსაზრისით, მოითხოვენ ჩამოყალიბებული კრიტერიუმების შერჩევას. ასეთ კრიტერიუმებს წარმოადგენენ, ერთის მხრივ უმტყუნებლობის და ხანგამძლეობის მაჩვენებლების ოპტიმიზირება, მეორეს მხრივ დიაგნოსტიკისა და მტყუნებათა აღმოფხვრის კუთრი ხარჯების მინიმიზირება.

საკითხისადმი ასეთი მიდგომა გამართლებული და მიზანშეწონილია იმითაც, რომ ექსპლუატაციის პროცესში მოძრავი შემადგენლობის ტექნიკური მდგომარეობის სათანადო დონეზე უზრუნველყოფა დაკავშირებულია მატერიალურ და შრომით ხარჯებთან, რომელთა სიდიდე ხშირად აჭარბებს მათი შეძენის ხარჯებს. ამიტომ ტექნიკური ექსპლუატაციის მეთოდებისა და ფორმების გაუმჯობესება მიმართულია აღნიშნული ხარჯების შემცირებისკენ და საიმედოობის გაზრდისკენ.

როგორც ცნობილია, პროგნოზირების პროცესი გულისხმობს ელემენტის, დეტალის და მთლიანად მექანიზმის მდგომარეობის პარამეტრის ცვლილებისა და მტყუნების ალბათობის გამოვლენას.

იმის გამო, რომ ტექნიკური მდგომარეობის პარამეტრის ცვლილებას ინტენსიური ხასიათი აქვს, პროგნოზირების შედეგიც ალბათობის ხასიათისაა. ამიტომ ამ შედეგების მიხედვით დასკვნის გაკეთება უნდა მოხდეს გარკვეული კრიტერიუმებით: ელემენტის მაქსიმალური რესურსი, მტყუნების მინიმალური ალბათობა, მოცდენის მინიმიზირება, მაქსიმალური მზადყოფნა და სხვ. ერთი რომელიმე კრიტერიუმის გამოყენება გააუმჯობესებს რომელიმე ტექნიკურ მაჩვენებელს და შეამცირებს მეორეს. ასეთ სიტუაციაში მიზანშეწონილია გამოყენებული იქნას ერთი უნივერსალური კრიტერიუმი. ასეთს წარმოადგენს ეკონომიკური კრიტერიუმი – ხარჯების მინიმუმი ნამუშევრის (გარბენის) ერთეულზე.

აღნიშნულიდან გამომდინარე მიზანშეწონილია ამოცანის დასმისას დაცული იყოს შემდეგი ლოგიკური თანმიმდევრობა:

- საპროგნოზო პარამეტრების ოპტიმიზირების მიზნობრივი ფუნქციის შედგენა;
- ელემენტების ტექნიკური მდგომარეობის ცვლილების ფუნქციის მახასიათებლების დადგენა;
- ელემენტის მდგომარეობის პარამეტრის ცვლილების მახასიათებლების მიხედვით მტყუნების ალბათობის ფუნქციისა და ფაქტიური საშუალო რესურსის განსაზღვრა;
- მტყუნების დიაგნოსტიკისა და აღმოფხვრის კუთრი ხარჯების გამოვლენა სხვადასხვა ვარიანტისათვის;
- საპროგნოზო მაჩვენებლების ოპტიმალური მნიშვნელობების განსაზღვრა და მათი სისტემაში მოყვანა.

მიზნობრივი ფუნქციის შედგენისას ყურადღება უნდა მიექცეს იმას, რომ საპროგნოზოდ აღებულ იქნას ძირითადი მართვადი მაჩვენებლები. ასეთებს კი, როგორც იყო აღნიშნული, წარმოადგენენ პარამეტრის დასაშვებ ზღვრებში ცვლილება და კონტროლს შორის ავტომობილების ნამუშევარი.

ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირება პარამეტრის საშუალო სტატისტიკური ცვლილების მიხედვით გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც არაა ცნობილი ელემენტის ნამუშევრის სიდიდეზე რაიმე ინფორმაცია წარსულში. პროგნოზირების საწყის მონაცემად ასეთ შემთხვევაში აიღება პარამეტრის ცვლილების ფუნქციის საშუალო სიდიდე და მისი საშუალო კვადრატული გადახრა. პარამეტრის დასაშვები ცვლილების მიზნობრივი ფუნქცია ზოგადად შემდეგნაირად გამოისახება:

$$C(D) = \min[F(D, \ell_j, V_j, \ell_{საშ}, V, U_{ზღ}, V_{ზღ}, \alpha, \sigma_Z, L, A, V_A, B, V_B, C, V_C)] \text{ ლარი/კმ} \quad (19)$$

სადაც  $D$  – ელემენტის მდგომარეობის პარამეტრის დასაშვები ცვლილება;

$\ell_j, V_j$  – კონტროლს შორის საშ. გარბენა და მისი ვარიაციის

კოეფიციენტი;

$\ell_{საშ}, V$  – ელემენტის საშუალო რესურსი და მისი ვარიაციის კოეფიციენტი;  
 $U_{ზღ}, V_{ზღ}$  – პარამეტრის ზღვრული ცვლილების საშუალო სიდიდე და მისი ვარიაციის კოეფიციენტი;  
 $\alpha, \sigma_Z$  – პარამეტრის ცვლილების Z ფუნქციის ხარისხის მაჩვენებელი და საშუალო კვადრატული გადახრა;  
 $L$  – ავტომობილის გარბენა ექსპლუატაციის დაწყებიდან;  
 $A, B, C$  – მტყუნების აღმოფხვრის, პროფილაქტიკური ოპერაციების და კონტროლის (დიაგნოსტიკის საშუალო ხარჯები);  
 $V_A, V_B, V_C$  – შესაბამისი ხარჯების ცვლილების ვარიაციის კოეფიციენტები.

ვინაიდან მოცემულ გამოსახულებაში არის უამრავი ცვლადი სიდიდე, მიზანშეწონილია პარამეტრის ცვლილება განისაზღვროს ძირითადი ფაქტორების გათვალისწინებით:

$$C(D) = \min[F_1(D, \ell_j, V, U_{ზღ}, \alpha, L, A, B, C,)] \quad (20)$$

იმ პირობით, რომ:

$$\ell_j = \text{const და } V_j = V_{ზღ} = \sigma_Z = V_A = V_B = V_C = 0$$

მოცემულ ფუნქციაში კონტროლშორის ნამუშევარი, პარამეტრების ზღვრული ცვლილება წარმოდენილია როგორც მუდმივი სიდიდეები, რაც პროფილაქტიკური ოპერაციების იძულებით შესრულებას ასახავს, ე.ი. როდესაც  $\sigma_Z = 0$ . ამ პირობიდან გამომდინარე (20) გამოსახულება შეიძლება შემდეგნაირად გამოვსახოთ:

$$C(D) = 0 \leq D \leq U_{ზღ} \left\{ \frac{Q^n(D)A}{L} + \frac{P^n(D)(B+C)}{L} + \frac{[n_0 - P^n(D)]C}{L} \right\} \quad (21)$$

$$Q^n(D) = F_2(D, \ell_j, \ell_{საშ}, V, U_{ზღ}, \alpha)$$

$$P^n(D) = F_3(D, \ell_j, \ell_{საშ}, V, U_{ზღ}, \alpha)$$

სადაც,  $Q^n(D)$  – ელემენტის მტყუნებათა რაოდენობა  $L$  გარბენის განმავლობაში;

$P^n(D)$  – ელემენტის პროფილაქტიკური ოპერაციების რაოდენობა იგივე  $L$  გარბენის პირობებში;

$n_0$  – ტექნიკური მდგომარეობის კონტროლის (დიაგნოსტიკის) რაოდენობა.

21-ე გამოსახულების პირველი შესაკრები ახასიათებს მტყუნებათა აღმოფხვრის ხარჯებს, მეორე – პროფილაქტიკური ოპერაციების შესრულების ხარჯებს, მესამე – საკონტროლო-დიაგნოსტიკურ ხარჯებს.

სათანადო გარდაქმნების შემდეგ მიზნობრივი ფუნქცია  $L$  გარბენის გაზრდილი მნიშვნელობის შემთხვევაში მიიღებს შემდეგ სახეს:

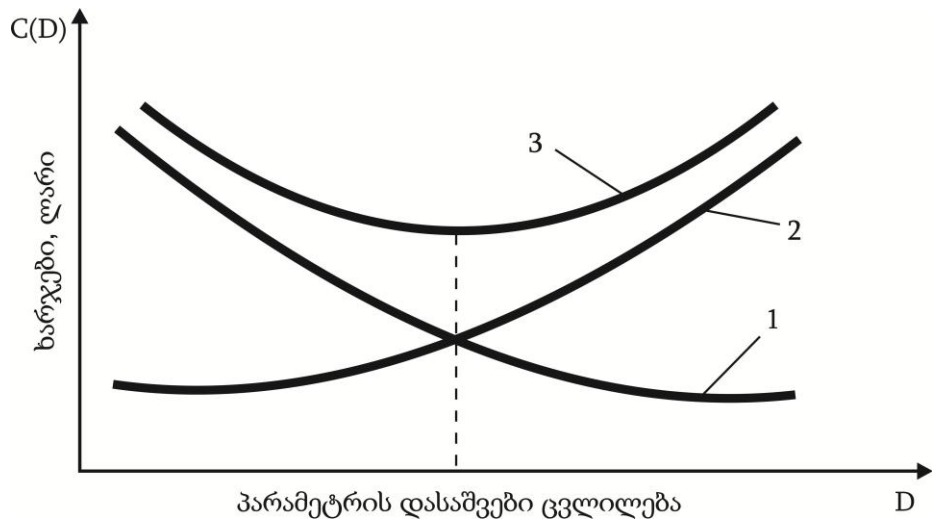
$$C(D) = \min_{0 \leq D \leq U_{ზღ}} \left\{ \frac{Q(D)A}{\ell_{ფაქტ}(D)} + \frac{[1-Q(D)]C}{\ell_{ფაქტ}(D)} \right\} \text{ ლარი/კმ} \quad (22)$$

$$Q(D) = F_4(D, \ell_3, \ell_{საზ} V, U_{ზღ}, \alpha)$$

$$\ell_{ფაქტ}(D) = F_5(D, \ell_3, \ell_{საზ} V, U_{ზღ}, \alpha)$$

სადაც,  $Q(D)$  – ელემენტის მტყუნებათა ალბათობა;

$\ell_{ფაქტ}(D)$  – ელემენტის ფაქტიური საშუალო რესურსი.



**ნახ. 5. კუთრი ხარჯების ცვლილება პარამეტრის დასაშვები დონისაგან დამოკიდებულებით**

- 1 – ხარჯების ფუნქცია ელემენტის შეცვლაზე;
- 2 – მტყუნების აღმოფხვრის ხარჯები;
- 3 – ჯამური ხარჯების ფუნქცია.

ნახაზი 5-ზე მოცემულია მიზნობრივი ფუნქციის გრაფიკული ინტერპრეტაცია, საიდანაც ჩანს, რომ ჯამური ხარჯების (მრუდი 3) მინიმუმს შეესაბამება პარამეტრის დასაშვები ცვლილების ოპტიმალური მნიშვნელობა. ასეთი ვარიანტის მოძებნა და განსაზღვრა წარმოადგენს უმტყუნებლობისა და ელემენტის საშუალო ფაქტიური რესურსის განსაზღვრის პირობას.

## 2.1.2. პროგნოზირების სტატისტიკური და ტექნიკური

### დიაგნოსტიკის შეთავსების მეთოდის დამუშავება

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ავტომობილების ექსპლუატაციის რეალურ პირობებში მხოლოდ აღნიშნული მეთოდით ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირება ყოველთვის არ იძლევა სრულფასოვან შედეგებს. ამიტომ დაისვა ამოცანა სტატისტიკური პროგნოზირებისა და ტექნიკური დიაგნოსტიკის შეთავსების (შეხამების) მეთოდის დამუშავების შესახებ. ამ მიზნით შესრულებული იქნა თეორიული ანალიზი და მიღებული იქნა საწყისი პირობები და ჰიპოტეზები:

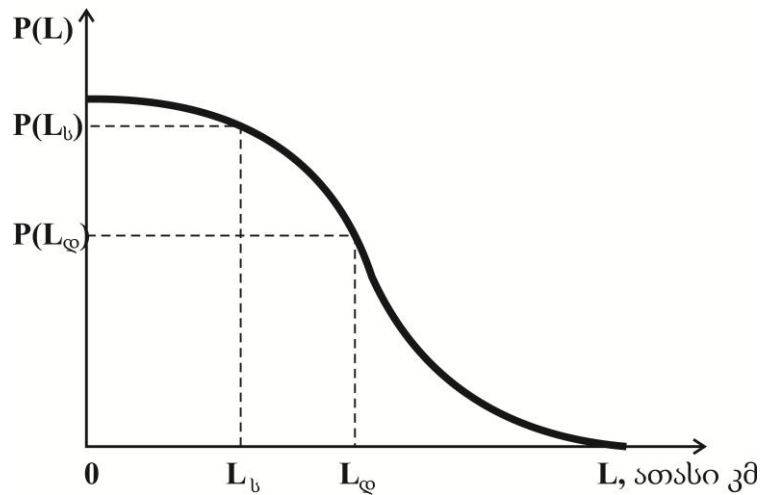
– ორივე მეთოდის გამოყენება დაკავშირებულია საიმედოობის შენარჩუნების ხარჯებთან, რომელთა შემცირება შესაძლებელია მათი ერთობლივი გამოყენებით. მეთოდების გამოყენების ეფექტიანობა დამოკიდებულია კონსტრუქციული ელემენტების უმტყუნებადობის მაჩვენებლებზე, აღნიშნული მეთოდების განხორციელების ღირებულებასა და მათი შედეგების დამაჯერებლობაზე.

– ავტომობილის კონსტრუქციული ელემენტების რესურსების შეფასებისათვის სხვადასხვა ინტერვალებში შეიძლება გამოყენებული იქნას ან სტატისტიკური პროგნოზირების (სპ) მეთოდი ან ტექნიკური დიაგნოსტიკის (ტდ) მეთოდი. შესაძლებელია აგრეთვე შემთხვევა, როდესაც არც ერთი აღნიშნული მეთოდებიდან არ არის მიზანშეწონილი. ამ მეთოდების რაციონალური გამოყენების ზონები უნდა განისაზღვროს ავტომობილების მუშობისუნარიან მდგომარეობაში შენარჩუნების ხარჯების მინიმუმის კრიტერიუმით, რომელიც უზრუნველყოფს მის მაქსიმალურ მწარმოებლურობას.

– მიზნობრივი ფუნქციის მოდელირებისას მიღებული უნდა იყოს პირობა იმის შესახებ, რომ არის წინაპირობა აღნიშნული მეთოდების განხორციელების კუთრი ხარჯების განსაზღვრისათვის.

აღნიშნული კრიტერიუმების მიხედვით უნდა განისაზღვროს ელემენტის გარბენის ინტერვალი  $0 - L_b$ , რომელშიც სპ და ტდ

არაეფექტურია, შემდეგ ინტერვალი  $L_b-L_{\text{დ}}$  სადაც სპ-ს გამოყენება მიზანშეწონილია, ბოლო ინტერვალში, რომლის დროსაც ეფექტურია ცდის გამოყენება (ნახ. 6).



ნახ. 6. კონსტრუქციული ელემენტის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა და სტატისტიკური პროგნოზირების (სპ) და ტექნიკური დიაგნოსტიკის (ტდ) გამოყენების ზონები

ანალიზი გვიჩვენებს, რომ  $P(L_b)$  და  $P(L_{\text{დ}})$  სიდიდეების შერჩევასა და შესაბამისად სპ და ტდ გამოყენების ზონების დადგენაზე მოქმედებენ მთელი რიგი ფაქტორები, რომელთაგან ძირითადია ელემენტის უმტყუნებლობის მაჩვენებლები, საიმედოობის შენარჩუნების ხარჯები და შეთავსებული მეთოდების დამაჯერებლობა.

პირველ რიგში სპ და ტდ გამოყენების ეფექტიანობა განისაზღვრება ელემენტის საიმედოობის შენარჩუნების ხარჯების შედარებით ორივე მეთოდისათვის  $C_{\text{ს.შ}}^{\text{ს}}(L)$  და  $C_{\text{ს.შ}}^{\text{ტ}}(L)$ .

ცნობილი მეთოდის [20] მიხედვით საიმედოობის შენარჩუნების კუთრი ხარჯები განისაზღვრება, როგორც სათადარიგო დეტალების, მასალების, შრომითი კომპენსაციის ხარჯების ჯამი:

$$C_{\text{ს.შ}}(L) = \sum_{i=1}^M C_{\text{ფ}_i} \omega_{\text{ფ}_i}(L) + aT \sum_{i=1}^n t_i \omega_T(L) + \sum_{K=1}^N \sum_{i=1}^n C_{\text{ფ}} \omega_T(L) C_{\text{ფ}_K} + \frac{C_3}{L_6} \left[ 1 - \frac{\alpha_3(L)}{\alpha_3^{\text{max}}} \right] \text{ლარი/100კმ} \quad (23)$$

სადაც,  $\omega_{\text{ფ}_i}(L)$  არის მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრი, რომელთა აღმოფხვრა

იწვევს სათადარიგო დეტალების ხარჯვას;

$C_{pi}$  –  $i$ -ური ელემენტის (სათადარიგო დეტალის ღირებულება;

$\omega_T(L)$  – მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრი, რომელთა აღმოფხვრა იწვევს შრომით ხარჯებს;

$t$  – მტყუნების აღმოფხვრის შრომატევადობა, კ.სთ;

$n$  – ცალკეული ელემენტის მტყუნებათა რაოდენობა;

$C_{\theta}$  – მასალების ხარჯი, კგ;

$C_{\theta K}$  – მასალების კუთრი ხარჯი, ლარი/კგ;

$m$  – სათადარიგო დეტალების ნომეკლატურა;

$N$  – მასალების ნომეკლატურა;

$C_s$  – ავტომობილის ღირებულება;

$a$  – კუთრი კაპიტალდაბანდება, ლარი/კ.სთ;

$L_{\theta}$  – ავტომობილის რესურსი, 1000 კმ;

$\alpha_{\theta}$  და  $\alpha_{\theta}^{\max}$  – ტექნიკურად მზადყოფნის კოეფიციენტის ინტერვალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები.

მოცემულ გამოსახულებაში შემავალი ტექნიკურად მზადყოფნის კოეფიციენტი  $\alpha_{\theta}$  წარმოადგენს მუშაობისუნარიან მდგომარეობაში ყოფნის დროის ფარდობას ამავე დროისა და ტექნიკური მომსახურებისა და მტყუნებათა აღმოფხვრის დროის ჯამთან. იგი განისაზღვრება შემდეგნაირად [23]:

$$\alpha_{\theta} = \frac{1}{1 + BL_{\text{დღ}}} \quad (24)$$

სადაც,  $B$  არის ჯამური მოცდენა ტექნიკურ მომსახურებასა და მტყუნებათა აღმოფხვრაზე, დღე/1000კმ;

$L_{\text{დღ}}$  – ავტომობილის დღიური გარბენა, 1000კმ.

საიმედოობის შენარჩუნების ხარჯების განსაზღვრისას მხედველობაში იქნა მიღებული მათი ცვლილების კანონზომიერება და თითოეული კომპონენტის გამოვლენის თავისებურება, განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ასეთ შემთხვევაში დიაგნოსტიკის ხარჯების გათვალისწინებას

სტატისტიკური პროგნოზირების მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში, რაც უგულვებელი იყო ადრინდელ კვლევებში [28]. ზემოთ მოყვანილი გამოსახულების საფუძველზე და მოქმედი ფაქტორების გათვალისწინებით საიმედოობის შენარჩუნების კუთრი ხარჯები ორივე შემთხვევისათვის შემდეგნაირად განისაზღვრება;

$$C_{\text{ს.შ}}^{\text{ს}}(L) = \delta_{\text{ე}}^{\text{ს}} C_{\text{სათ.დ}}(L) + \delta_T^{\text{ს}} C_{\text{შრ}} + \delta_{\text{გ}}^{\text{ს}} C_{\text{გ}}(L) + \frac{C_{\text{ა}}}{L_{\text{რ}}} \left[ 1 - \frac{\alpha_{\text{ტ}}^{\text{ს}}(L)}{\alpha_{\text{ტ}}^{\text{max}}} \right] + C_{\text{ს}}, \text{ ლარი/1000კშ} \quad (25)$$

$$C_{\text{ს.შ}}^{\text{დ}}(L) = \delta_{\text{ე}}^{\text{დ}} C_{\text{სათ.დ}}(L) + \delta_T^{\text{დ}} C_{\text{შრ}} + \delta_{\text{გ}}^{\text{დ}} C_{\text{გ}} + \frac{C_{\text{ა}}}{L_{\text{რ}}} \left[ 1 - \frac{\alpha_{\text{ტ}}^{\text{დ}}(L)}{\alpha_{\text{ტ}}^{\text{max}}} \right] + C_{\text{დ}}, \text{ ლარი/1000კშ} \quad (26)$$

მოცემულ გამოსახულებებში  $\delta_{\text{ე}}^{\text{ს}}, \delta_T^{\text{ს}}, \delta_{\text{გ}}^{\text{ს}}$  და  $\delta_{\text{ე}}^{\text{დ}}, \delta_T^{\text{დ}}, \delta_{\text{გ}}^{\text{დ}}$ , კოეფიციენტებია, რომლებიც ითვალისწინებენ სათადარიგო დეტალების, შრომითი და მასალების ხარჯების ცვლილების ხარჯებს ორივე მეთოდის (სპ და ტდ) გამოყენებისას. ხოლო  $\alpha_{\text{ტ}}^{\text{ს}}$  და  $\alpha_{\text{ტ}}^{\text{დ}}$  ტექნიკურად მზადყოფნის კოეფიციენტის მიმდინარე მნიშვნელობები ორივე მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში.

სპ-ის გამოყენების ზღვრები განისაზღვრება როგორც სხვაობა  $C_{\text{ს.შ}}^{\text{ს}}(L) - C_{\text{ს.შ}}(L) < \varepsilon$ , ხოლო ტდ-ის გამოყენებისას  $C_{\text{ს.შ}}^{\text{დ}}(L) - C_{\text{ს.შ}}(L) < \varepsilon$ , (როდესაც სპ არ გამოიყენება).

კვლევის შემდეგ ეტაპს წარმოადგენს სპ და ტდ გამოყენების ზონების კორექტირების მეთოდის დამუშავება. სპ-ის შემთხვევაში მოხდება კონსტრუქციული ელემენტის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის შეფასება რესურსის გამოყენების სხვადასხვა ინტერვალისათვის საშუალო კვადრატული გადახრის ცვლილების მიხედვით:

$$F(L^b) - [1 - P(L^b)] \geq U_p \sqrt{\sigma[P(L)]}$$

სადაც,  $F(L^b)$  და  $P(L^b)$  არის მტყუნებისა და უმტყუნებო მუშაობის

ალბათობა შესაბამისად  $L^b$  ნამუშევრის შემთხვევაში;

$U_p$  – ნორმალური განაწილების კვანტილი.



რაც შეეხება ტექნიკურ დიაგნოსტიკის გამოყენებისას შედეგების დამაჯერებლობის შეფასება ორი მიმართულებით ხდება: დიაგნოსტიკის შეცდომის ალბათობით  $P_{\varphi}(L)$  და არასასურველი ზემოქმედების ალბათობით. ასეთ შემთხვევაში ტდ-ის გამოყენება შედეგების დამაჯერებლობა შემდეგნაირად გამოისახება:

$$F(L^{\varphi}) = [1 - P(L^{\varphi})] \geq P_{\text{ა.ზ.}}(L^{\varphi}) + P_{\text{მტყ.}}(L^{\varphi})$$

სადაც,  $F(L^{\varphi})$  და  $P(L^{\varphi})$  არის შესაბამისად მტყუნებისა და უმტყუნებო მუშაობის ალბათობები;

$P_{\text{ა.ზ.}}(L^{\varphi})$  და  $P_{\text{მტყ.}}(L^{\varphi})$  – შესაბამისად არასასურველი ზემოქმედების და მტყუნების ალბათობები  $L^{\varphi}$  გარბენის პირობებში.

მოცემული მეთოდებით უმტყუნებლობის პროგნოზირება მისაღები და სამართლიანია ავტომობილის სისტემებისა და მექანიზმებისათვის.

### 2.1.3. ავტომობილის საკონტროლო–დიაგნოსტიკური ოპერაციების პერიოდულობის განსაზღვრის მეთოდი

ავტომობილის ტექნიკური მდგომარეობის სასურველ დონეზე შენარჩუნება დაკავშირებულია ტექნიკური მომსახურების საკონტროლო–დიაგნოსტიკური ოპერაციების შესრულების პერიოდულობისა და თვით კონკრეტული ოპერაციის მიზანსა და შინაარსზე, აგრეთვე სადიაგნოსტიკო პარამეტრების გამოვლენის სიზუსტეზე. ეს კი დამოკიდებულია გამოყენებული საკონტროლო–დიაგნოსტიკური მოწყობილობების ეფექტურობაზე და ოპერატორის კვალიფიკაციაზე. ეს გარემოება მოითხოვს დიაგნოსტიკების დამაჯერებლობისა და არასასურველი ზემოქმედების ალბათობების განსაზღვრის აუცილებლობას. ამიტომ საჭიროა პერიოდულობის განსაზღვრისათვის დამუშავდეს მათემატიკური მოდელი, რომელიც საშუალებას მოგვცემს ავტომობილის კვანძებისა და მექანიზმებისათვის ტექნიკური მდგომარეობის პარამეტრების გამოვლენა და ოპტიმიზაცია შესრულდეს ტექნიკურ–ეკონომიკური კრიტერიუმით.

პერიოდულობის განსაზღვრის ზოგადი დებულება შემდეგში მდგომარეობს: საწყისი სტატისტიკური მონაცემების დამუშავებისა და ანალიზის საფუძველზე განისაზღვრება საიმედოობის მაჩვენებლები და ტექნიკური მომსახურების შრომითი ხარჯები, შეფასდება არსებული პერიოდულობის ეფექტურობა უმტყუნებო მუშაობის ალბათობისა და მომსახურებაზე გაწეული ხარჯების მინიმუმის კრიტერიუმებით. მოძრაობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მიზნით მოხდება პერიოდულობის ვარირება საშიში მტყუნებების გამორიცხვით. ტექნიკური მომსახურების რეჟიმების კორექტირებისას ეფექტურობის შედარებითი შეფასების საფუძველზე დადგინდება მათი რაციონალური მოცულობა, ყველა აღნიშნული ღონისძიებების შესრულების გათვალისწინებით საბოლოოდ დადგინდება პერიოდულობა და შესასრულებელი ოპერაციების მოცულობა.

საიმედოობის ძირითადი რაოდენობრივი მახასიათებლები, რომლებიც გამოიყენება ტექნიკური მომსახურების რეჟიმის კორექტირების დროს, შემდეგია:

- სისტემის მტყუნებისა და უწყესივრობების ინტენსიურობა  $\lambda(L)$ ;
- მომსახურებებს შორის პერიოდში უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა  $P(L_{მომს})$ ;
- მომსახურებებს შორის მტყუნებების წარმოშობის ალბათობა საშიში შედეგებით  $\bar{P}_{საშ}(L_{მომს})$ ;
- სისტემის ტექნიკური ზემოქმედების კუთრი ხარჯები  $C_{კუთ}(L_{მომს})$ , რომელიც წარმოადგენს მტყუნებების, უწყესივრობების აღმოფხვრისა და თვით ტექნიკური მომსახურებების ხარჯების ჯამს.

$\bar{P}(L_{მომს})$ , რომელიც საიმედოობას ახასიათებს, პერიოდულობის გაზრდით მცირდება. ეს გამოწვეულია იმით, რომ თუ იშვიათად შევასრულებთ გამაფრთხილებელ სამუშაოებს, დაგროვდება უწყესივრობათა წინაპირობები (რომლებიც შემდგომში განაპირობებენ მტყუნებას), გაიზრდება მათი გამოვლენის ალბათობა და მოხდება მათი უეცარი

მტყუნება მომსახურებებს შორის პერიოდში, რაც საერთო ჯამში გაზრდის საშიში მტყუნებების რაოდენობას და მამასადამე შეამცირებს  $P(L_{\text{მომს}})$ .

ოპტიმალურ პერიოდულობად მიიღება სიდიდე, რომელიც შეესაბამება კუთრი ხარჯების მინიმუმს. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ ხარჯებს  $C_{\text{კუთ}}(L_{\text{მომს}})$  აქვს ექსტრემალური (მინიმალური) მნიშვნელობა მხოლოდ მტყუნებათა ინტენსიურობის  $\lambda(L)$  მზარდი მნიშვნელობის დროს. როდესაც  $\lambda(L)=\text{const}$ , მაშინ  $C_{\text{კუთ}}(L_{\text{მომს}})$  აქვს ჰიპერბოლის ფორმა ჰორიზონტალური ასიმპტოტით  $C_{\text{მტყ.}\lambda}$ , სადაც  $C_{\text{მტყ.}}$  არის მხოლოდ მტყუნებათა და უწყესივრობების აღმოფხვრის ხარჯები, მამასადამე თუ  $C_{\text{კუთ}}(L_{\text{მომს}})$  არ ექნება მინიმუმი, ეს კი შესაძლებელია მტყუნებათა განაწილების ექსპონენციალური კანონის შემთხვევაში, მაშინ ტექნიკური მომსახურების შესრულება საერთოდ არაა მიზანშეწონილი.

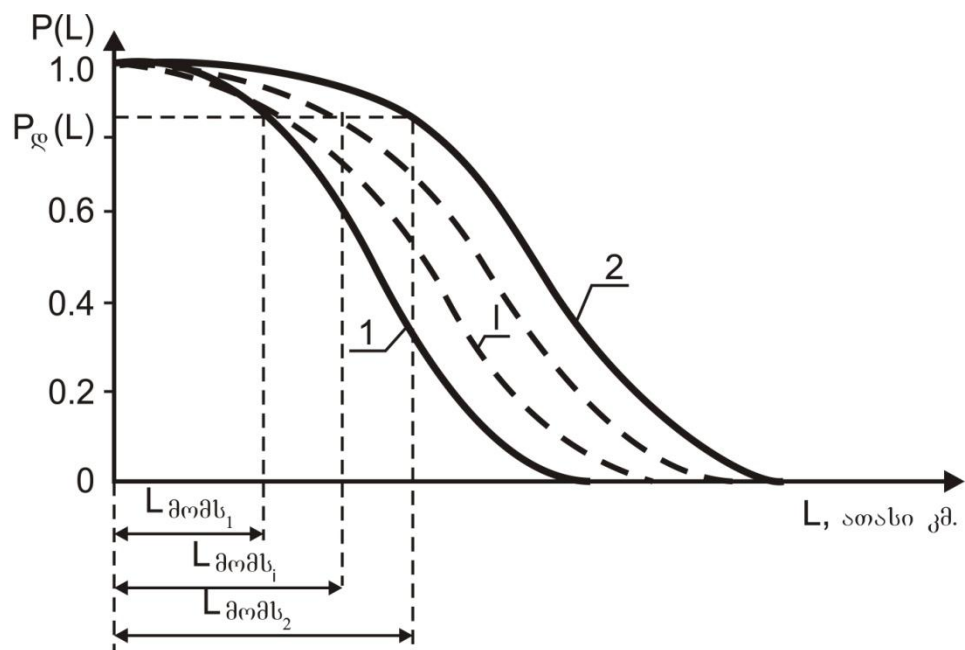
ამოცანის ამოხსნის გზების მოძებნისას ერთ-ერთ გამოსავალს წარმოადგენს სადიაგნოსტიკო პარამეტრის სიდიდე (მაგალითად ფოლხვი), იგი წარმოადგენს საკვლევი სისტემის ეფექტურობის შეფასების ოფიციალურ კრიტერიუმს და მიღებულია სისტემის ფუნქციონირების ძირითად გამოსავალ მახასიათებლად. იგი არის სისტემის ელემენტების ტექნიკური მდგომარეობის ფუნქცია, ან სხვანაირად, იგი წარმოადგენს ელემენტების მუშაობის უნარის პარამეტრების ფუნქციას, ამიტომ მუშაობის უნარის პარამეტრების გარკვეულ ინტერვალში შენარჩუნება თავისთავად წარმოადგენს ფოლხვის შენარჩუნებას შესაბამის ინტერვალში, რაც დამოკიდებულია ტექნიკური მომსახურების პერიოდუ-ლობაზე. მამასადამე მომსახურების გარკვეულ პერიოდულობას შეესაბამება პარამეტრის ზღვრული მნიშვნელობა.

ტექნიკური მომსახურება წარმოადგენს სამუშაოთა კომპლექსს, რომელიც უზრუნველყოფს სისტემის წესივრულ ან მხოლოდ მუშაობისუნარიან მდგომარეობას. მივიღოთ, რომ წესივრულ მდგომარეობას შეესაბამება პარამეტრის მინიმალური მნიშვნელობა, ხოლო მუშაობისუნარიან მდგომარეობას - მაქსიმალური. ყველა დანარჩენი

მნიშვნელობები მათ შორის იქნება მოთავსებული და ითვლება რომ დასაშვებია.

ნატურალური ექსპერიმენტი, რომელიც გამოავლენს მომსახურების პერიოდულობასა და პარამეტრს შორის ურთიერთკავშირს, ძალზე ძნელია და ზოგჯერ შეუძლებელიც საწარმო-ორგანიზაციული მიზეზების გამო, ამიტომ სასურველი და აუცილებელია შეიცვალოს იგი მათემატიკური მოდელირებით.

ამოცანის ამოხსნის საწყის პირობას წარმოადგენს უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა (ნახ. 7) თითოეულ მრუდს შეესაბამება პარამეტრის გარკვეული მნიშვნელობა, მინიმალური (მრუდი 1) და მაქსიმალური (მრუდი 2),  $i$ -ური აღნიშნავს მათ შორის მნიშვნელობას.



ნახ. 7. უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა, ტექნიკური მდგომარეობის პარამეტრის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის

ავიღებთ, რა უმტყუნებლობის მაღალ დონეს და მუშაობის ეფექტურობის აუცილებელ სიდიდეს, შესაძლებელია დავამყაროთ მისი კავშირი პერიოდულობასთან მუშაობის უნარის პარამეტრების კონკრეტულ მნიშვნელობებისათვის.

ნახ. 7-ზე ნაჩვენებია მომსახურების პერიოდულობის მნიშვნელობები, რომლებიც უმტყუნებლობის დასაშვებ დონეს შეესაბამებიათ თითოეული მაჩვენებლისათვის:  $L_{\text{მინ}}$  და  $L_{\text{მაქს}}$  მინიმალური, მაქსიმალური და  $L_i$  მათ შორის მნიშვნელობებისათვის.

ტექნიკური მოთხოვნების შესაბამისად სისტემამ უნდა უზურუნველყოს უმტყუნებო ფუნქციონირება გარკვეულ ინტერვალში მომსახურებებს შორის პერიოდში. ტექნიკურად შეუძლებელია და ეკონომიკურად არამიზანშეწო-ნილია მოვთხოვთ სისტემას აბსოლუტური 100%-იანი უმტყუნებლობა, მაგრამ შესაძლებლობის მიხედვით იგი უნდა იყოს ყველაზე მაქსიმალური. მოძრაობის უსაფრთხოებაზე მოქმედი სისტემებისათვის უმტყუნებლობის დასაშვები დონე არ უნდა იყოს 0,95-0,99-ზე ნაკლები. დანარჩენი სისტემებისათვის შეიძლება 0,85-0,90.

დიაგნოსტიკის ხარისხი დამოკიდებულია კონტროლის სისტემატურ და შემთხვევით ცდომილებებზე, ასევე გაზომვების შეცდომებზე. შესაძლებელია შეცდომათა რაოდენობის შემცირება კონტროლის გამეორებით და სხვა, მაგრამ შემთხვევითი ცდომილებების შედეგებზე გავლენის მთლიანად აღმოფხვრა შეუძლებელია, ამიტომ საჭირო ხდება მათი რაოდენობრივი შეფასება.

გასაგებია, რომ საკონტროლო ოპერაციების სადიაგნოსტიკო საშუალებების გამოყენებით პერიოდულობის დადგენა უნდა მოხდეს ამ საშუალებების შესაძლებლობებისა და ეკონომიკური მიზანშეწონილობის გათვალისწინებით.

შემთხვევითი ცდომილების გავლენის დადგენისათვის დიაგნოსტიკის დროს გამოიყენება მუშაობის უნარიანობის პარამეტრის განაწილების სიმჭიდროვე  $f_i(S)$  და გაზომვის სიმჭიდროვე  $\varphi(Y)$  ამასთან არის ორი ვარიანტი: პირველი – როდესაც შემთხვევითი ცდომილებები და მუშაობის პარამეტრებით განაწილებულია ნორმალური კანონით და მეორე, როდესაც ცდომილებები განაწილებულია ნორმალური კანონით, ხოლო მუშაობის პარამეტრები ვეიბულის კანონით.

შეცდომების ალბათობის საანგარიშოდ განვიხილოთ ორი შემთხვევა:

1)  $S_i$  ნამდვილი მნიშვნელობა ნაკლებია ზღვრულზე  $S_{ფლ}$ , ხოლო

გაზომვის შედეგი მეტია  $S_{ფლ}$ ;

2)  $S_i$  მნიშვნელობა მეტია  $S_{ფლ}$ , ხოლო გაზომვის შედეგი ნაკლებია  $S_{ფლ}$ ;

ეს შემთხვევები ითვალისწინებენ შემდეგ მდგომარეობებს:

A ხდომილება თუ  $S_i < S_{ფლ}$  და B, როდესაც გაზომვის შედეგი მეტია  $S_{ფლ}$ , ხდომილება C, თუ  $S_i > S_{ფლ}$  და ხდომილება D, როდესაც გაზომვის შედეგი ნაკლებია  $S_{ფლ}$ .

A და B ხდომილებების ერთდროულად შესრულების ალბათობა, ე.წ. არასასურველი ზემოქმედების ალბათობა, განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$P_{ა,ბ} = P(A) \cdot P(B) = \int_0^{S_{ფლ}} f_i(S) dS \cdot \int_{S_{ფლ}-S_i}^{\infty} \varphi(y) dy \quad (27)$$

C და D ხდომილებების ერთდროულად განხორციელების ალბათობა ე.ი. მტყუნებების გაშვების ალბათობა  $P_{აგ}$  ანალოგიურად განისაზღვრება.

არასასურველი ზემოქმედებისა და მტყუნებების გაშვების ალბათობების მისაღებად გამოიყენება მეთოდი, რომლის მიხედვითაც გაზომვის ცდომილებები და მუშაობის პარამეტრების განაწილების ფუნქცია  $F(y)=0-1,0$  დაიყოფა ნაწილებად, რის შემდეგაც განისაზღვრება შემთხვევითი ცდომილებები ამ ინტერვალების მიხედვით როგორც მათი სხვაობა (ნახ. 8). გამოსახულებას ექნება შემდეგი სახე:

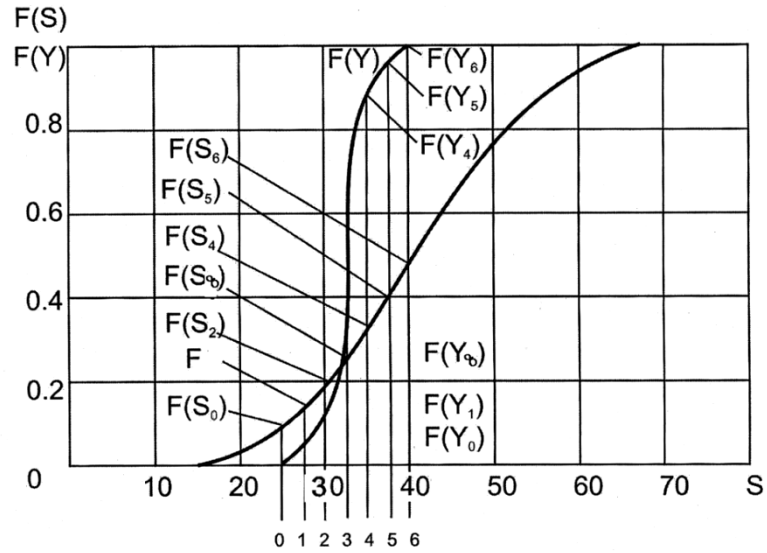
$$P_{ა,ბ} = [F(Y_6) - F(Y_5)][F(S_6) - F(S_5)] + [F(Y_5) - F(Y_4)][F(S_5) - F(S_4)] + [F(Y_4) - F(Y_3)] \quad (28)$$

$$P_{აგ} = F(Y_1)[F(S_6) - F(S_0)] + [F(Y_2) - F(Y_1)][F(S_6) - F(S_1)] + [F(S_6) - F(Y_2)][F(S_6) - F(S_2)] \quad (29)$$

(28) და (29) დამოკიდებულებები შედგენილია იმ შემთხვევისათვის, როდესაც ფუნქციის განაწილება დაყოფილია 6 ნაწილად, მაგრამ იგი სამართლიანი იქნება უფრო მეტ ნაწილად დაყოფის შემთხვევაშიც.

ტექნიკური დიაგნოსტიკა გამართლებულია, როდესაც შეცდომების ალბათობა უფრო მცირეა, ვიდრე მტყუნების ალბათობა შესაბამის ინტერვალებში

$$\bar{P}(L_{მომს}) \geq P_{ა,ბ}(L_{მომს}) + P_{აგ}(L_{მომს}) \quad (30)$$



ნახ. 8. დიაგნოზის შეცდომისა და ცდომილების ცვლილების საანგარიშო სქემა

სისტემებისათვის, რომლებიც მოძრაობის უსაფრთხოებაზე მოქმედებენ, არასასურველი ზემოქმედებები  $P_{\text{ფ}}$ , საერთოდ არამიზანშეწონილია, მაგრამ ამ შემთხვევაში ისინი შეიძლება მიღებული იყოს კრიტერიუმად, რაც გასაგებია, ამიტომ ასეთი სისტემებისათვის უნდა მივიღოთ:

$$\bar{P}(L_{\text{მომს}}) \geq P_{\text{ფ}}(L_{\text{მომს}}) \quad (31)$$

დიაგნოსტიკის გამოყენების ეკონომიკური მიზანშეწონილობა შეიძლება გამოვლენილ იქნას  $C_{\text{კუთ}}(L_{\text{მომს}})$  ხარჯების ერთიმეორესთან შედარებით დიაგნოსტიკის შემთხვევებში და მის გარეშე. მივიღოთ პირობა, რომ მტყუნების აღმოფხვრის ღირებულება მომსახურების დროს ნაკლებია იმავე მტყუნების აღმოფხვრის ხარჯებზე მომსახურებებს შორის ე.ი.

$$C_{\text{მტყ}}^{\text{ტ.მ.}} + nC_{\text{დიაგ}} < C_{\text{მტყ}} \quad (32)$$

სადაც,  $C_{\text{დიაგ}}$  - დიაგნოსტიკის ღირებულება ოპერაციის შესრულებისას;

$n$  - ოპერაციების რაოდენობა (მისი სიდიდე პირდაპირპროპორციულია მტყუნების საშუალო ნამუშევრის და უკუპროპორციულია მომსახურების პერიოდულობის).

$L_{\text{მომს}}$ -ის პერიოდში მტყუნების აღმოფხვრის ღირებულება განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$C_{\text{კუთ}}(L_{\text{მომს}}) = \frac{C_{\text{მტყ}} P_{\text{ფ}}(L_{\text{მომს}})}{L_{\text{მომს}}} \quad (33)$$

მომსახურების კუთრი ხარჯები (დიაგნოსტიკის ხარჯების გათვალისწინებით) მტყუნების ალბათობისა და ღირებულების პროპორციულია და განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$C_{ტ.ა.}(L_{მომს}) = C_{მტყ}^{ტ.ა.}[P(L_{მომს}) + P_{ა.ფ.}(L_{მომს})] + C_{დ} , \quad (34)$$

ხოლო მთლიანი კუთრი ხარჯების საანგარიშო გამოსახულებას შემდეგი სახე ექნება:

$$C_{კუთ}(L_{მომს}) = \frac{1}{L_{მომს}} \left\{ C_{მტყ}^{ტ.ა.}[P(L_{მომს}) + P_{ა.ფ.}(L_{მომს}) - P_{მგ}(L_{მომს})] + C_{დ} + C_{მტყ} \cdot P_{მგ}(L_{მომს}) \right\} \quad (35)$$

რის მიხედვითაც მოხდება პერიოდულობის დადგენა.

პერიოდულობის განსაზღვრის განხილული მეთოდი კარგად მიესადაგება კონკრეტული სისტემისა და მექანიზმის საკონტროლო-დიაგნოსტიკური ოპერაციების რეჟიმების ოპტიმიზირების პროცესებს.

მაგრამ თეორიული დასაბუთებისას მნიშვნელოვანია მეთოდის დამუშავება ტექნიკური მომსახურებისა და დეტალების შეცვლის სისტემის არსებული ორგანიზაციის გათვალისწინებით. დიაგნოსტიკის პერიოდულობა ზოგადად შემდეგნაირად განისაზღვრება:

$$L_{ფ} = K_0 \cdot \bar{I} \quad (36)$$

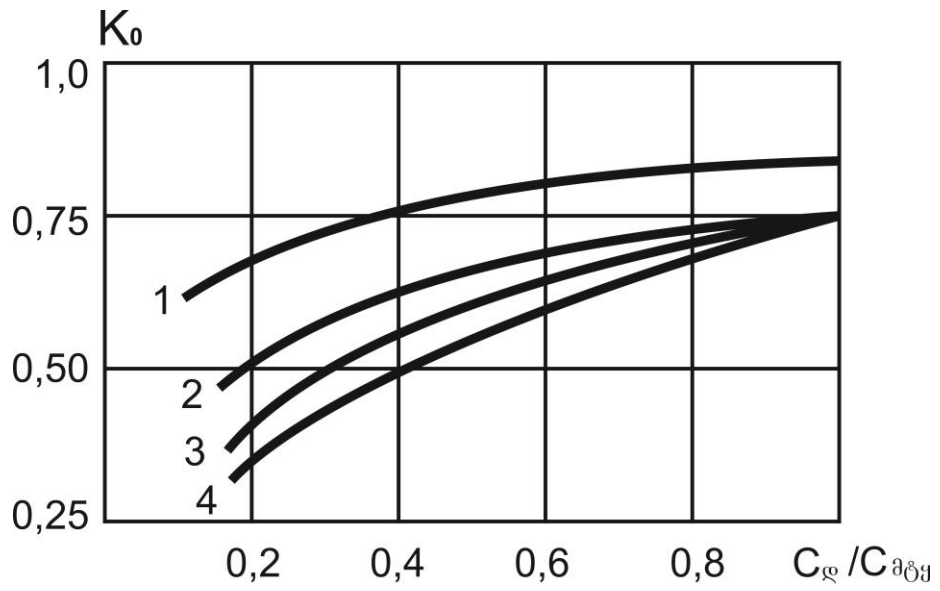
სადაც  $K_0$  არის ოპტიმალურობის კოეფიციენტი და გვიჩვენებს

დიაგნოსტიკის პერიოდულობა რამდენჯერ მეტი ან ნაკლებია მტყუნებათშორისი ნამუშევარზე და განისაზღვრება ანალიზურად;

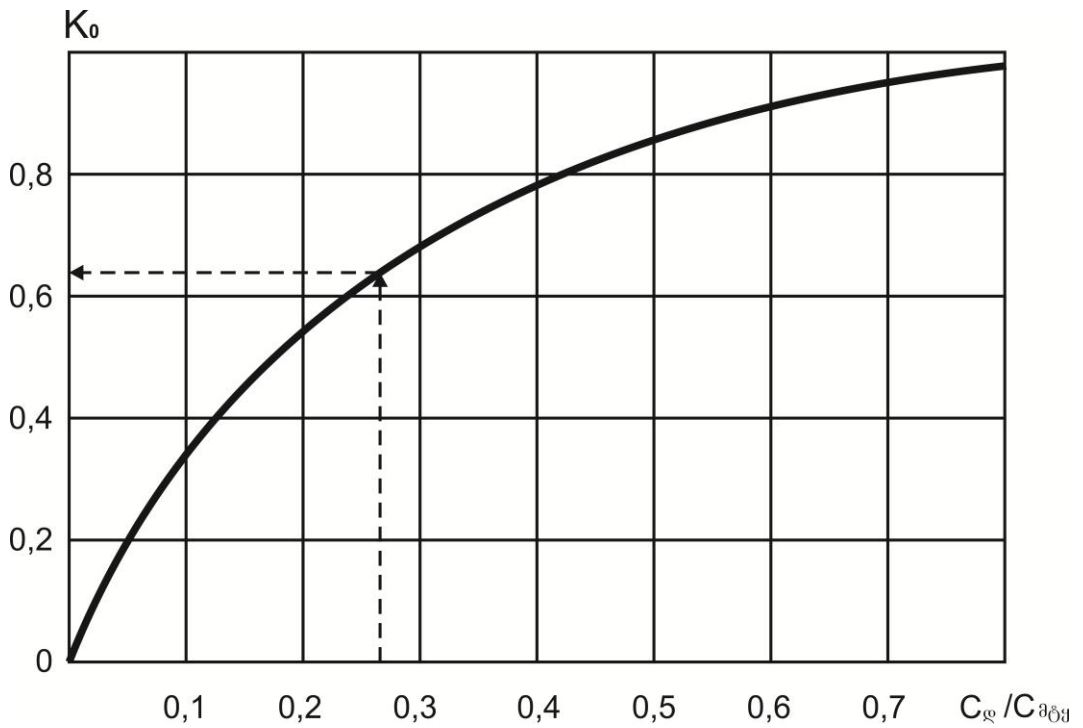
$\bar{I}$  – მიმდინარე გარბენის მნიშვნელობა.

მე-9 და მე-10 ნახაზებზე მოცემულია ოპტიმალურობის მრუდები განაწილების სხვადასხვა კანონის შემთხვევაში ვარიაციის კოეფიციენტის  $V$  სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის.





ნახ. 9. ოპტიმალურობის მრუდი ნორმალური განაწილების დროს



ნახ. 10. ოპტიმალურობის მრუდი განაწილების ექსპონენციალური კანონის შემთხვევაში

როგორც მე-9 ნახაზზე მოცემული ოპტიმალურობის მრუდები გვიჩვენებს  $C_d$  და  $C_{d\beta}$  ხარჯების ფარდობის გაზრდასთან ერთად იზრდება ოპტიმალურობის კოეფიციენტიც. ე.ი. დიაგნოსტიკების ოპტიმალური პერიოდულობა უახლოვდება მტყუნებათშორისო ნამუშევარს. ეს ფაქტი მიუთითებს იმაზე, რომ დიაგნოსტიკა და მომსახურება მოითხოვს დიდ ხარჯებს და თუ გამოირიცხება მტყუნება შესაძლებელი იქნება პერიოდულობის გაზრდა.

ვარიაციის კოეფიციენტის ზრდასთან ერთად ოპტიმალურობის კოეფიციენტი კლებულობს, ე.ი. დიაგნოსტიკების პერიოდულობა მცირდება  $C_d/C_{d\beta}$  ფარდობის ერთი და იგივე მნიშვნელობისათვის. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ ვარიაციის კოეფიციენტის ზრდასთან ერთად მტყუნებებს შორის გარბენას აქვს დიდი გაბნევა და მტყუნების წარმოქმნის საწინააღმდეგოდ პერიოდულობა უნდა შემცირდეს.

მოცემული მრუდიდან ჩანს აგრეთვე, რომ  $C_d/C_{d\beta}$  ფარდობის და ვარიაციის კოეფიციენტის შემცირებასთან ერთად, ოპტიმალურობის კოეფიციენტი აღწევს 0,75–0,90 მნიშვნელობას, რაც იძლევა პრაქტიკული რეალიზაციის მნიშვნელოვანი დასკვნის გაკეთების შესაძლებლობას იმის შესახებ, რომ ნორმალური განაწილების კანონის შემთხვევაში დიაგნოსტიკების პერიოდულობა არ უნდა იყოს 0,90  $\bar{t}$ .

რაც შეეხება განაწილების ექსპონენციალურ კანონს (ნახ. 10), მოცემული მრუდი არ არის დამოკიდებული მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრზე და დამოკიდებულია მხოლოდ  $C_d/C_{d\beta}$  ფარდობაზე. ამიტომ ოპტიმალური პერიოდულობის დასადგენად საჭიროა განისაზღვროს ოპტიმალურობის კოეფიციენტის ფარდობა მტყუნების ინტენსიობასთან, ე.ი.  $L_d = K_0 \cdot \frac{1}{\lambda}$ , რაც მნიშვნელოვნად ამარტივებს გაანგარიშებებს.

## 2.2. ექსპერიმენტული ნაწილი

### 2.2.1. ექსპერიმენტული კვლევის პირობები და ორგანიზაცია

ნაშრომის ექსპერიმენტული კვლევა მოიცავს საკონტროლო–დიაგნოსტიკური ოპერაციების შესრულების სტატისტიკური მონაცემების შეგროვებას, მათ დამუშავებასა და ანალიზს, უპირველეს ყოვლისა გამიჯნული იქნა ორი ძირითადი მიმართულება დიაგნოსტიკის მიზანისა და დანიშნულების მიხედვით: პირველი – როდესაც დიაგნოსტიკა სრულდება ავტომობილის გაყიდვის (სხვისთვის გადაცემის) დროს და ახალ მფლობელს აქვს სურვილი მიიღოს სრულყოფილი ინფორმაცია შეძენილი ავტომობილის ტექნიკური მდგომარეობის შესახებ; მეორე – როდესაც დიაგნოსტიკა სრულდება მძღოლის განაცხადით რომელიმე სისტემაში (აგრეგატში) წარმოშობილი ან მოსალოდნელი უწყესივრობის აღმოჩენისა და მისი მიზეზის გამოვლენის მიზნით. არის მესამე სახის მიმართულებაც – ყოველწლიური ტექნიკური დათვალიერებისას მოძრაობისა და ეკოლოგიური უსაფრთხოების უზრუნველ–ყოფაზე მოქმედი სისტემებისა და აგრეგატების ტესტირება.

აღნიშნული მიმართულებით სტატისტიკური – ინფორმაციული ბაზის შევსება, კვლევის ამოცანების შინაარსიდან გამომდინარე, სრულყოფილ შედეგებზეა ორიენტირებული და თეორიული მეთოდების პრაქტიკული რეალიზაციის დროს მათი გამოყენება უფრო ეფექტურია. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მესამე სახის ინფორმაციული მონაცემები არ იქნა დამუშავებული მათი არაარსებობის გამო.

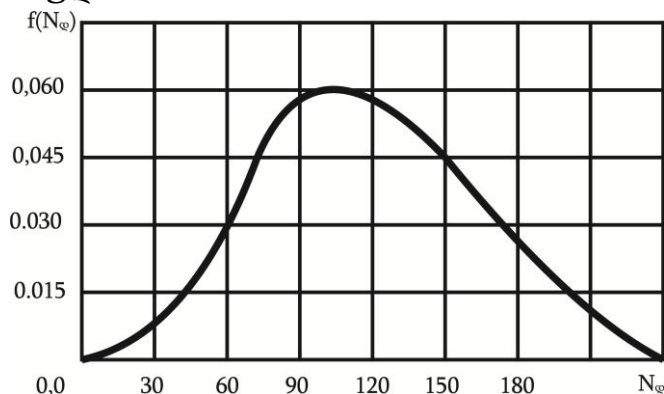
კვლევის ობიექტად აღებული იქნა სხვადასხვა მარკის, მოდელისა და გარბენის მქონე მსუბუქი ავტომობილები, რომელთა მოძრაობა დაკავშირებულია საქალაქო და საქალაქთაშორისო საექსპლუატაციო პირობებში მუშობასთან. ავტომობილების ექსპლუატაციის საშუალო ზოგადი მაჩვენებლები შემდეგია:

1. მუშა დღეების საშუალო წლიური რაოდენობა – 285 დღ;
2. საშუალო დღიური გარბენა – 100 კმ;

3. ტექნიკური მიზეზებით გამოწვეული მოცდენა – 15-20 დღე;
4. შევსების (მგზავრტევადობის) საშუალო კოეფიციენტი – 0,35-0,45;
5. საშუალო წლიური გარბენა – 28-30 ათასი კმ.

მონაცემები დიაგნოსტიკაზე (ტესტირებაზე) განაცხადების შესახებ აღებული იქნა ქ. თბილისის ავტოსერვისისა და ტესტირების ცენტრებში, სადაც ხდება ტესტირების ოპერატორების მიერ სადიაგნოსტიკო ოპერაციების შესრულება სათანადო დიაგნოსტიკური მოწყობილობისა და აპარატურის საშუალებით. უნდა აღინიშნოს, რომ ავტომობილების ტესტირება მათი გასხვისების (ახალი მფლობელის სურვილით) დროს უმნიშვნელოა და როგორც სტატისტიკური მონაცემების ანალიზით დადგინდა, რაოდენობა გასხვისებული ავტომობილების მთლიანი რაოდენობის დაახლოებით 10-15%-ს შეადგენს.

ტესტირებაზე განაცხადების სტატისტიკური მონაცემების დამუშავებისას მხედველობაში იქნა მიღებული მათი სეზონური ცვლილება (ზამთარი, ზაფხული) თითოეული სერვისცენტრების მიხედვით და გამოვლენილი იქნა დღიური განაცხადების კანონმზომიერება და მისი პარამეტრები. მე-11 ნახაზზე მოცემულია აღნიშნული განაწილების სიმჭიდროვის მრუდი.



ნახ. 11. ავტომობილების ტესტირებაზე განაცხადების დღიური განაწილების სიმჭიდროვის მრუდი

როგორც განაწილების პარამეტრების ანალიზმა გვიჩვენა, ტესტირებაზე განაცხადების დღიური განაწილების კანონმზომიერება ახლოა პუასონის განაწილებასთან და მისი საშუალო სიდიდე (მათემატიკური მოლოდინი)

ტოლია:  $N_{საშ.} = 95$  ავტ. დღეში, ვარიაციის კოეფიციენტით  $V = 0,55$  და საშუალო კვადრატული გადახრით  $\sigma = 59$  ავტ. დღეში. ასეთი მაჩვენებლები გამოვლენილი იქნა თითოეული სერვისცენტრების მიხედვით.

განსაკუთრებულ ყურადღებას მოითხოვს ის გარემოება, რომ მფლობელის სურვილით ავტომობილის დიაგნოსტიკა (მეორე მიმართულება) თავის მხრივ ორ ჯგუფად იყოფა:

1. ავტომობილის გაუმართაობის ან რაიმე მკვეთრად გამოხატული არასასურველი სიმპტომების დროს (მოძრაობის სტაბილურობის დარღვევა, საწვავის ხარჯის გაზრდა, ნამწვი აირების სუნისა და ფერის შეცვლა, წვეთი მახასიათებლების შეცვლა და სხვ.);

2. გამაფრთხილებელი სასიგნალო ნათურის ჩართვა, რაც კონკრეტული მიზეზების შედეგად ხდება.

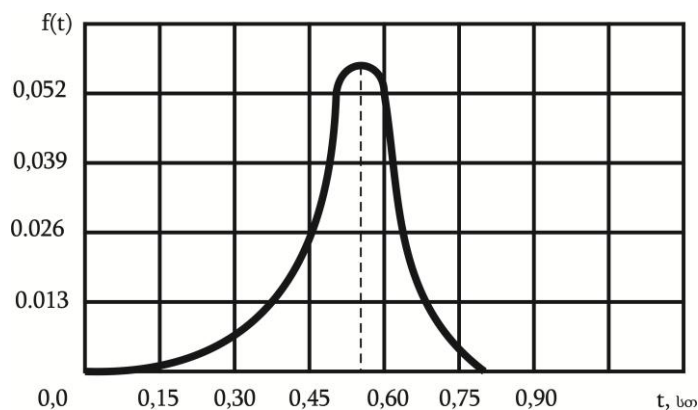
მეორე ჯგუფის ტესტირება დამახასიათებელია თანამედროვე, ბოლო წლების გამოშვების მსუბუქი ავტომობილებისათვის, რომლებიც აღჭურვილნი არიან "საბორტე დიაგნოსტიკის" მთელი რიგი მოწყობილობებით. ამ პირობიდან და აგრეთვე ავტომობილის ექსპლუატაციის ინსტრუქციებიდან გამომდინარე, ამ ჯგუფის ტესტირებათა რაოდენობა მნიშვნელოვნად დიდია.

ტესტირებათა საერთო რაოდენობის ანალიზით დადგინდა, რომ ტესტირებებს შორის საშუალო პერიოდულობა დაახლოებით 15 ათასი კმ-ის ტოლია, რაც წელიწადში ერთ ავტომობილზე შეადგენს ორ ტესტირებას. თუმცა აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ამ სიდიდის განაწილების კანონზომიერების სხვადასხვა ფორმისას მისი გაზნევა (ვარიაციის კოეფიციენტი) საკმაოდ მაღალია  $V=0,7-0,8$ . ამიტომ მისი ნორმატიულ მაჩვენებლად მიღება შეუძლებელი და არამიზანშეწონილია.

ტესტირების ტექნიკურ-ორგანიზაციული და ეკონომიკური მაჩვენებლის ანალიზის მიზნით, ექსპერიმენტული კვლევა მოიცავდა შრომითი ხარჯების გამოვლენას. იგულისხმება დიაგნოსტიკური ოპერაციების შესრულებისათვის საჭირო დროის სიდიდის განსაზღვრას. იგი დამოკიდებულია ოპერატორის კვალიფიკაციაზე, გამოყენებული მოწყობილობის საიმედოობაზე და მასში ჩატვირთული პროგრამების სრულყოფაზე და

ხარისხზე, პროგრამული სისტემების სირთულეზე და გამოსაკვლევი ავტომობილის (მისი სისტემებისა და კვანძების) "სადიაგნოსტიკო", კონსტრუქციულ მზადყოფნაზე. გასაგები მიზეზების გამო ჩამოთვლილი ფაქტორების არაერთგვაროვნება კონკრეტულ შემთხვევაში პირდაპირ მოქმედებს დიაგნოზის დასმის (უწესიერობის მოძებნის და აღმოჩენის) ხანგრძლივობაზე.

აღნიშნული საკითხის მრავალმხრივმა შესწავლამ და სტატისტიკური მონაცემების დამუშავებამ საშუალება მოგვცა გაგვესაზღვრა დიაგნოსტიკური ბისათვის საჭირო დროის განაწილების პარამეტრები და კანონმზომიერება (ნახ. 12).



**ნახ. 12. დიაგნოსტიკების ხანგრძლივობის განაწილების სიმჭიდროვის მრუდი**

როგორც ანალიზმა გვიჩვენა, ტესტირების ხანგრძლივობის განაწილება ექვემდებარება ნორმალურ კანონს საშუალო სიდიდით  $t_{საშ.}=0,5$  სთ და ვარიაციის კოეფიციენტი  $V = 0,23$ .

ორგანიზაციულ-ტექნიკური თვალსაზრისით ავტომობილების დიაგნოსტიკა სერვისცენტრებში და მომსახურების ობიექტებში სრულდება სპეციალისტ-ოპერატორების მიერ, პროგრამული უზრუნველყოფის სპეციალური სადიაგნოსტიკო აპარატით (სხვადასხვა მარკის და სხვადასხვა ფირმის მიერ დამზადებული).

დიაგნოსტიკურ მოწყობილობას (პორტატული ტიპის, გადასატანი) აქვს სტატისტიკის მონაცემთა ბაზა, რის მიხედვითაც ქრონოლოგიურად დალაგდება სადიაგნოსტიკო ავტომობილების მარკები სამუშაო დაფაზე.

დიაგნოსტიკას ექვემდებარება ელექტრული მართვის სისტემები და აგრეგატები, რომლებიც შემდეგნაირად არის ფორმირებული:

- ძრავის მართვის ბლოკი;
- გადაცემათა კოლოფის მართვის ბლოკი;
- სამუხრუჭე სისტემის მართვის ბლოკი;
- უსაფრთხოების ბალიშების მართვის ბლოკი;
- ავტომობილის მოპარვის საწინააღმდეგო სისტემების მართვის ბლოკი;
- კომბინირებული ხელსაწყოების დაფის მართვის ბლოკი;
- კომფორტის მართვის ბლოკი;
- მაშუქი ფარების რეგულირების მართვის ბლოკი.

თითოეული მართვის ბლოკი შინაარსობრივად მოიცავს იმ დიაგნოსტიკური ნიშნებისა და პარამეტრების ნუსხას, რომელიც კონკრეტულად ასახავს დიაგნოზის დასმის სისწორესა და შეცდომებს.

## **2.2.2. ავტომობილის საკონტროლო გამზომი ხელსაწყოების**

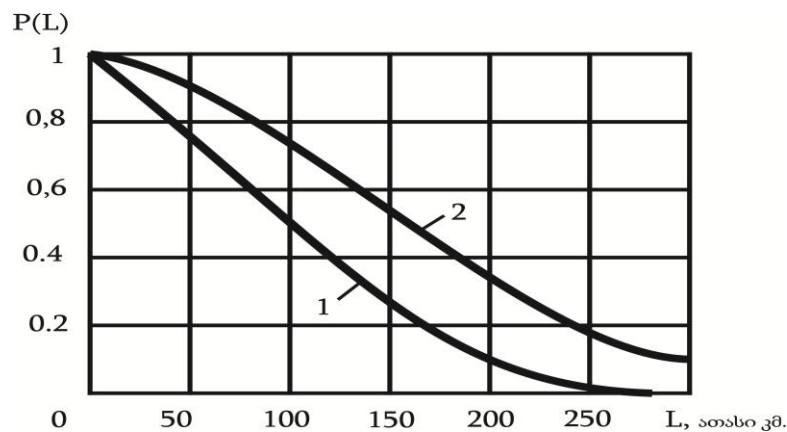
### **საიმედოობის მაჩვენებლების გამოვლენა**

ავტომობილების აგრეგატების და სისტემების ფუნქციონირების ამსახველი პარამეტრების შესახებ ინფორმაცია, რომელსაც დებულობს ოპერატორი (მოდრაობისას მძღოლი და სხვა შემთხვევაში მომსახურე პერსონალი) მოიცავს მონაცემებს, რომლებიც მიუთითებენ ავტომობილზე განხორციელებული ტექნიკური ზემოქმედების აუცილებლობას ან მისი შესრულების პროგნოზირებას. ამ ინფორმაციის დამაჯერებლობა (კონტროლის უტყუარობა, მისი სარწმუნო ალბათობა) დამოკიდებულია საინფორმაციო და მზომი ხელსაწყოების და გადამწოდების საიმედოობაზე (ზეთის წნევა, გამაგრი-ლებელი სითხის ტემპერატურა, სპიდომეტრი და მისი ამძრავი-მექანიკური თუ ელექტრული, სამუხრუჭე სითხის დონე და მექანიზმების მდგომარეობა, ავზში საწვავის დონე და მისი ხარჯვის საკონტროლო სისტემა, საბურავებში ჰაერის წნევა, ძრავის მუხლა ლილვის

ბრუნთა რიცხვის მაჩვენებელი – ტახომეტრი და სხვა უამრავი ელექტროსისტემა პროგრამული უზრუნველყოფით).

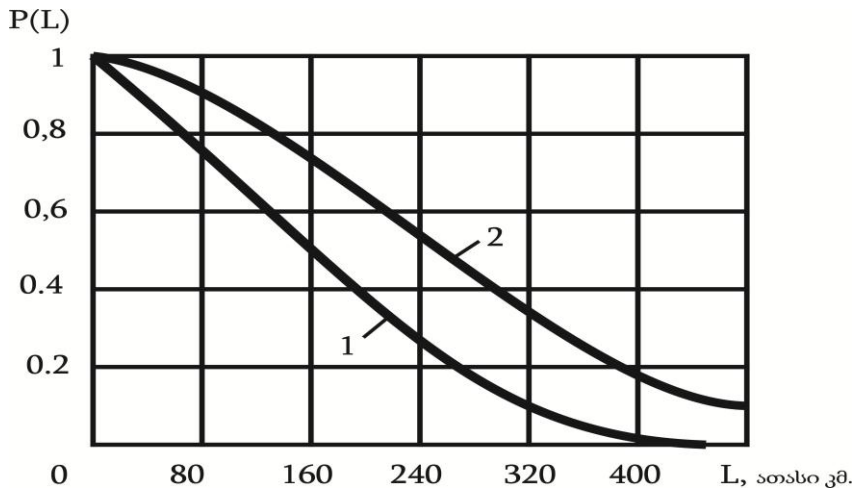
ასეთი სისტემებისა და მოწყობილობების საიმედოობა განპირობებულია უწყვეტობებითა და მტყუნებებით, რომელთა გამოვლენის ხასიათი და წარმოქმნის მიზეზი შეიძლება იყოს სიგნალის უეცარი გაწყვეტა, ნათურის გადაწვა და დასაშვები ზღვრებიდან გამოსული დატვირთვები. როგორც ცნობილია ასეთი სახის მტყუნებების (უეცარი მტყუნებები) განაწილების კანონმზომიერება ექვემდებარება ექსპონენციალურ კანონს. ამ კანონის ძირითადი თავისებურება არის ის, რომ ხასიათდება მოქმედების შეწყვეტით, ე.ი. მტყუნების ალბათობა არ არის დამოკიდებული მტყუნების წინა ნამუშევარზე (გარბენა, დრო და სხვ.) და ნამუშევრის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია საშუალო კვადრატული გადახრის. ე.ი.  $L_{საშ.} = \sigma$ , მაშასადამე ვარიაციის კოეფიციენტი ერთის ტოლია,  $v = 1$ .

ავტომობილებზე ხანგრძლივი დაკვირვების შედეგად მიღებული სტატისტიკური მონაცემების დამუშავებით მიღებულ იქნა ძრავის შეზეთვის სისტემაში ზეთის წნევის გადამწოდისა და მონომეტრის, ხოლო გაგრილების სისტემაში ტემპერატურული გადამწოდისა და თერმომეტრის უმტყუნებლობის მაჩვენებლები და აგებული იქნა მათი უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის მრუდები (ნახ. 13 და ნახ. 14). გამოვლენილი იქნა აგრეთვე განაწილების პარამეტრები – საშუალო რესურსი, საშუალო კვადრატული გადახრა და ვარიაციის კოეფიციენტი (ცხრილი 1).



ნახ. 13. ძრავის ზეთის წნევის გადამწოდის – 1 და მანომეტრის – 2 უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის მრუდები





ნახ. 14. ძრავის გაგრილების სისტემის ტემპერატურული გადამწოლის –1 და თერმომეტრის – 2 უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის მრუდები

ცხრილი 1

**რესურსების განაწილების პარამეტრები**

№	ელემენტის დასახელება	საშუალო რესურსი $L_{საშ}$ , ათასი კმ.	ვარიაციის კოეფიციენტი, $v$	საშუალო კვადრატული გადახრა $\sigma$ , ათასი კმ.
1	წნევის გადამწოდი	240,0	0,95	228,0
2	ზეთის მანომეტრი	380,0	0,90	342,0
3	ტემპერატურული გადამწოდი	210,0	0,91	190,0
4	თერმომეტრი	230,0	0,88	202,4

როგორც ცხრილის მონაცემები გვიჩვენებს, საკვლევი საკონტროლო მოწყობილობების რესურსები საკმაოდ მაღალია, 190-380 ათასი კმ-ის ზღვრებში და მათი განაწილება ექვემდებარება ექსპონენციალურ კანონს ვარიაციის კოეფიციენტით 0,88-0,95 ზღვრებში.

საკონტროლო-სადიაგნოსტიკო და საინფორმაციო მოწყობილობების საიმედოობის სათანადო დონეზე შენარჩუნება მოითხოვს კონკრეტული ტექნიკური ზემოქმედების განხორციელებას. იგულისხმება როგორც პროფილაქტიკური, ისე წინასწარი დაგეგმილი შეცვლითი სახის სამუშაოების შესრულება. ასეთი სახის სამუშაოების შესრულების

პერიოდულობა დამიკიდებულია საინფორმაციო თუ სადიაგნოსტიკო პარამეტრის ცვლილებაზე. ე.ი. კონტროლის (დიაგნოზის) ცდომილების სიდიდეზე. როგორც წესი, ტექნიკური მომსახურების ოპერაციების შესრულება მტყუნებათა განაწილების ექსპონენციალური კანონის შემთხვევაში არაეფექტურია, ელემენტის შეცვლა კი მოხდეს გარკვეული გარბენის ნარჩენი რესურსის გათვალისწინებით. გარკვეული გარბენის შემდეგ შეცვლათა რაოდენობა მტყუნების ალბათობაზეა დამოკიდებული.

თუ მივიღებთ, რომ შეცვლათა რაოდენობა განისაზღვროს  $L=50$  ათასი კმ-თვის, ხოლო ერთი და იგივე ტიპის და დანიშნულების მოწყობილობების რაოდენობა 10-ის ტოლია, მაშინ ზეთის მანომეტრის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა იქნება:

$$P(L) = e^{-\frac{50000}{380000}} = e^{-0,13} \approx 0,9$$

მტყუნების ალბათობა იქნება:

$$F(L) = 1 - P(L) = 1 - 0,9 = 0,1$$

ხოლო შეცვლათა რაოდენობა მოცემული პერიოდისათვის იქნება:

$$N_{შეც} = n_{მოწყ} \cdot F(L) = 10 \cdot 0,1 = 1,0$$

ანალოგიურად განისაზღვრება სხვა საინფორმაციო და საკონტროლო-სადიაგნოსტიკო მოწყობილობების შეცვლათა რაოდენობა.

ავტომობილის საკონტროლო-სადიაგნოსტიკო ხელსაწყოების საიმედოობის მაჩვენებლების გამოვლენა და ანაღვი საშუალებას იძლევა კონკრეტული მოწყობილობისა და ხელსაწყოს მიმართ ეფექტურობის პირობიდან გამომდინარე, დასახული იქნას ტექნიკური ზემოქმედების გარკვეული სახეობა.

### 2.2.3. ძრავის ფუნქციონალური სისტემების

#### მაჩვენებლების გამოვლენა

ძრავის ეფექტური მუშობა და მისი ძირითადი პარამეტრის დასაშვებ ზღვრებში უზრუნველყოფა დამოკიდებულია ძირითადი და დამხმარე სისტემების საიმედოობის მაჩვენებლებზე. აღნიშნული მაჩვენებლები

იცვლება ავტომობილის გარბენასთან ერთად. აღნიშნული ცვლილება პარამეტრების გაუარესებისკენ არის მიმართული და მისი განვითარების კანონმზომიერება დამოკიდებულია კონსტრუქციულ სრულყოფაზე, დამზადების ტექნოლო-გიაზე, გამოყენებულ მასალებზე და რაც ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანია, მუშაობის რეჟიმებზე კონკრეტულ საექსპლუატაციო პირობებში. ტექნიკური მდგომარეობის ცვლილების რეალური შედეგი არის ის, რომ ძრავი არ მუშაობს ეფექტურად, ან წყვეტს მუშაობას. ეს გამოიხატება თანდათანობით, ან უეცარი მტყუნებით. დიაგნოსტიკის და საკონტროლო-სარეგულირებელი სამუშაოების შესრულების ძირითადი მიზანი არის დიაგნოსტიკური პარამეტრების ცვლილების დაფიქსირება და განვითარების კანონმზომიერების დადგენა, რაც მიზეზ-შედეგობრივი ანალიზით ხდება. მისი განხორციელება ხდება კონკრეტული ფუნქციონალური სისტემებისა და მექანიზმების სადიაგნოსტიკო ნიშნებისა და პარამეტრების მიხედვით, რომლებიც საბოლოოდ ძრავის მუშაობის პარამეტრებით აისახება.

ასეთ სისტემებს მიეკუთვნება: მრუდმხარა და გაზგამანაწილებელი მექანიზმები, ჰაერის მიწოდებისა და ნაძწვი აირების გაშვების სისტემები, საწვავის მიწოდების და ანთების სისტემები, გაგრილების და შეზეთვის სისტემები.

აღნიშნული სისტემებიდან ბევრი მათგანის მუშაობის პარამეტრი კონტროლდება ხელსაწყოებით და გადამწოდებით. ინფორმაცია მუდმივად მიიღება (საბორტე დიაგნოსტიკა). ზოგიერთი პარამეტრი კი საჭიროებს პერიოდულ დადგენას. ხოლო ზოგიერთი სისტემის უწესივრობები და მტყუნებები აშკარად გამოსცდელი ნიშნით ხასიათდებიან (ჰერმეტიკულობის დარღვევა, გასკდომა, ნათურის გადაწვა და სხვ.). სტატისტიკური მონაცემების ანალიზით დადგენილ იქნა მტყუნებათა და უწესივრობათა სისტემების მიხედვით პროცენტული განაწილება (ცხრილი 2).

**ძრავის მტყუნებათა პროცენტული განაწილება სისტემების მიხედვით**

№	ძრავის სისტემების დასახელება	მტყუნებათა %
1	მრუდმხარა და გაზ-გამანაწილებელი სისტემები	10
2	ჰაერის მიწოდებისა და ნამწვი აირების გაშვების სისტემები	15
3	საწვავის მიწოდების სისტემა	25
4	ანთების სისტემა	30
5	გაგრილების სისტემა	12
6	შეზეთვის სისტემა	8

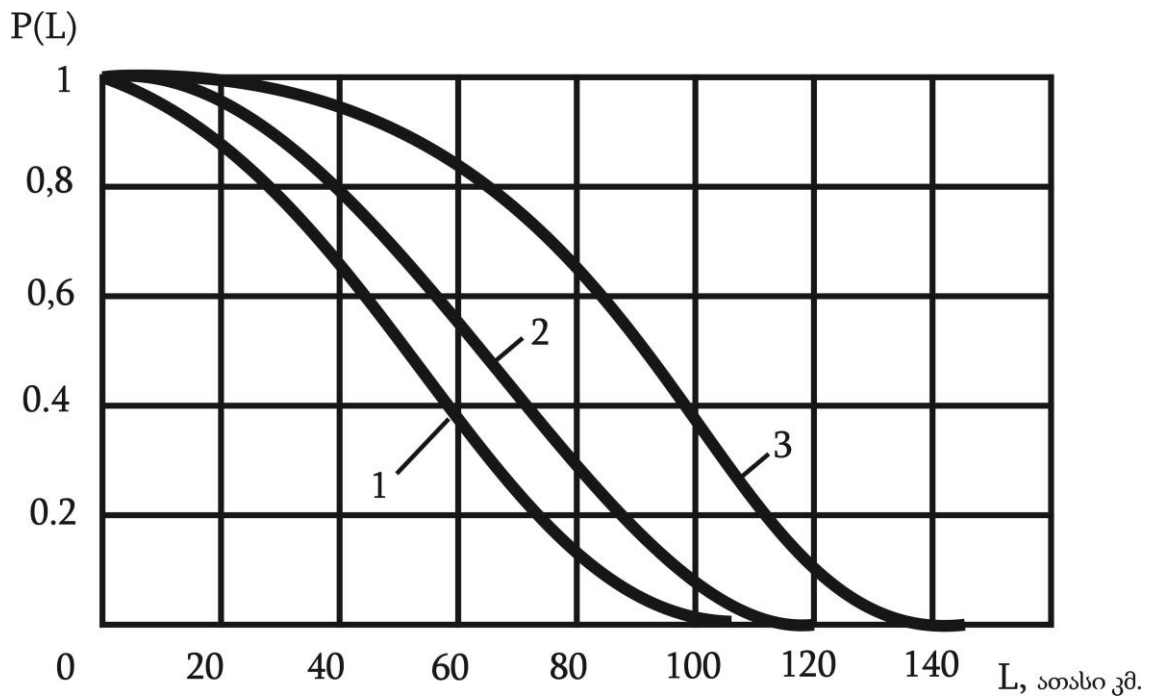
საიმედოობის მაჩვენებლების მიხედვით ძრავის მოცემული სისტემები მუშაობის პრინციპის, პირობების და რეჟიმების განსხვავების გამო არაერთგვაროვანია. განსხვავდებიან ისინი საიმედოობის მალიმიტირებელი დეტალების (კვანძების) რაოდენობითა და ნომეკლატურით (ცხრილი 3).

**ძრავის სისტემის საიმედოობის მალიმიტირებელი დეტალები**

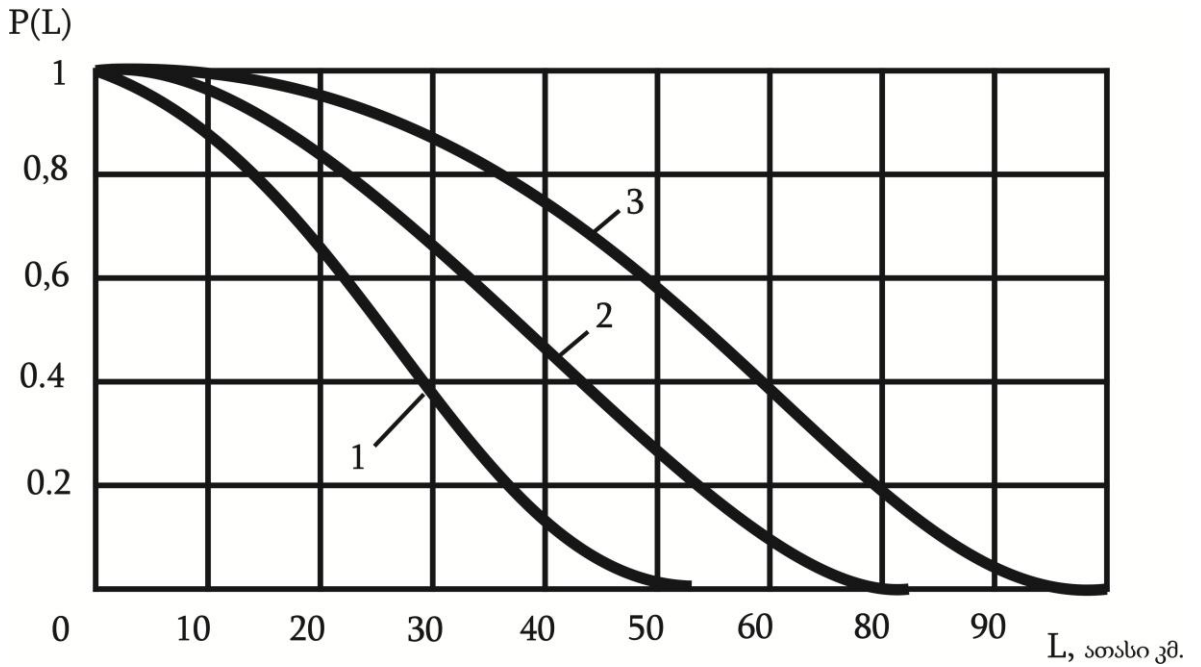
№	ძრავის სისტემების დასახელება	სისტემის საიმედოობის მალიმიტირებელი დეტალები
1	ჰაერის მიწოდებისა და ნამწვი აირების გაშვების სისტემები	- ჰაერის ფილტრი - კატალიზატორი
2	საწვავის მიწოდების სისტემა	- საწვავის ტუმბო - საწვავის ფილტრი - მფრქვევანა - საწვავის დონის გადამწოდი
3	შეზეთვის სისტემა	- ზეთის ფილტრი - ზეთის ტუმბო - ზეთის წნევის გადამწოდი - კარტერის სადები
4	ანთების სისტემა	- ანთების სანთელი - მაღალი ძაბვის გამტარები - გენერატორის ღვედი - სტარტერის ამძრავი რელე - გენერატორის საკონტაქტო მუსები
5	გაგრილების სისტემა	- წყლის ტუმბო - ტუმბოს ამძრავი ღვედი - თერმოსტატი - ტემპერატურული გადამწოდი - რადიატორი და შლანგები - რეზერვუარის სახურავი

უნდა აღინიშნოს, რომ მრუდმხარა-ბარბაცა და აირგამანაწილებელის მექანიზმების უწყვირობათა ნუსხაში ძირითადად სარქველების სარეგულირებელი სამუშაოებია, აგრეთვე დიაგნოსტიკების პროცესში (მუშობის დიდი ხანგრძლივობის მქონე ავტომობილებისათვის), კომპრესიის გაზომვა ცილინდრებში.

უმტყუნებლობის მაჩვენებლიდან განსაზღვრული იქნა თითოეული სისტემის საიმედოობის მალიმიტიზირებელი დეტალების მტყუნებათა განაწილების პარამეტრები და აგებული იქნა უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის მრუდები. ამან საშუალება მოგვცა საკვლევი სისტემებისათვის მიგველო შემაჯამებელი მაჩვენებლები. მე-15 და მე-16 ნახაზებზე მოცემულია სისტემების უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის მრუდები.

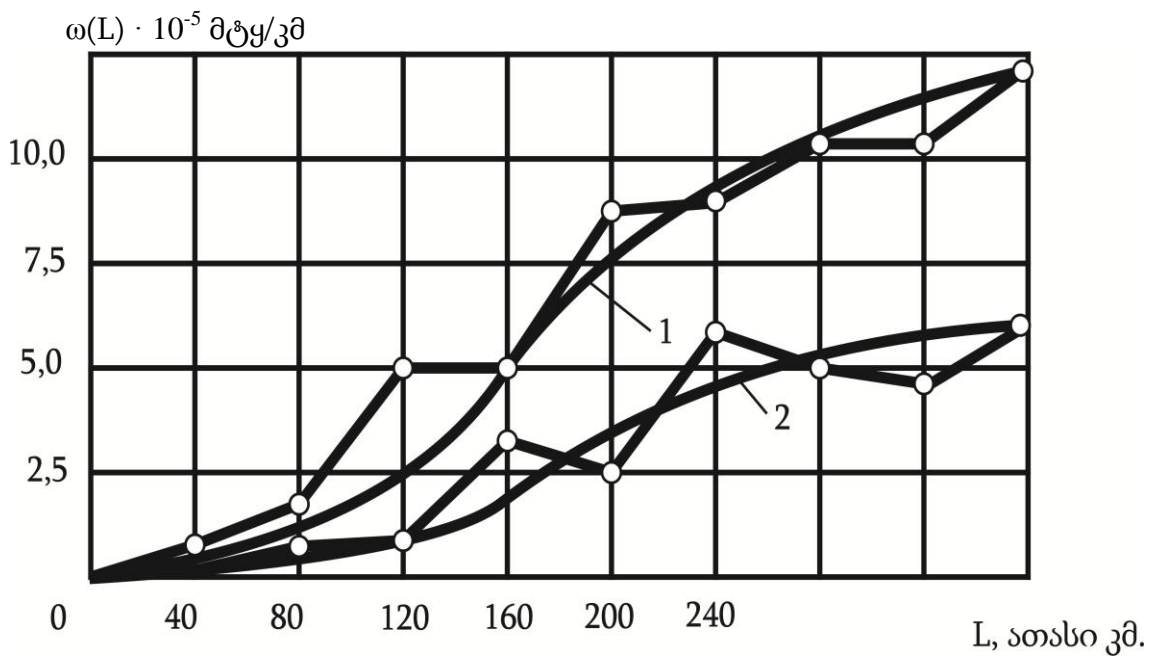


ნახ. 15. უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის მრუდები:  
1-ჰაერის ფილტრი; 2-საწვავის მიწოდების სისტემა; 3-კატალიზატორი.



ნახ. 16. უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის მრუდები:  
 1-შეზღვევის სისტემა; 2-გაგრილების სისტემა; 3-ანთების სისტემა

სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე განსაზღვრული იქნა მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრების მნიშვნელობები გარბენის ინტერვალების მიხედვით. მე-17 ნახაზზე მოცემულია მისი ცვლილების დინამიკა.



ნახ. 17. მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრები:  
 1-გაგრილების სისტემა; 2-ანთების სისტემა

საიმედოობის რაოდენობრივი შეფასების მიზნით განსაზღვრულ იქნა საკვლევი სისტემების მტყუნებათაშორისო ნამუშევარი. იგი წარმოადგენს მთლიანი გარბენის შეფარდებას მტყუნებათა საერთო რაოდენობასთან და ახასიათებს მათი წარმოქმნისა და აღმოფხვრის სიხშირეს (ცხრილი 4).

ცხრილი 4

**ძრავას სისტემებისა და მექანიზმების მტყუნებათაშორისო ნამუშევარი**

№	ძრავას სისტემები და მექანიზმები	მტყუნებათა– შორისო ნამუშევარი, ათასი კმ.
1	ჰაერის მიწოდებისა და ნამწვი აირების გაშვების სისტემა	55,5
2	საწვავის მიწოდების სისტემა	38,0
3	შეზეთვის სისტემა	10,5
4	ანთების სისტემა	68,0
5	გაზგამანაწილებელი სისტემა	85,0
6	გაგრილების სისტემა	37,5

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ცხრილში მოცემული მნიშვნელობები საშუალო მაჩვენებლებია და სხვადასხვა ფირმის და მარკის ავტომობილებისათვის შეიძლება მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდნენ. საიმედოობის მალიმიტირე–ბელი დატალებისა და კვანძების ნომეკლატურული დასახელებები დაახლოებით იგივეა. ყველა მსუბუქი ავტომობილისათვის, მაგრამ მათი რესურსების განაწილების პარამეტრები ერთმანეთს არ ემთხვევა. მაგალითად, "მერსედესის" მარკის ავტომობილების დეტალებისა და კვანძების რესურსის საშუალო მნიშვნელობები დაახლოებით 1,5-1,8–ჯერ მეტია იგივე დასახელების "ოპელის" მარკის დეტალებისა და კვანძებთან შედარებით.

მტყუნებებისა და უწყესივრობების სტატისტიკური ანალიზის დროს, როდესაც მათი გამომწვევი მიზეზების დადგენა ხდება, საჭიროა მათი კლასიფიცირება შედეგის გამოვლენის მიხედვით. არის მტყუნების შემთხვევები, როდესაც ისინი გამოხატულია აშკარა ნიშნით (გასკდომა,

გატეხვა, გადაწვა გაგლეჯვა და სხვ.) და დიაგნოსტიკის გამოყენების აუცილებლობა მოხსნილია. არის შემთხვევები, როდესაც აუცილებელია დიაგნოსტიკის ოპერაციების შესრულება, რათა დადგინდეს მტყუნების კონკრეტული მიზეზი. ასეთი მტყუნებების რაოდენობა დამოკიდებულია საკვლევი სისტემების საიმედოობაზე, მის მაღლიმიტირებელ დეტალებზე, მუშობის რეჟიმებზე და კონსტრუქციულ თავისებურებებზე (ცხრილი 5). ასეთი სტატისტიკური მონაცემები, მათი დამუშავება და ანალიზი საჭირო და აუცილებელია იმ თვალსაზრისითაც, რომ დასახული ღონისძიებები იძლეოდნენ მტყუნების პროგნოზირების საშუალებას და შესაძლებელი იყოს მეორე, მესამე და შემდგომი მტყუნებების მიზეზების კანონზომიერებისა და პარამეტრების დაგეგმვისა და მართვის მეთოდების სრულყოფა.

ცხრილი 5

**მტყუნებებისა და უწყესივრობების პროცენტული განაწილება  
მათი გამოვლენის მეთოდის მიხედვით**

№	სისტემები და მექანიზმები	მტყუნებების % განაწილება	
		აშკარა ნიშნით (ვიზუალურად)	დიაგნოსტიკით
1	ცილინდრი-დგუმის ჯგუფი და გამანაწილებელი სისტემა	5	95
2	ჰაერის მიწოდებისა და ნამწვი აირების გაშვების სისტემა	10	90
3	საწვავის მიწოდების სისტემა	15	85
4	ანთების სისტემა	10	90
5	შეზეთვის სისტემა	100	–
6	გაგრილების სისტემა	60	40

კონკრეტული სტატისტიკური მონაცემების დამუშავებით (სპეციალური კვლევა რომელიმე მარკის ავტომობილებზე დაკვირვების გზით) ცხრილში მოცემული შედეგები შეიძლება კორექტირებული იყოს და განსხვავებაც საგრძნობი იყოს, ვინაიდან დიაგნოსტიკის მეთოდების გამოყენება დამოკიდებულია არამარტო დიაგნოსტიკის საშუალებებზე, მოწყობილობასა და ხელსაწყოების საიმედოობაზე, არამედ ოპერატორის კვალიფიკაციაზე, მის მიერ ლოგიკური დასკვნების გაკეთებაზე.



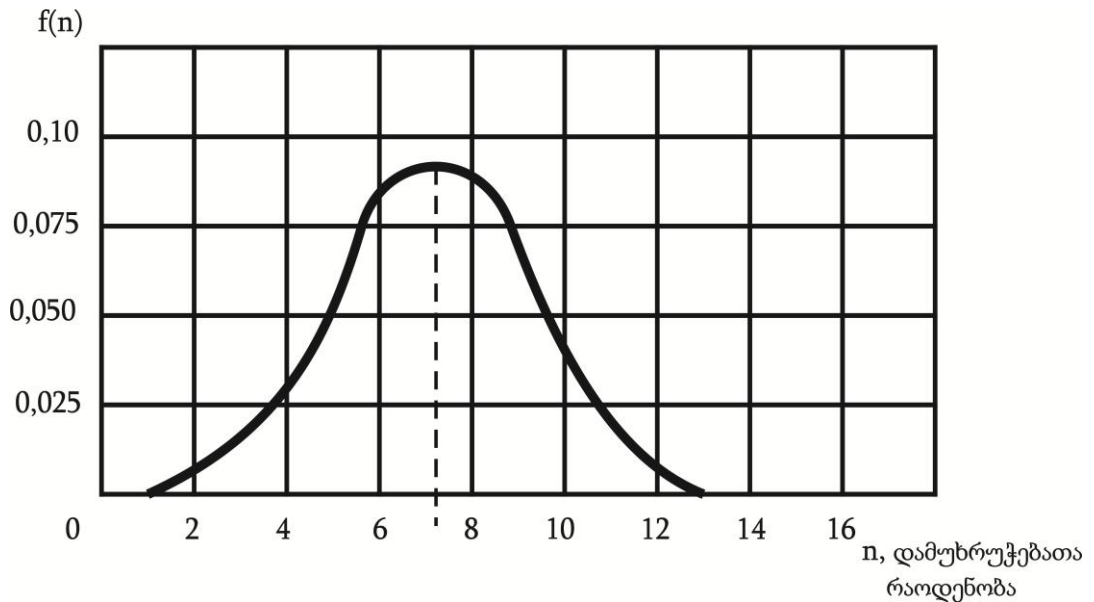
## 2.2.4. სამუხრუჭე სისტემის საიმედოობის

### მაჩვენებლების გამოვლენა

მოდრაობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფის და ფუნქციონირების რეჟიმების პოზიციებიდან გამომდინარე, სამუხრუჭე სისტემის საიმედოობას, ექსტრემალური სიტუაციებში მის ეფექტურ მოქმედებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს. ექსპლუატაციის პროცესში მისი უმტყუნებლობის მაღალ დონეზე შენარჩუნება მოითხოვს არა მარტო "ინსტრუქციით" გათვალისწინებული ტექნიკური ზემოქმედების ოპერაციების შესრულებას, არამედ სისტემატურ კონტროლს – მაღალტექნოლოგიური მოწყობილობებით და კვალიფიციური პერსონალით შესრულებულ დიაგნოსტიკას.

თანამედროვე მსუბუქი ავტომობილების სამუხრუჭე სისტემების კონსტრუქციულმა სრულყოფამ და ახალი დმატებითი სისტემებით დაკომპლექტებამ მნიშვნელოვნად გაზარდა დამუხრუჭების ეფექტიანობა, აამაღლა საიმედოობის ზოგიერთი მაჩვენებელი. მაგრამ გაიზარდა მათი უზრუნველყოფის და შენარჩუნების საექსპლუატაციო ხარჯები. ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ კონსტრუქციის გართულებამ და კვანძებისა და მექანიზმების რაოდენობის გაზრდამ, გაზარდა მალიმიტირებელი დეტალების რაოდენობაც. ამან კი საერთოდ შეიძლება საიმედოობის შემცირება გამოიწვიოს. ამიტომ ნებისმიერი კონსტრუქციის საიმედოობის შესწავლისა და ანალიზის დროს გათვალისწინებული უნდა იყოს მისი თავისებურება, მუშობის რეჟიმი, საექსპლუატაციო პირობები.

უნდა აღინიშნოს ის გარემოებაც, რომ სამუხრუჭე სისტემისათვის, მისი საიმედოობის მაჩვენებლების გამოვლენისა და ანალიზისათვის მიზანშეწონილია ნამუშევრად აღებული იქნას არა გარბენა, არამედ დატვირთვების ციკლების რაოდენობა, ე.ი. დამუხრუჭებათა რაოდენობა გარბენის ერთეულზე – კმ–ზე. ამ მიზნით შეგროვილი და დამუშავებული იქნა დაკვირვების შედეგად მიღებული სტატისტიკური მონაცემები ქ. თბილისის პირობებში და განსაზღვრული იქნა მისი განაწილების პარამეტრები (ნახ.18).



ნახ. 18. გარბენის ერთეულზე მისული რაოდენობა. დამუხრუჭებათა რაოდენობის განაწილების სიმჭიდროვის მრუდი

ანალიზმა აჩვენა, რომ დამუხრუჭებათა რაოდენობა ექვემდებარება განაწილების განაწილების ნორმალურ კანონს საშუალო მნიშვნელობით  $n_{საშ} = 7$ , ვარიაციის კოეფიციენტით  $v=0,28$  და საშუალო კვადრატული გადახრით  $\sigma = 0,1$ .

სტატისტიკური მონაცემების დროს ფორმირებული იქნა მტყუნებათა და უწესივრობათა საკლასიფიკაციო ჯგუფები და ცალკე იქნა დამოყოფილი უეცარი მტყუნებები, ე.წ. "საშიში" მტყუნებები (ან პოტენციურად ავარიების წარმოქმნის ალბათობის მქონე მტყუნებები). მე-6 ცხრილში მოცემულია მტყუნებათა კლასიფიკაცია სამუხრუჭე სისტემის შემადგენელი ელემენტების მიხედვით.

ცხრილი 6

მტყუნებებისა და უწესივრობების პროცენტული განაწილება მათი გამოვლენის მეთოდის მიხედვით

№	სამუხრუჭე სისტემების კვანძები და ელემენტები	მტყუნებების % განაწილება	
		უეცარი	თანდათანობითი
1	მთავარი სამუხრუჭე ცილინდრი	20	80
2	ვაკუუმგამაძლიერებელი	10	90
3	წინა სამუხრუჭე მექანიზმები	5	95
4	უკანა სამუხრუჭე მექანიზმები	5	95
5	ანტიმაბლოკირებელი მოწყობილობა	50	50
6	ხელის მუხრუჭი	–	100

ცხრილით მოცემული მტყუნებათა პროცენტული განაწილება და კლასიფიცირება აღებულია "ოპელის" მარკის მსუბუქი ავტომობილები-სათვის და, კონსტრუქციული თვისებებიდან გამომდინარე, სხვა მარკის ავტომობილებისათვის შეიძლება მკვეთრად განსხვავდებოდეს (წინა სამუხრუჭე მექანიზმი დისკური ტიპის, უკანა კი დოლური ან ორივე ერთნაირი ტიპის). განსხვავება შეიძლება იყოს ამძრავის სისტემაში.

გამოვლენილი იქნა სამუხრუჭე სისტემის საიმედოობის მალიმიტირებელი დეტალებისა და კვანძების ნომკლატურა და მათი მტყუნებათა წილი მთლიან სისტემაში (ცხრილი 7).

ცხრილი 7

**სამუხრუჭე სისტემის მტყუნებათა პროცენტული განაწილება**

№	სამუხრუჭე სისტემის ძირითადი დეტალები და კვანძები	პროცენტული განაწილება, %
1	სამუხრუჭე ხუნდები	35
2	სამუხრუჭე დისკები	12
3	მთვარი სამუხრუჭე ცილინდრი	18
4	მუშა სამუხრუჭე ცილინდრები	10
5	შლანგები და მილგაყვანილობა	5
6	ვაკუუმის გამაძლიერებელი	8
7	ანტიმაბლოკირებელი მოწყობილობა	5
8	გადამწოდები	2
9	ხელის მუხრუჭი	5

სამუხრუჭე ხუნდების შეცვლის გაზრდილი პროცენტული რაოდენობა განპირობებულია მათი ინტენსიური ცვეთით და სხვადასხვა საექსპლუატაციო პირობებში მუშაობის რეჟიმით, გამოყენებული მასალის ხარისხით, აგრეთვე მძღოლთა კვალიფიკაციით.

სამუხრუჭე დისკების (დოლების) ცვეთის ინტენსიურობა დამიკიდებულია სამუხრუჭე ხუნდების ხარისხზე და მუშაობის

ტემპერატურულ რეჟიმზე, მოხაზუნე ზედაპირების სისუფთავეზე. მთავარი და მუშა ცილინდრების მტყუნებები გამოწვეულია ჩობალების დაზიანების, მოძრავი ელემენტების ცვეთის, სითხეში მოხვედრილი მექანიკური ნაწილაკების შედეგად. რეზინის შლანგები და სხვა არალითონის დეტალები განიცდიან ფიზიკურ-ქიმიურ ზემოქმედებას, განსაკუთრებით კი ტემპერატურულ დატვირთვებს, რაც იწვევს მათ ნაადრევ მწყობრიდან გამოსვლას.

ვაკუუმის გამაძლიერებელი, რომელიც რამოდენიმე ათეული დასახელების დეტალებს მოიცავს (მათ შორის არალითონის), მწყობრიდან გამოდიან თნდათანობითი მტყუნების ნიშნით და მოქმედებენ დამუხრუჭების ეფექტიანობაზე.

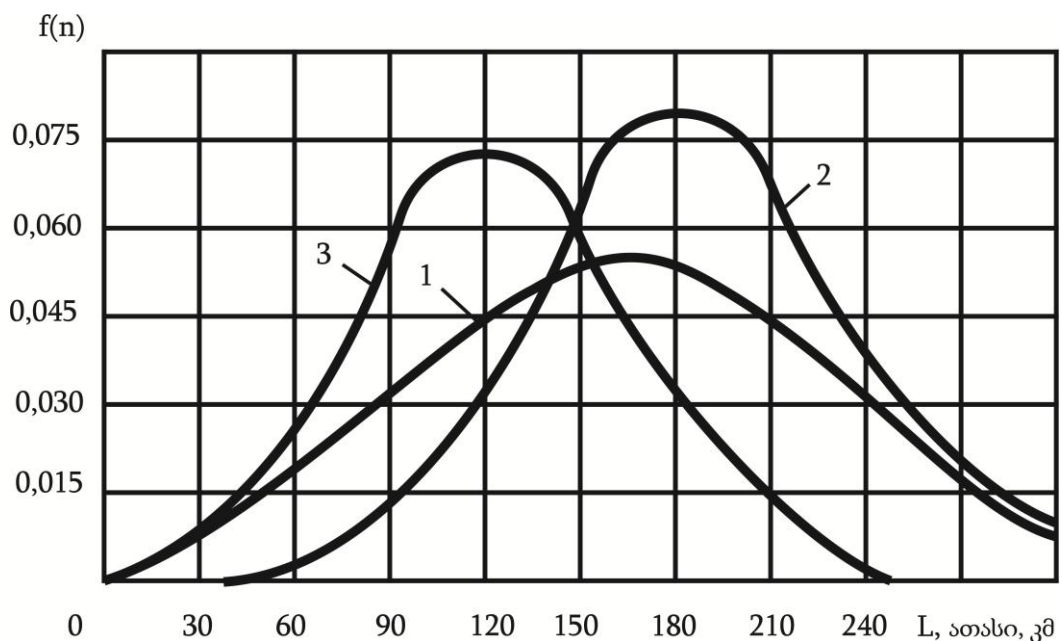
სხვადასხვა დანიშნულების გადამწოდები (ABC, ხუნდების ცვეთის, სითხის დონის და სხვ.) მწყობრიდან გამოდიან ექსპონენციალური კანონმზომიერებით (უეცარი მტყუნებები) და მათი პროგნოზირება და დიაგნოსტიკა რაიმე ეფექტს პრაქტიკულად არ იძლევა, თუმცა მათი მტყუნება არ მიეკუთვნება "საშიშთა" კატეგორიას, მაგრამ ვინაიდან იკარგება ინფორმაციული წყარო, აუცილებელი ხდება დიაგნოსტიკა, მოძებნა და შესაბამისად გადამწოდის შეცვლა.

სტატისტიკური მონაცემების დამუშავებით თითოეული კრიტიკული დეტალისა და კვანძისათვის გამოვლენილი იქნა მათი რესურსების განაწილების კანონმზომიერება და მისი შემფასებელი პარამეტრები (ცხრილი 8). უნდა აღინიშნოს, რომ დეტალების მრავალსახეობამ მათი დანიშნულების, მუშობის პირობების და გამოყენებული მასალების ხარისხის განსხვავებამ, განაპირობა რესურსების განაწილების პარამეტრების მკვეთრი სხვაობა. ეს გამოწვეულია აგრეთვე იმ გარემოებებით, რომ სტატისტიკური მონაცემების შეგროვება გარკვეულ სიმძნელებთან იყო დაკავშირებული ავტომობილების სხვადასხვა მარკებისა და მოდელების ურთიერთგამიჯვნის პროცესში.

სამუხრუჭე სისტემის დეტალებისა და კვანძების  
რესურსების განაწილების პარამეტრები

№	დეტალებისა და კვანძების დასახელება	საშუალო რესურსი, ათასი კმ.	ვარიაციის კოეფიციენტი	საშ. კვადრატული გადახრა, ათასი კმ.
1	წინა სამუხრუჭე ხუნდები	45,0	0,45	
2	სამუხრუჭე დისკები	325,0	0,41	
3	მთავარი სამუხრუჭე ცილინდრი	185,0	0,38	
4	მუშა სამუხრუჭე ცილინდრები	225,0	0,42	
5	რეზინის შლანგები და მილგაყ-ბა	155,0	0,47	
6	ვაკუუმის გამამლიერებელი	235,0	0,41	
7	გადამწოდები	165,0	0,48	
8	ხელის მუხრუჭი	85,0	0,42	

ნახ. 19-ზე მაგალითისთვის მოცემულია ზოგიერთი დეტალის (კვანძის) რესურსების განაწილების სიმჭიდროვის მრუდები.



ნახ. 19. რესურსების განაწილების სიმჭიდროვის მრუდი  
1- გადამწოდი; 2 – მთავარი სამუხრუჭე ცილინდრი; 3 – ხელის მუხრუჭი.

სამუხრუჭე სისტემის დიაგნოსტიკაზე (განაცხადების სტატისტიკური მონაცემები) ორი ძირითადი მიმართულება აღინიშნება პირველი საკონტროლო ნათურის ანთება მძღოლის ინფორმირებისათვის, რომ ხუნდებია შესაცვლელი და მეორე, როდესაც გაურკვეველია (მძღოლისათვის) სიგნალის მიღება და სისტემა მოითხოვს ძიებას და დიაგნოსტიკას. ამიტომ მეორე მიმართულების დიაგნოსტიკა და მათზე განაცხადების სტატისტიკური შესწავლა მიგვანიშნებს იმაზე, რომ მაღალი საიმედოობის უზრუნველყოფა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ავტომფლობელთა ე.წ. "დიაგნოსტიკურ" მზადყოფნაზე (მომზადებაზე) და მეორეს მხრივ სადიაგნოსტიკო ცენტრების მუშაობის ხარისხზე (დიაგნოზის დროული, იაფი და სწორი დასმა).

ორგანიზაციულ-ტექნიკური თვალსაზრისით მიზანშეწონილი და ხშირ შემთხვევაში აუცილებელია ამავე ცენტრებში ხდებოდეს დიაგნოსტიკებელ ავტომობილებზე იმ ტექნიკური ზემოქმედების განხორციელება, რაც დიაგნოსტიკების შედეგად იქნა დადგენილი (სარეგულირებელი, შესაცვლელი ოპერაციები). განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ამ პროცესის ეკონომიკურ მხარეს – დიაგნოსტიკების ღირებულებას. საბაზრო ეკონომიკის პირობებში, როდესაც თვითდარეგულირების პრინციპია ძირითადად აღებული, სამუხრუჭე სისტემისათვის და სხვა, მოძრაობის უსაფრთხოებაზე მოქმედი სისტემისათვის ეს პრინციპი მიუღებელია. ასეთ შემთხვევაში ეფექტურობის კრიტერიუმად აღებული უნდა იყოს უმტყუნებლობის მაღალი დონე, რაშიც დიაგნოსტიკამ უნდა შეუწყოს ხელი.

## **2.2.5. გადაბმულობის და გადაცემათა კოლოფის**

### **საიმედოობის მაჩვენებლების გამოვლენა**

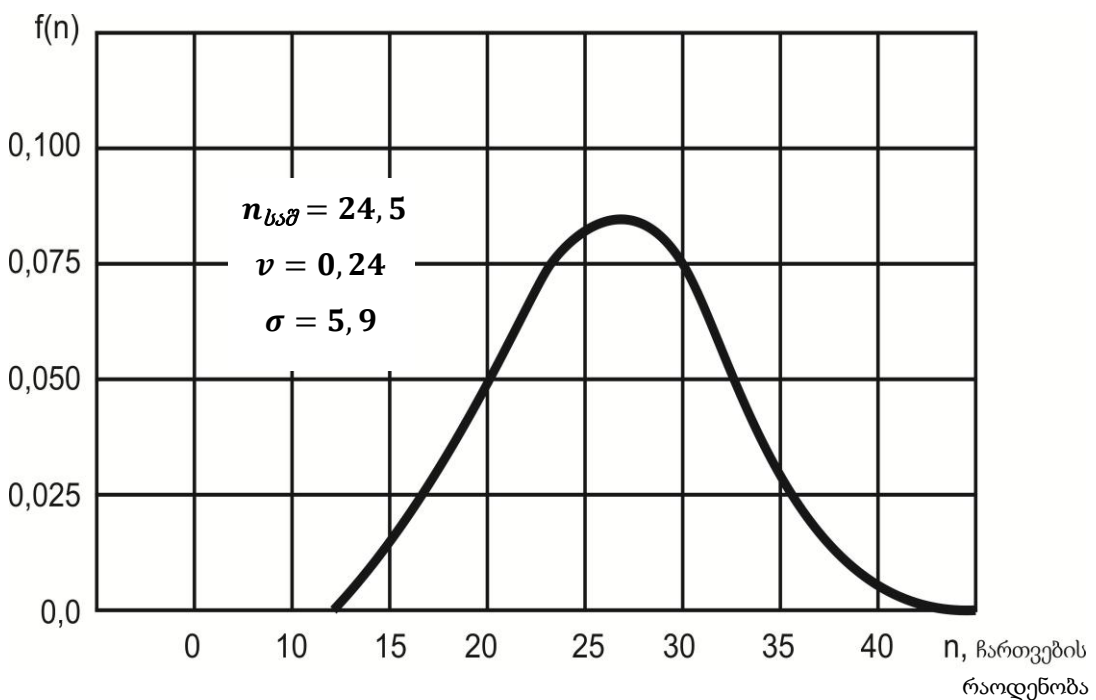
ექსპლუატაციაში მყოფ დასაკვირვებელი ავტომობილების დაახლოებით 70%-ს აქვს მექანიკური გადაცემათა კოლოფი და შესაბამისად განცალკევებული გადაბმულობა თავისი ამძრავით.

დანარჩენებს ავტომატური გადაცემათა კოლოფი სხვადასხვა კონსტრუქციის და სიმძლავრის (საფეხურებით) და მართვის ელექტრული სისტემებით. ამიტომ ტექნიკური ექსპლუატაციის პოზიციებიდან გამომ-

დინარე, საიმედოობის მართვის მეთოდებისა და ტექნიკური ზემოქმედების ოპერაციების ფორმირება განსხვავებული იქნება.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული საიმედოობის მაჩვენებელზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მექანიზმებისა და სისტემების დატვირთვის რეჟიმები – გადაბმულობის ჩართვა-გამორთვების რაოდენობა ერთ კმ-ზე და გადაცემათა კოლოფის საფეხურებზე გადართვების რაოდენობა. ვინაიდან, ეს ორი მექანიზმი (აგრეგატი) ერთიმეორესთან ფუნქციონალურ კავშირშია დატვირთვათა რაოდენობრივი მაჩვენებლების თვალსაზრისით, ამიტომ დაკვირვება და სტატისტიკური მონაცემების დამუშავება შესრულდა გადაბმულობაზე. გადაბმულობის ნებისმიერი ჩართვა და გამორთვა დაკავშირებულია გადაცემათა კოლოფში საფეხურების ცვლილებასთან, დაწყებული საწყისი გამორთვით და პირველ საფეხურზე ჩართვით.

მე-20 ნახაზზე მოცემულია მსუბუქი ავტომობილის გადაბმულობის ჩართვების რაოდენობის განაწილების სიმჭიდროვის მრუდი.



ნახ. 20. გადაბმულობის და მექანიკური გადაცემათა კოლოფის გადართვების რაოდენობის განაწილების სიმჭიდროვის მრუდი

როგორც ნახაზიდან ჩანს გადაბმელობათა ჩართვა-გამორთვების საშუალო რაოდენობა განაწილების ნორმალური კანონის შემთხვევა ტოლია  $n_{საშ} = 24,5$ , ხოლო ვარიაციის კოეფიციენტი  $\nu = 0,24$ . იგივე მაჩვენებლები იქნება მექანიკურ გადაცემათა კოლოფისათვის მცირეოდენი განსხვავებით, რაც შეიძლება გამოწვეული იყოს გადაცემათა კოლოფში საფეხურების შეცვლასთან დაკავშირებით.

მტყუნებათა სტატისტიკური მონაცემების დამუშავების შედეგად გამოვლენილი იქნა გადაბმელობის საიმედოობის მალიმიტირებელი დეტალების ნომენკლატურა და განისაზღვრა მათი რესურსების განაწილების პარამეტრები (ცხრილი 9), რომელთა მიხედვითაც შეიძლება აგებულ იქნეს უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის მრუდები, ამასთან ერთად აღნიშნული პარამეტრები გამოიყენება ტექნიკური ზემოქმედების შესრულების რეჟიმების დადგენისა და მათი ოპტიმიზაციის პროცესში.

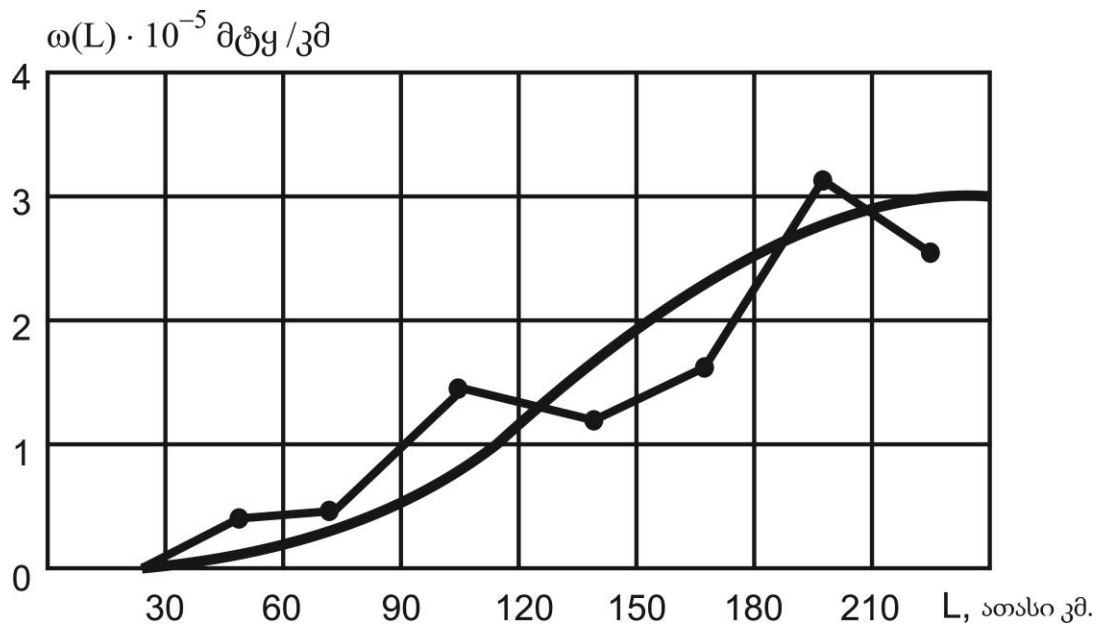
ცხრილი 9

**გადაბმელობის საიმედოობის მალიმიტირებელი დეტალების რესურსების განაწილების პარამეტრები**

№	დეტალების დასახელება	საშუალო რესურსი, ათასი კმ.	ვარიაციის კოეფიციენტი	საშუალო კვადრატული გადახრა, ათასი კმ.
1	წამყვანი დისკი	270,0	0,35	94,5
2	ამყოლი დისკი	60,0	0,42	25,2
3	ამძრავი ტროსი	125,0	0,45	56,25
4	გამომრთველი საკისარი	250,0	0,32	80,0

იგივე სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე განისაზღვრა მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრი და აგებული იქნა მისი ცვლილების დიაგრამა გარბენის მიხედვით (ნახ 21).





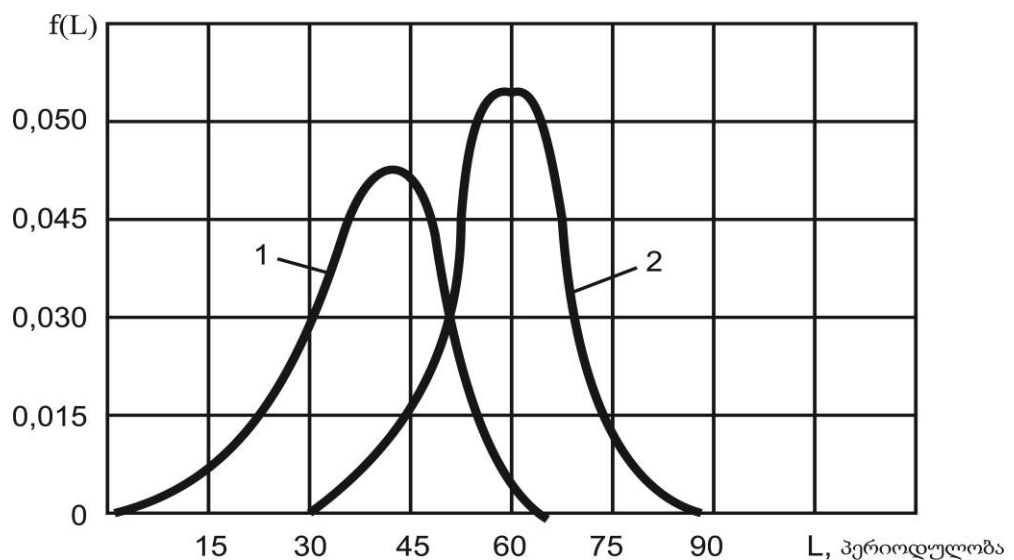
ნახ. 21. გადაბმულობის მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრის ცვლილება გარბენის მიხედვით

თანამედროვე ავტომობილების ავტომატური გადაცემათა კოლოფი თავისი დანიშნულებითა და ფუნქციონალური მართვის სისტემებით ამძრავისა და ელექტრული მართვის ბლოკით მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს საერთოდ ავტომობილის საიმედოობაზე, მოძრაობის უსაფრთხოებაზე, საწვავის ხარჯზე, მოძრაობის სიჩქარეზე და სხვა. ამიტომ ექსპლუატაციის პროცესში მისი მუშაობის მახასიათებლების ცვლილების შესწავლა და სათანადო პროფილაქტიკური ოპერაციების დროული და ხარისხიანი შესრულება მნიშვნელოვნად გაზრდის ავტომობილის ეფექტიანობას. უნდა აღინიშნოს, რომ როგორც სხვა აგრეგატებისა და სისტემების, ასევე ავტომატური გადაცემათა კოლოფის საიმედოობა ბოლო წლებში მნიშვნელოვნად ამაღლდა. გაიზარდა მისი რესურსი, შემცირდა მტყუნებათა ინტენსიურობა და შესაბამისად მისი ტექნიკური მდგომარეობის შენარჩუნების საექსპლუატაციო ხარჯებიც. მნიშვნელოვნად გავლენას ახდენს საიმედოობის მაჩვენებლებზე მძღოლის კვალიფიკაცია მართვის სრულყოფილი და ადაპტირებული ჩვევების ფორმირების თვალსაზრისით, აგრეთვე მომსახურე პერსონალის მიერ სამუშაოების ტექნიკური მოთხოვნების მიხედვით შესრულების ხარისხი.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს აგრეგატში ზეთის დროულ და ხარისხიანად შეცვლა, სათანადო წესების დაცვით და გამოყენებული მასალების სისუფთავეს და სტანდარტით განსაზღვრული მოთხოვნების დაცვას.

გადაცემათა კოლოფზე სერვისცენტრებში მიღებული განცხადების საერთო რაოდენობის 80% ზეთის შეცვლაზე მოდის, დანარჩენი პროცენტები შედარებით ნაწილდება ისეთ უწყესივრობებზე, როგორებიცაა: ჰერმეტიკობის დარღვევა (სითხის გაჟონვა), საფეხურებზე დაგვიანებითი გადართვა (ზედმეტი დაყოვნება), ზოგიერთ საფეხურზე ჩაურთველობა, ხმაური და სხვა.

ზეთის შეცვლის პერიოდულობას დამამზადებელი ადგენს და ძირითადად მათი რეკომენდაციის მიხედვით ხდება, თუმცა კონკრეტული მარკის ავტომობილებისათვის და კონკრეტული საექსპლუატაციო პირობებისათვის იგი მოითხოვს კორექტირებას და ტექნიკურ-ეკონომიკური მეთოდით მის დასაბუთებას. 22-ე ნახაზზე მოცემულია გადაცემათა კოლოფში ზეთის შეცვლის ფაქტიური პერიოდულობის განაწილების სიმჭიდროვის მრუდი.



**ნახ. 22. ავტომატურ გადაცემათა კოლოფში ზეთის შეცვლის ფაქტიური პერიოდულობის განაწილების სიმჭიდროვის მრუდი**  
 1 – "ზმვ-1" მარკის ავტომობილები; 2 – "მერსედესის" მარკის ავტომობილები.

როგორც ნახაზიდან ჩანს აგრეგატში ზეთის შეცვლის ფაქტიური პერიოდულობის (სტატისტიკური მონაცემების დამუშავებით მიღებული)

საშუალო მნიშვნელობა მსუბუქი ავტომობილებისათვის (სხვადასხვა მართვის) შეადგენს 50 ათას კმ-ს ვარიაციის კოეფიციენტით 0,21, ხოლო „მერსედესის“ მარკის ავტომობილებისთვის შესაბამისად 60,0 ათას კმ-ს და 0,19. ორივე შემთხვევაში პერიოდულობის განაწილება ექვემდებარება ნორმალურ კანონს, რაც იმით აიხსნება, რომ ექსპლუატაციის პროცესში დაცულია საქარხნო მოთხოვნა ზეთის აუცილებელი შეცვლის თაობაზე განსაზღვრული პერიოდულობით.

აღნიშნული პროფილაქტიკური სამუშაო მიეკუთვნება „მვირად-ღირებულ“ ოპერაციათა კატეგორიას (ისე როგორც თვით გადაცემათა კოლოფის საბალანსო ღირებულება). ამიტომ მისი შესრულების ღირებულება (შრომითი და მატერიალური ხარჯები) მოითხოვს დაზუსტებას და საბაზრო ფასებით დარეგულირებას. ტექნიკური თვალსაზრისით განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ზეთის ხარისხს და მის შესაბამის გადაცემათა კოლოფის კონსტრუქციულ და საექსპლუატაციო მოთხოვნებთან, კარტერის გასუფთავებასთან, ფილტრებთან და ტექნოლოგიური პროცესის სრულყოფილ დაცვასთან.

### **2.3. დამუშავებული მეთოდების პრაქტიკული**

#### **რეალიზება და შედეგების შეფასება**

როგორც თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევებისას იყო აღნიშნული, ავტომობილების ტექნიკური ექსპლუატაციის მეთოდებისა და ფორმების სრულყოფისა და განახლების ეფექტიანობა დამოკიდებულია დამუშავებული მეთოდების პრაქტიკაში რეალიზაციის შედეგებზე, მის ანალიზზე და გაუმჯობესების თუ გაუარესების მიზეზების გამოვლენაზე. ასეთი შედეგების მიღება და შემდგომი ანალიზი უნდა განხორციელდეს კონკრეტულ მაგალითებზე, რომლებიც დაკავშირებულია საკვლევი ავტომობილების სისტემებისა და მექანიზმების ტექნიკური მდგომარეობის ისეთ დონეზე შენარჩუნებასთან, რომელიც ეფექტიანობის კრიტერიუმებით არის განსაზღვრული და შეესაბამება კონკრეტულ საექსპლუატაციო პირობებს. კრიტერიუმების ფორმირებას კი საფუძვლად უდევს სარეალიზაციო მოთხოვნები, რომელთაგან უმთავრესია ტექნიკურ-

ეკონომიკური. ტექნიკური უპირველესად გულისხმობს მოძრაობისა და ეკოლოგიური უსაფრთხოების მოთხოვნებს, ხოლო ეკონომიკური, საექსპლუატაციო ხარჯების მინიმიზირებას.

აღნიშნული საკითხები წარმოადგენენ ექსპლუატაციის პროცესში ავტომობილების საიმედოობის მართვის კომპლექსური კვლევის ამოცანებს, რომელთა შემადგენელი ნაწილია ნაშრომში დამუშავებული ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირების სტატისტიკურ-დიაგნოსტიკური და ტექნიკურ მომსახურებასთან შეთავსებული დიაგნოსტიკის ოპტიმალური პერიოდულ-ლობის განსაზღვრის მეთოდები.

თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების ერთობლივი ანალიზი საშუალებას იძლევა:

- ✓ საიმედოობის რაოდენობრივი მაჩვენებლების გამოყენებით და წარმოდგენილი მეთოდით განისაზღვროს ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირებადი პარამეტრები და დადგინდეს სტატისტიკური და დიაგნოსტიკური მეთოდების შეხაზების (თავსებადობის) დონე;
- ✓ შემოთავაზებული ოპტიმალური პერიოდულობის განსაზღვრის მეთოდი გამოყენებული იქნას კონკრეტული სისტემისა და მექანიზმის საკონტროლო-დიაგნოსტიკური ოპერაციების რეჟიმების ოპტიმიზირებისას;
- ✓ განისაზღვროს ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირებისა და მისი სასურველ დონეზე უზრუნველყოფისათვის საჭირო ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები და ეფექტიანობა.

ქვემოთ მოცემულია აღნიშნული თანმიმდევრობით დამუშავებული მეთოდების აპრობაციის მაგალითები.

### **2.3.1. ძრავის გაზგამანაწილებელი სისტემის ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირება**

ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირების სტატისტიკური და ტექნიკური დიაგნოსტიკის შეთავსებული მეთოდის გამოყენება მოითხოვს გარბენის მიხედვით ზომების დადგენას ეფექტიანობის პოზიციებიდან

გამომდინარე, იგულისხმება მტყუნების ალბათობის მიხედვით ზონების განსაზღვრას, როდესაც სტატისტიკური თუ ტექნიკური დიაგნოსტიკის გამოყენება მიზანშეწონილია პროგნოზირების შედეგების დამაჯერებლობის და სიზუსტის მიხედვით. ეს კი დამოკიდებულია როგორც დიაგნოსტიკის მეთოდზე და შერჩეულ დიაგნოსტიკურ პარამეტრზე, ასევე გამოყენებული სადიაგნოსტიკო საშუალებების სიზუსტეზე. ამასთან ერთად საბოლოო შედეგები დაიყვანება უმტყუნებლობის ინტერვალურ ალბათობაზე, ე.ი. გარბენის მიხედვით მტყუნების წარმოქმნის ალბათობაზე. ბუნებრივია დიაგნოსტიკა დაკავშირებულია დამატებით ხარჯებთან, რომელიც დაემატება აღმოჩენილი მტყუნების (ან მოსალოდნელი მტყუნების) აღმოფხვრაზე დახარჯულ ხარჯებს. ეს უკანასკნელი მოიცავს კომპონენტებს (სათადარიგო დეტალების, მასალების, შრომით ხარჯებს).

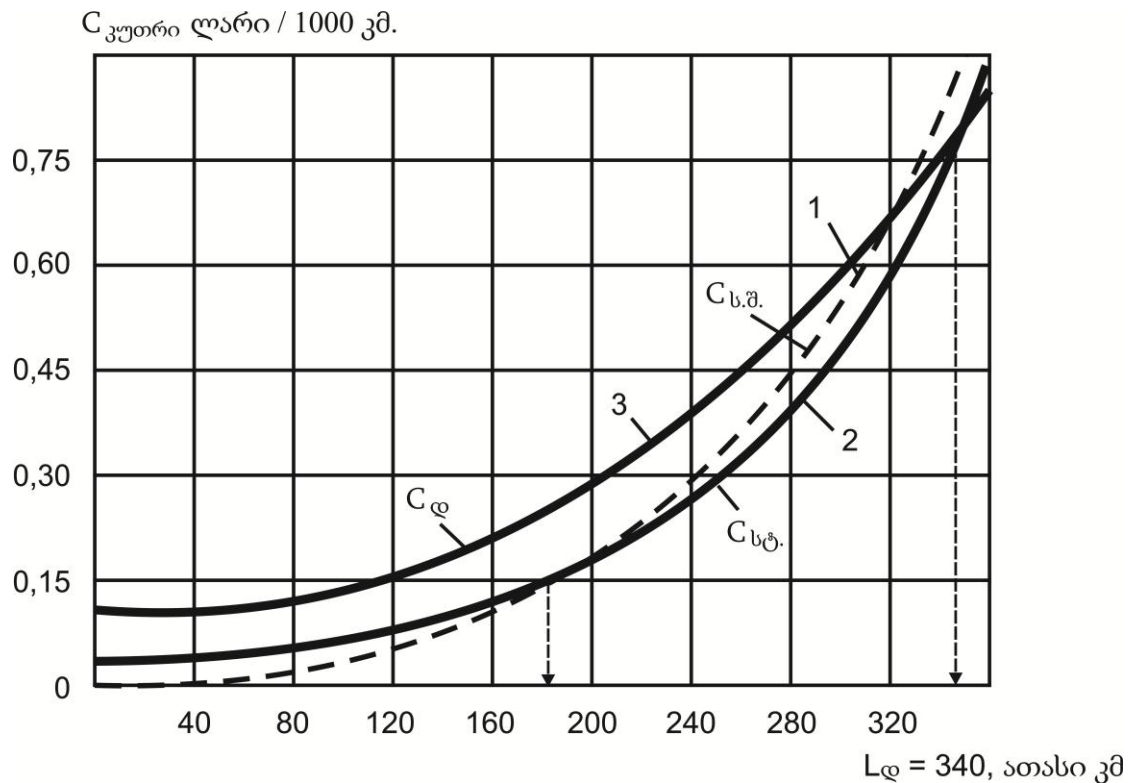
ერთის მხრივ პროგნოზირების შეთავსებული მეთოდის მიზანშეწონილობა ტექნიკური თვალსაზრისით და მეორეს მხრივ აღნიშნული ღონისძიებებით გამოწვეული ხარჯებით დადგინდება გარბენის გარკვეული ზონები მეთოდების გამოყენების თვალსაზრისით.

განვიხილოთ მაგალითი ისეთი მნიშვნელოვანი მექანიზმისათვის, როგორც არის ძრავას გაზგამანაწილებლის სისტემა, კერძოდ, სარქველი და მისი ბუდე. აღნიშნულ მექანიზმს რელურად აქვს უმტყუნებლობის გარკვეული დონე და შესაბამისი რესურსი. აღნიშნული მექანიზმის ტექნიკური დიაგნოსტიკის მეთოდად მიღებული იქნა ჰერმეტიკულობის უზრუნველყოფა (გაპარული ჰაერის მოცულობა).

მოცემული მექანიზმის რესურსის განაწილება ექვემდებარება ნორმალურ კანონს (მახასიათებლები  $L_{საშ} = 350,5$  ათასი კმ. და  $\sigma = 63,5$  ათასი კმ.). მაშასადამე გამანაწილებლის სიმჭიდროვე განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$f(L) = \frac{1}{63,5\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(L_i-350,5)^2}{2 \cdot 63,5^2}}$$

კონკრეტული მარკის ("ოპელის") ავტომობილებისათვის საიმედოობის შენარჩუნების კუთრი ხარჯები განისაზღვრა ცნობილი მეთოდით, როდესაც მხედველობაში იქნა მიღებული მისი ცვლილების კანონზომიერება და კუთხური ცვლილების კოეფიციენტი. 23-ე ნახაზზე მოცემულია კუთრი ხარჯების ცვლილების დიაგრამა და განსაზღვრულია სტატისტიკური და ტექნიკური დიაგნოსტიკის შეთავსების მეთოდის გამოყენების ზონები.

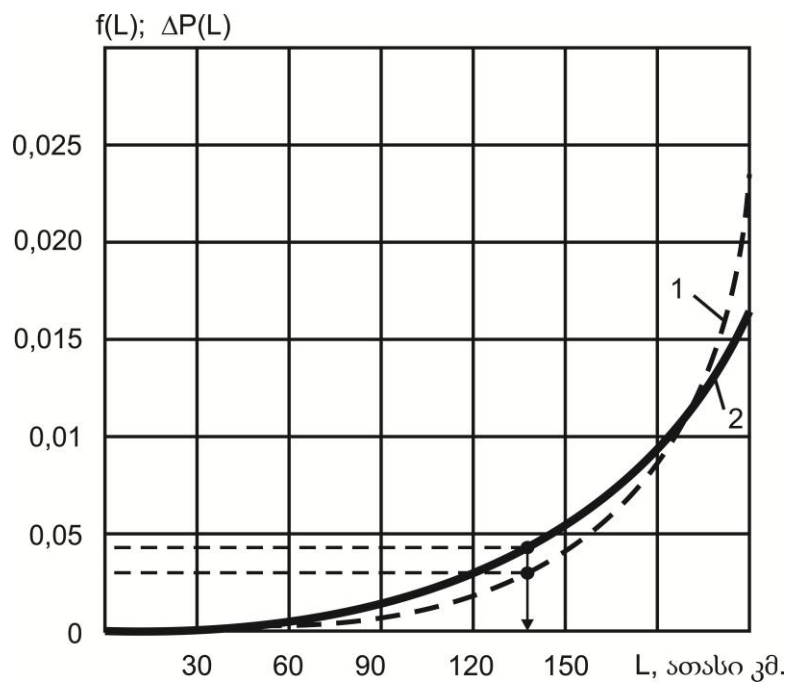


ნახ. 23. ძრავის საიმედოობის შენარჩუნების ხარჯების ცვლილების დიაგრამა და პროგნოზირების შეხამებული მეთოდის გამოყენების ზონების გამოვლენა

როგორც ნახაზიდან ჩანს საიმედოობის შენარჩუნების კუთრი ხარჯები დასაწყის პერიოდში მტყუნებათა აღმოფხვრა ხდება მათი წარმოქმნის მიხედვით და ხარჯები (მრუდი 1) გაცილებით მეტია, ვიდრე დიაგნოსტიკის დროს (მრუდი 3) და სტატისტიკური მეთოდის დროს (მრუდი 2). ეს მიუთითებს იმაზე, რომ რაციონალური ზონების დადგენა ამ კრიტერიუმებით შემდგენაირად ხდება:

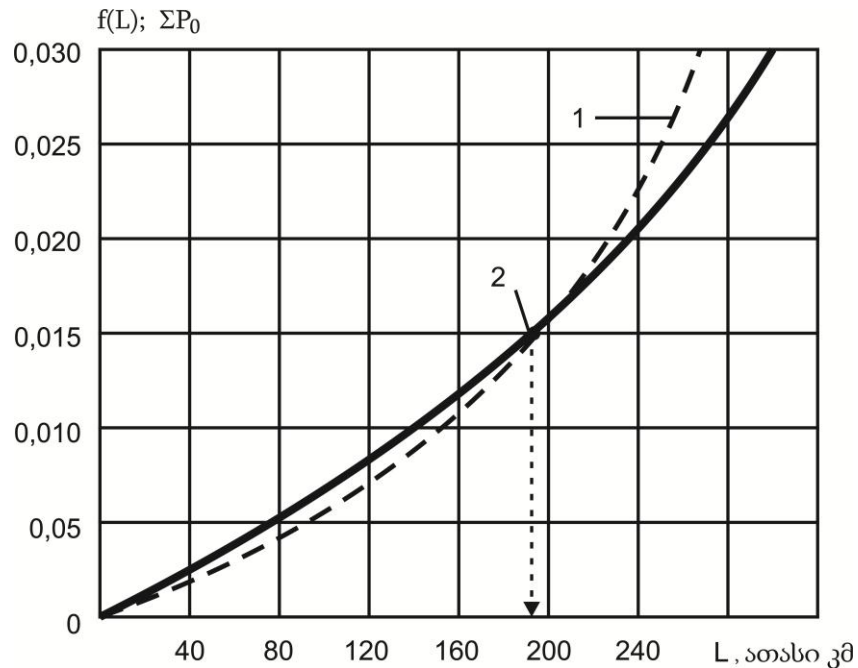
180,0 ათასი კმ-ის გარბენამდე მიზანშეწონილია მტყუნებათა აღმოფხვრა მოხდეს (ინტენსიურობა მცირეა), მათი წარმოქმნის მიხედვით, 180,0–340,0 ათასი კმ-ის ზღვრებში რაციონალურია პროგნოზირების სტატისტიკური მეთოდის გამოყენება, ხოლო 340,0 ათასი კმ-ის ზევით ეფექტურია ტექნიკური დიაგნოსტიკის პერიოდული გამოყენება.

მოცემული ზონები მოითხოვს კორექტირებას. კორექტირების დონე და მაკორექტირებელი პარამეტრების მნიშვნელობები დამოკიდებულია საკვლევი სისტემის საიმედოობის მახასიათებლებზე, მოწყობილობებზე და დიაგნოსტიკის შესრულების ხარისხზე. ამ უკანასკნელს განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს. ამიტომ, როგორც კვლევის თეორიულ ნაწილში იყო აღნიშნული, შემოღებულია ცნებები არასასურველი ზემოქმედების (დიაგნოსტიკის) ალბათობის და დიაგნოზის დასმის ცდომილების (შეცდომის) შესახებ –  $P_{ა,ფ}(L)$  და სტატისტიკური მეთოდის გამოყენების ზონის კორექტირებისას მხედველობაშია მისაღები დისპერსიის (გადახრის) განაწილების მნიშვნელობები (ნახ. 24), რომლებიც ცნობილი მეთოდით განისაზღვრება.



ნახ. 24. პროგნოზირების ზონების კორექტირება სტატისტიკური მეთოდის დროს: 1 – გაზგამანაწილებლის მექანიზმის მტყუნებათა ალბათობის მრუდი; 2 – დისპერსიის (გადახრის) მრუდი.

25-ე ნახაზზე მოცემულია საკვლევი მექანიზმისთვის კორექტირების მეთოდის მიხედვით ზონების მნიშვნელობები სათანადო რიცხოვრივი მახასათებლების განსაზღვრით. მრუდები აგებულია ადრინდელი კვლევითი სამუშაოების მიხედვით და სტატისტიკური მონაცემებით.



**ნახ. 25. პროგნოზირების ზონების კორექტირება**  
**ტექნიკური დიაგნოსტიკის მეთოდის დროს:**  
**1 – მექანიზმის მტყუნებათა ალბათობის მრუდი;**  
**2 – დიაგნოსტიკის შეცდომების დიაგრამა ( $\Sigma P = P_{აზ} + P_{დშ}$ )**

როგორც ნახაზიდან ჩანს ზონების კორექტირება მოცემული საკვლევი სისტემისათვის მნიშვნელოვან გადახრებს არ მოიცავს წინა შემთხვევისაგან და მერყეობს 160,0-200,0 ათასი კმ-ის დიაპაზონში. მეორეს მხრივ ამან საშუალება მოგვცა დაგვემყარებინა კავშირი მექანიზმის მუშაობისუნარიანობის პარამეტრის განაწილებას, დიაგნოსტიკის შეცდომებსა და რესურსს შორის.

აღნიშნული მეთოდის პრაქტიკული რეალიზაციის დროს მიზანშეწონილი და გამართლებულია ორგანიზაციულ-ტექნიკური ფაქტორებით დამუშავებული იქნას ტექნიკური დოკუმენტაციის ფორმა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს მივიღოთ სრულყოფილი ინფორმაცია პროგნოზირების სტატისტიკური და დიაგნოსტიკური მეთოდების შეთავსების დროს (ცხრილი 10).



**ავტომობილის უმტყუნებლობის სტატისტიკური და დიაგნოსტიკური  
პროგნოზირების შეთავსების კარტა**

მექანიზმის სისტემის დასახელება	დიაგნოსტი- რების მეთოდი და საშუალება	შეცვლის ნომერი	გარბენა, ათასი კმ.						
			10	20	30	40	50	60	.....
			უმტყუნებო მუშაობის აღბათობა						
გაზგამანაწი- ლებელი მექანიზმი .....	შეკუმშული ჰაერის გაპარვა .....	I  II	0,999	0,998	0,995	0,.....	0,798	0,720	
			-----	.....	.....	.....	.....	.....	0,643

**პირობითი აღნიშვნა:**

- ~~~~~ სტატისტიკური პროგნოზირება;
- ტექნიკური დიაგნოსტირება;
- მტყუნებათა აღმოფხვრა მათი წარმოქმნის მიხედვით.

ასეთი დოკუმენტის შექმნა და პრაქტიკული გამოყენება საშუალებას იძლევა მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდეს ავტომობილების ტექნიკური მდგომარეობის მართვის პროცესები ექსპლუატაციის პროცესში და ამალდეს ავტომობილის ეფექტიანობა.

**2.3.2. საკონტროლო–დიაგნოსტიკური ოპერაციების**

**პერიოდულობის განსაზღვრა**

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, თანამედროვე ავტომობილების პროფილაქტიკური საკონტროლო–დიაგნოსტიკური ოპერაციების ნუსხა ხშირად განსაზღვრულია დამამზადებლის მიერ შედგენილი ინსტრუქციით. იგი ეხება საგარანტიო გარბენის პერიოდს, რომლის შემდეგაც აღნიშნული სამუშაოების შესრულება დამოკიდებულია და რეგულირდება საკანონმდებლო ნორმატიული აქტებით – რეგლამენტით "ავტოსერვისის წესის შესახებ". მაგრამ ნებისმიერი ოპერაციის შესრულების

ეფექტიანობა აისახება ავტომობილის ტექნიკური მდგომარეობის პარამეტრებზე, რაც თავის მხრივ პირდაპირ კავშირიშია ეკონომიკურ პარამეტრებთან. ამიტომ საჭირო ხდება ავტომობილის საერთო გარბენასთან დამოკიდებულებით განისაზღვროს შესრულებელი ოპერაციების (საკონტროლო-დიაგნოსტიკური), სარეგულირებელი და სხვა სახის სამუშაოების ნომეკლატურა და შემდეგ თითოეული მათგანისათვის მოხდეს რეჟიმების ოპტიმიზირება (პერიოდულობის, მოცულობის და ღირებულების დადგენა). ოპერაცია, რომელიც შინაარსობრივად დაკავშირებულია ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკებასთან, ე.ი. საქმე გვაქვს ტექნიკური მომსახურებისა და დიაგნოსტიკის ერთობლივ ზემოქმედებასთან, საჭირო ხდება დიაგნოსტიკის ღირებულების გათვალისწინებაც და დიაგნოსტიკის პერიოდულობის შესაბამისობის დადგენაც. ჩვენს მიერ დამუშავებული მეთოდის საფუძველზე ქვემოთ მოცემულია პერიოდულობის განსაზღვრა – სამუხრუჭე სისტემის საკონტროლო – დიაგნოსტიკური ოპერაციების მაგალითზე.

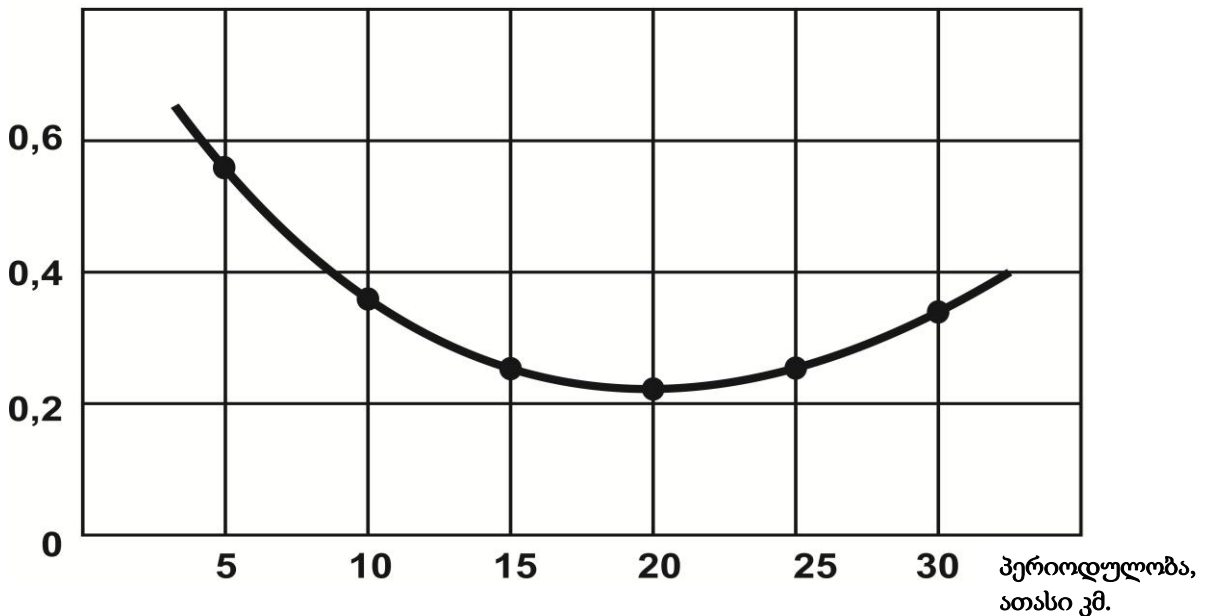
სამუხრუჭე სისტემის დანიშნულების პირობიდან გამომდინარე, ფუნქციო-ნალური სქემის მტყუნებად ითვლება სამუხრუჭე მანძილის გაზრდა და მისი გამოსვლა ზღვრული, დასაშვები სიდიდიდან კონკრეტულ სიტუაციაში. სამუხრუჭე მანძილი და შენელება წარმოადგენენ დამუხრუჭების ეფექტიანობის მთავარ შემფასებელ პარამეტრებს. მათზე მოქმედებს წნევა სისტემაში, აძვრის დრო, ღრეჩო დისკსა (დოლსა) და ხუნდებს შორის და სხვ. როგორც გამოკვლევები გვიჩვენებენ სამუხრუჭე სისტემის მტყუნებათა მნიშვნელოვანი ნაწილი მიდის ამძრავის სისტემაზე და სამუხრუჭე მექანიზმზე. დროული შემოწმება და საკონტროლო სამუშაოების შესაძლებლობა ადადგენს სისტემის მუშაობის უნარს დასაშვებ ზღვრებში და გადაწევს მოსალოდნელი უწყესივრობის პერიოდს. პერიოდულობა უნდა იყოს ოპტიმალური და ასახავდეს მიზანსა და შინაარსს, აკმაყოფილებდეს მოთხოვნილ კრიტერიუმებს.

მე-11 ცხრილში და 26-ე ნახაზზე მოცემულია ანგარიშის შედეგები.

პარამეტრების საანგარიშო ცხრილი

საკონტროლო დიაგნოსტიკური მომსახურების პერიოდულობა, 1000 კმ	მომსახურების ღირებულება, ლარი	უმცველუნებლობის დასაშვები დონე, P(L)	არასასურველი ზემოქმედების ალბათობა, P <sub>ა.ზ.</sub>	დიაგნოზის ცდომილების ალბათობა, P <sub>დ.ზ.</sub>	დიაგნოსტიკის ღირებულება, ლარი	მტყუნების საშ. ღირებულება, ლარი	კუთრი ხარჯები, ლარი/1000 კმ
5,0	50	0,98	0,123	0,001	25,0	45,0	0,595
10,0				0,003			0,347
15,0				0,005			0,285
20,0				0,010			0,250
25,0				0,025			0,278
30,0				0,045			0,328

C კუთრი (L მომს) ლარი/1000 კმ



ნახ. 26. სამუხრუჭე სისტემის საკონტროლო-დიაგნოსტიკური მომსახურების პერიოდულობის განსაზღვრა

როგორც ცხრილიდან ჩანს და ნახაზზე მოცემული დიაგრამა გვიჩვენებს საკონტროლო-დიაგნოსტიკური მომსახურების ოპტიმალური პერიოდულობა შეადგენს 20,0 ათას კმ-ს და იგი უზრუნველყოფს უმცველუნებო მუშაობის 0,98 ალბათობის დონეს კუთრი ხარჯებით 0,250 ლარი/1000 კმ.

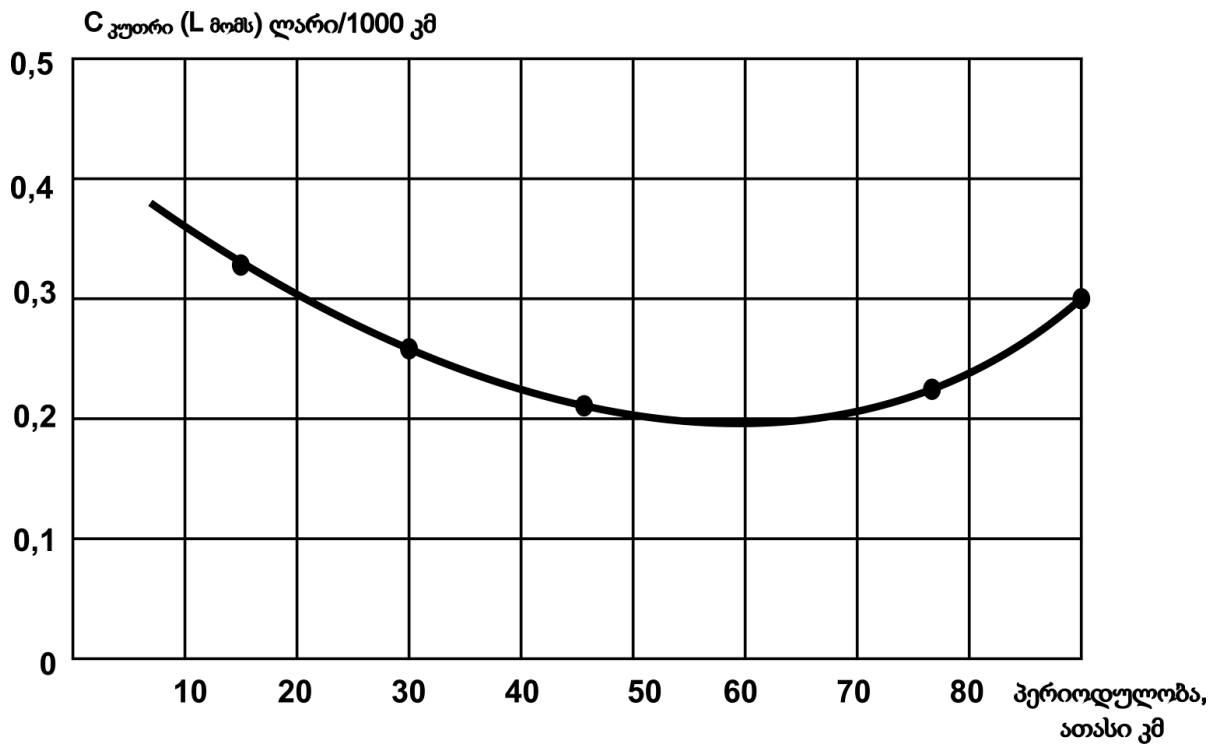
ანალოგიური მეთოდით განისაზღვრება საჭით მართვის სისტემის საკონტროლო-დიაგნოსტიკური ოპერაციების ოპტიმალური პერიოდულობა. ამ შემთხვევაში მთვარე გასაზღვრულ ფაქტორს წარმოადგენს ძირითადი დიაგნოსტიკური პარამეტრი – საჭის რგოლის თავისუფალი სვლა, რომელიც სხვადასხვა ფაქტორზეა დამოკიდებული (საჭის მექანიზმში ღრეჩოს გაზრდა, წევების სფერულ სახსრებში ღრეჩო და სხვ.). მეორეს მხრივ არანაკლებ მნიშვნელოვანია გამოყენებული ხელსაწყოების საიმედოობა, სიზუსტე და შედეგების სანდოობა. ამ შემთხვევაშიც დიაგნოსტიკების შესრულება ან შეუსრულებლობა (არასასურველი ზემოქმედების ალბათობა  $P_{\text{ს.ზ.}}(L)$ ) და დიაგნოსტიკების შეცდომის ალბათობა –  $P_{\text{დ.შ.}}(L)$  განისაზღვრება მოდელირების გზით და საანგარიშო მნიშვნელობები აიღება ამ მიზნით აგებული მრუდებიდან.

მე-12 ცხრილში მოცემულია საწყისი მონაცემებისა და ანგარიშის შედეგები, ხოლო 27-ე ნახაზზე – ანგარიშით მიღებული კუთრი ხარჯებისა და ცვლილების დიაგრამა, რომლის მინიმალური მნიშვნელობა იძლევა ოპტიმალურ პერიოდულობას.

ცხრილი 12

**საჭის დიაგნოსტიკების ოპტიმალური პერიოდულობის  
საანგარიშო ცხრილი**

საკონტროლო დიაგნოსტიკური მომსახურების პერიოდულობა, 1000 კმ	მომსახურების ღირებულება, ლარი	უმცველობის დასაშვები დონე, P(L)	არასასურველი ზემოქმედების ალბათობა, $P_{\text{ს.ზ.}}$	დიაგნოზის ცდომილების ალბათობა, $P_{\text{დ.შ.}}$	დიაგნოსტიკის ღირებულება, ლარი	მტყუნების საშ. ღირებულება, ლარი	კუთრი ხარჯები, ლარი/1000 კმ
15,0	3,8	0,95	0,225	0,035	20,0	75,0	0,320
30,0				0,035			0,298
45,0				0,045			0,265
60,0				0,055			0,230
75,0				0,065			0,195
90,0				0,075			0,225
				0,085			0,250



**ნახ. 27. საჭის საკონტროლო-დიაგნოსტიკური მომსახურების პერიოდულობის განსაზღვრა**

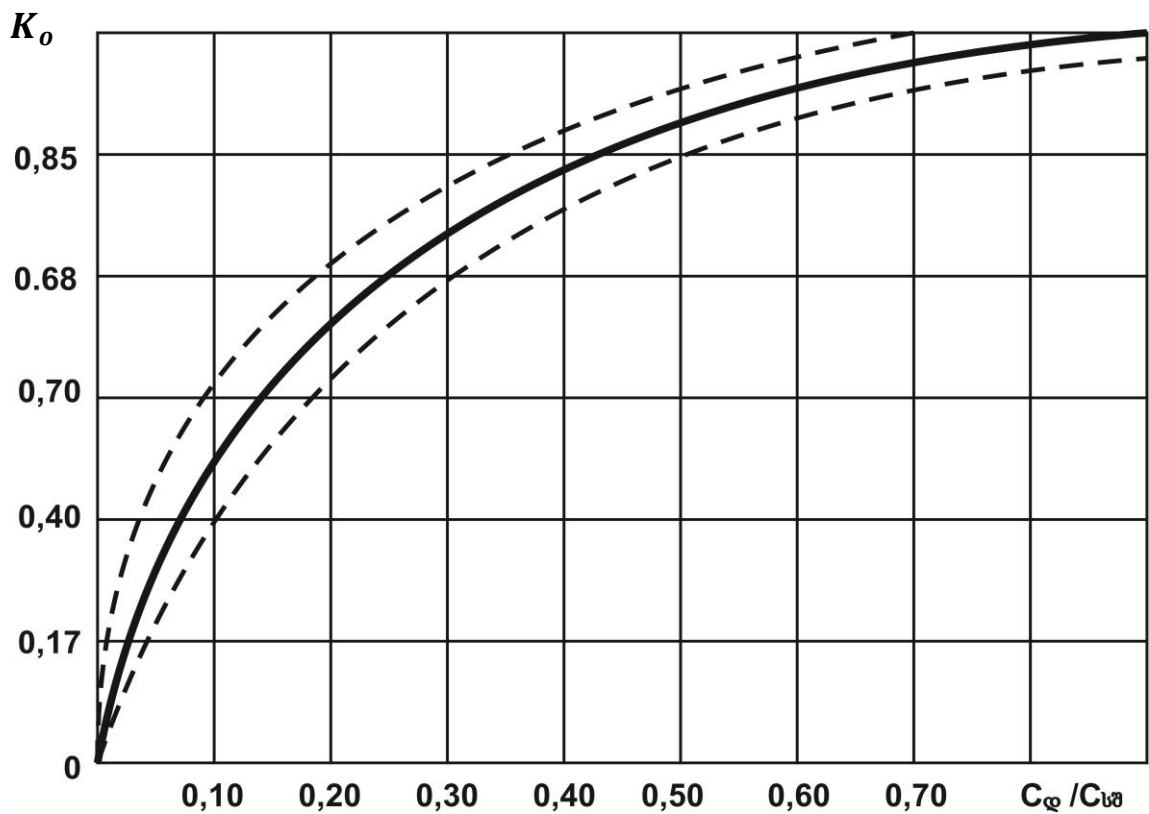
როგორც ანგარიშის შედეგებმა გვიჩვენა საჭის საკონტროლო-დიაგნოსტიკური მომსახურების ოპტიმალური პერიოდულობა შეადგენს 60,0 ათას კმ-ს, როდესაც უმტყუნებლობის დონე იქნება არანაკლებ 0,95.

### 2.3.3. დიაგნოსტიკების ოპტიმალური პერიოდულობის განსაზღვრა

როგორც კვლევის თეორიულ ნაწილში იყო აღნიშნული, დიაგნოსტიკება სრულდება გარკვეული მიზნით და ძირითადი კრიტერიუმი არის უმტყუნებლობის მაღალი დონის შენარჩუნება და უეცარი მტყუნებების გამორიცხვა. რაც განხორციელდება დიაგნოსტიკით გამოვლენილი (შესაბამისი პარამეტრებით და დიაგნოსტიკური ნიშნებით) მტყუნებისა და უწყესიერობის აღმოფხვრით. ეს კი მოითხოვს დამატებით ხარჯებს და როგორც წესი ეს ხარჯები მნიშვნელოვნად ზრდის საერთო საექსპლუატაციო ხარჯებს (მვირადღირებული სადიაგნოსტიკო მოწყობილობა, ოპერატორის ანაზღაურება და სხვ.). აღნიშნული ხარჯების მინიმიზირების მიზნით ჩვენს მიერ რეკომენდირებული იქნა

დიაგნოსტიკის პერიოდულობის განსაზღვრის ანალიზური და გრაფიკული მეთოდი (ნახ. 9,10). ამ მეთოდის ძირითადი შინაარსი არის კონკრეტული სისტემებისათვის მრუდის აგება, ოპტიმალურობისა და  $C_{დ}/C_{სშ}$  ფარდობას შორის და საკვლევი სისტემის მტყუნებათა ინტენსიურობის დადგენა.

აღნიშნული სიდიდეების მრავალმხრივმა გამოკვლევებმა და დიაგნოსტიკის თანამედროვე მეთოდების ანალიზმა საშუალება მოგვცა ავადოთ აღნიშნული დამოკიდებულების მრუდი ავტომობილ "ოპელის" სისტემებისა და მექანიზმების მაგალითზე (ნახ. 28).



ნახ. 28. ოპტიმალურობის საშუალო მრუდი ავტომობილ "ოპელის" სისტემებისა და მექანიზმებისათვის

ოპტიმალურობის კოეფიციენტის  $K_o$  მნიშვნელობები დამოკიდებულია მტყუნებათშორისო ნამუშევარზე და დიაგნოსტიკაზე, პერიოდულობაზე. მტყუნებათშორისო ნამუშევარი კი, როგორც უმტყუნებლობის მაჩვენებელი, მტყუნებათა სიხშირეზეა დამოკიდებული და შესაბამისად მოიცავს საკონტროლო-სარეგულირებელ სამუშოებს და დეტალების შეცვლას, ე.ი. მტყუნების აღმოფხვრის ოპერაციებს. პარალელურად

სრულდება ტექნიკური მომსახურების პროფილაქტიკური ოპერაციები, რომლებსაც ასევე სჭირდება პერიოდულობის დადგენა და ოპტიმიზირება.

ყველა შემთხვევაში პერიოდულობის დადგენა და მისი კორექტირება შესაძლებელია მტყუნებათა ინტენსიურობის (მტყუნებათა ნაკადის პარამეტრი) დადგენით და ანალიზით. საგარანტიო გარბენის შემდეგ მტყუნებათა ინტენსიურობა იზრდება გარბენის ზრდასთან ერთდ და შემდეგ ხდება სტაბილური (განსაკუთრებით ექსპონენციალური კანონის შემთხვევაში  $\lambda = \text{const}$ ). ამიტომ მისი გამოვლენა უნდა მოხდეს საკვლევი ავტომობილის სისტემებისა და მექანიზმების მიხედვით, რომელთა დიაგნოსტიკებაც მიზანშეწონილი და სავალდებულოა. აქვე განისაზღვრება დიაგნოსტიკებისა  $C_{დ}$  და მტყუნებათა აღმოფხვრის (საიმედოობის შენარჩუნების)  $C_{სშ}$  ხარჯები ცნობილი მეთოდებით.

ასეთი გზით მიღებული  $C_{დ}/C_{სშ}$  ფარდობის მნიშვნელობის მიხედვით დიაგრამაზე მოიძებნება ოპტიმალურობის კოეფიციენტის შესაბამისი მნიშვნელობა. მისი გამრავლებით მტყუნებათა ინტენსიურობის შებრუნებულ მნიშვნელობაზე იძლევა ოპტიმალური პერიოდულობის სიდიდეს. მე-13 ცხრილში მოცემულია ავტომობილ "ოპელის" სისტემებისა და მექანიზმების დიაგნოსტიკების პერიოდულობის საანგარიშო მონაცემები და ანგარიშის შედეგები (მტყუნებათა ინტენსიურობის მნიშვნელობები აღებულია სტატისტიკური მონაცემების დამუშავებით).

ცხრილი 13

ავტომობილ "ოპელის" სისტემებისა და მექანიზმების დიაგნოსტიკების პერიოდულობის საანგარიშო ცხრილი

№	სისტემებისა და მექანიზმების დასახელება	$C_{დ}$ ლარი	$C_{სშ}$ ლარი	$C_{დ}$ / $C_{სშ}$	$K_o$	$\lambda(L)$	$l_{ფ} = K_o \frac{1}{\lambda}$
1	ძრავის მართვის ბლოკი	30,0	84,0	0,28	0,70	$0,35 \cdot 10^{-5}$	24,5
2	გადაცემათა გადაბმულობა	25,0	70,0	0,35	0,78	$0,65 \cdot 10^{-5}$	50,7
3	სამუხრუჭე სისტემა	30,0	120,0	0,25	0,68	$0,50 \cdot 10^{-5}$	17,0
4	საჭის სისტემა	20,0	50,0	0,40	0,85	$0,22 \cdot 10^{-5}$	18,7
5	განათება და სიგნალიზაცია	15,0	27,0	0,55	0,87	$0,17 \cdot 10^{-5}$	14,3
6	ელექტრომოწყობილობა	30,0	45,0	0,70	0,96	$0,20 \cdot 10^{-5}$	19,2
7	საკონტ. გამზომი ხელსაწყოები	30,0	60,0	0,50	0,83	$0,30 \cdot 10^{-5}$	24,9

როგორც ცხრილიდან ჩანს დიაგნოსტიკების (ტესტირების) პერიოდულობა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული მტყუნებათა ინტენსიურობის სიდიდეზე. ამიტომ სხვადასხვა მარკის ავტომობილებისათვის იგი შეიცვლება იმის და მიხედვით თუ როგორია ამა თუ იმ სისტემის (მექანიზმის) საიმედოობის მაჩვენებლები და მათი დონე.



### 3. ძირითადი დასკვნები

1. შესრულებულმა კვლევებმა აჩვენა ტექნიკური მდგომარეობის სტატისტიკური პროგნოზირების და ტექნიკური დიაგნოსტიკის შეთავსების მიზანშეწონილობა ავტომობილის კონსტრუქციული ელემენტების რესურსების გამოყენების სხვადასხვა ინტერვალების პირობებში.
2. დამუშავებული მეთოდი საშუალებას იძლევა მინიმალური ხარჯების კრიტერიუმით გამოვლენილი იქნას სტატისტიკური პროგნოზირების და ტექნიკური დიაგნოსტიკის რაციონალური გამოყენების ზონები, როგორც კონკრეტული ელემენტების ხანგამძლეობის მაჩვენებლების ფუნქცია და შეთავსებული მეთოდების დამაჯერებლობა საჭირო დონეზე იქნება უზრუნველყოფილი.
3. გამოკვლევებით დადგინდა, რომ პროგნოზირების დამუშავებული მოდელი გამოიყენება მტყუნებათა განაწილების არა მარტო ნორმალური კანონის შემთხვევაში, არამედ ელემენტების რესურსების განაწილების ვეიბულის და ექსპონენციალური კანონების შემთხვევებშიც და მხედველობაში მიიღება ის გარემოება, რომ სადიაგნოსტიკო საშუალებების შემთხვევითი ცდომილებები განაწილებულია ნორმალური კანონით.
4. დამუშავებული მეთოდების რეალიზაციის მიზნით გამოვლენილი იქნა მსუბუქი ავტომობილების სისტემებისა და მექანიზმების საიმედოობის მაჩვენებლები, უმტყუნებლობის მალიმიტირებელი დეტალები და კვანძები, მათი რესურსების განაწილების კანონზომიერებები. მტყუნებათა კლასიფიცირება მოხდა მათი გამოვლენის ნიშნის მიხედვით, რომლის დროსაც დადგინდა, რომ ძრავის სისტემებიდან შეზეთვის სისტემაზე ვიზუალური მეთოდით მოდის 100%, გაგრილების სისტემაზე – 60%, ხოლო ყველა დანარჩენი სისტემებისათვის – 80-100% მტყუნებათა გამოვლენა ხდება

დიაგნოსტიკით, საგარანტიო გარბენის შემდეგ მტყუნებათა ინტენსიურობა ექვემდებარება რესურსების განაწილების ექსპონენციალურ კანონს მაღალი საშუალო რესურსით 250-350 ათასი კმ და ვარიაციის კოეფიციენტით 0,6-0,85 ზღვრებში.

5. პროგნოზირების შეთავსებული მეთოდის გამოყენების რაციონალური ზონების (გარბენის ინტერვალების) სიდიდეზე მოქმედ ძირითად ფაქტორებს წარმოადგენენ კონსტრუქციული ელემენტების უმტყუნებლობის მაჩვენებლები და ხარჯები, რომლებიც დაკავშირებულია სტატისტიკურ პროგნოზირებასა და დიაგნოსტიკასთან.

"ოპელის" ძრავის გაზგამანაწილებელის სისტემის მაგალითზე დადგენილი იქნა, რომ: უმტყუნებო მუშობის ალბათობის 0,991 დონემდე გარბენის 90,5 ათასი კმ-თვის მიზანშეწონილია მტყუნებათა აღმოფხვრა მათი წარმოქმნის მიხედვით, აქედან 190,0 ათასი კმ-მდე, როდესაც უმტყუნებლობა შემცირდება 0,915-მდე, გამოყენებული იქნას პროგნოზირების სტატისტიკური მეთოდი, ხოლო შემდეგ ეტაპზე მოხდეს პერიოდულად ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკა.

6. დამუშავებული იქნა უმტყუნებლობის სტატისტიკური პროგნოზირებისა და ტექნიკური დიაგნოსტიკის შეთავსების რუკა. იგი შედეგების პრაქტიკაში რეალიზების საშუალებას იძლევა და მოცავს კონსტრუქციული ელემენტებისა და კვანძების გარბენებს, მათ შესაბამის უმტყუნებო მუშობის ალბათობებს და პროგნოზირების შეთავსებული მეთოდების მიზანშეწონილების ინფორმაციას.

7. შემოთავაზებული მეთოდით განსაზღვრული იქნა საკონტროლო-დიაგნოსტიკური ოპერაციების შესრულების პერიოდულობა სამუხრუჭე და საჭით მართვის სისტემებისათვის. სამუხრუჭე სისტემისათვის მან შეადგინა 20,0 ათასი კმ, რომელიც უზრუნველყოფს უმტყუნებო მუშობას 0,98 დონეზე, ხოლო საჭის

სისტემისათვის 60,0 ათას კმ–ს 0,95 უმტყუნებლობის დონით. მეთოდი იძლევა პერიოდულობის ვარირების საშუალებას უმტყუნებლობის სასურველი დონისა და კუთრი ხარჯების ცვლილების მიხედვით.

8. ავტომობილის ელექტრული მართვის მქონე სისტემებისა და მექანიზმებისათვის დიაგნოსტირების პერიოდულობის დადგენისა და კორექტირების აუცილებელი პირობას წარმოადგენს მომსახურების აუცილებელი ხარჯების ფარდობასა და ოპტიმალურობის კოეფიციენტებს შორის კავშირის გამოვლენა.

მტყუნებათა ინტენსიურობის მიხედვით განსაზღვრული პერიოდულობის მნიშვნელობები იძლევიან ტექნიკური მდგომარეობის ოპტიმალური მართვის საშუალებას ექსპლუატაციის პროცესში.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. Барлою Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности (Русский перевод) М., "Советское радио", 1969, с.487;
2. Базовский И. Надежность, теория и практика, М., "Мир", 1985, 373 с.;
3. Гнеденко Б.Б., Беляев Ю.К., Сувельев А.Д. Математические методы в теории надежности, Минск, "Наука и техника", 1974;
4. М.А. Елизаров. Повышение надежности машин. М., "Машиностроение", 1973 , 430 с.;
5. Вонтцель В.С. Теория вероятностей. М., "Наука", 1969 . 470 с.;
6. Надежность и эффективность в технике. Справочник, т.5., М., "Машиностроение", 1986;
7. Б. Козлов, И. Ушаков. Справочник по расчету надежности. М., "Советское радио", 1975, 470 с.;
8. А.С. Проников. Надежность машин. М., "Машиностроение" 1978, 590 с.;
9. ლ. უგულავა. ავტომობილების ეფექტიანობის ამაღლება, საიმედოობა საიმედოობის მართვის მეთოდების გაუმჯობესების გზით. დისერტაცია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად. თბილისი, 2012, გვ. 118;
10. ვ. ჯაჯანიძე. ექსპლუატაციის პროცესში ავტომობილების საიმედოობის მართვის მეთოდების დამუშავება. დისერტაცია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად. თბილისი, 2012, გვ. 110;
11. ვ. ხარიტონაშვილი. საავტომობილო ტრანსპორტის ეფექტიანობა. თბილისი, „მეცნიერება“, 2005, გვ. 210;
12. ვ. ქართველიშვილი, ნავაძე. საავტომობილო გადაზიდვები. თბილისი, „ტექნიკური უნივერსიტეტი“ 2006, გვ. 320;
13. Крамаренко Г.В. Техническая эксплуатация автомобилей. М., «Еранспорт», 1994, 416 с.;
14. Кузнецов Е.С. Исследование эксплуатационной надёжности автомобилей. М., «Транспорт», 1969, 152 с.;
15. ო. გელაშვილი, ჯ. ხმიადაშვილი. ავტომობილების ტექნიკური მომსახურება. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 2007, გვ. 372;
16. Кузнецов. Е.С. Техническое обслуживание и надежность автомобилей. М., ”Транспорт”, 1972, 225 с.;

17. А.М. Шейнин. Эксплуатационная надежность машин. МАДН, М., 1979, 80 с.;
18. А.М. Шейнин. Основные принципы управления надежностью машин в эксплуатации, выпуск I. М., "Знание", 1977, 59 с.;
19. А.М. Шейнин. Основные принципы управления надежностью машин в эксплуатации, выпуск 2, М., "Знание", 1977, 44 с.;
20. ვ. ლეკიაშვილი. ავტომობილების საიმედოობის მართვის სრულყოფის მეთოდების დამუშავება, დისერტაცია ტექნიკის მეცნიერების დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად, თბილისი, 2003, გვ. 220;
21. ვ. ლეკიაშვილი. ავტომობილების ტექნიკრი მომსახურების პრინციპების ფორმირება. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. სამეცნიერო შრომები #4(415), თბილისი, 1997, გვ. 125-129;
22. ვ. ლეკიაშვილი. მანქანათა საიმედოობისა და ეფექტურობის უზრუნველყოფა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის 75-ე წლისთავისადმი მიძღვნიი საიუბილეო სამეცნიერო ნაშრომების კრებული. თბილისი, 1997;
23. ვ. ლეკიაშვილი. ავტომობილების საიმედოობა, დამხმარე სახელმძღვანელო. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. თბილისი, 2005, გვ. 90;
24. Керимов Ф.Ю. Исследование некоторых методов управления надежностью автобусов в эксплуатации» Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., М., МАДИ, 1974, 215 с.;
25. ГОСТ 13377-75. Надежность в технике. Термины в определения. М., 1975.
26. ГОСТ 1822-73. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. М., 1975.
27. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества в надежности. М., "Советское радио", 1968, 430 с.;
28. В.М. Михмен. Прогнозирование технического состояния машин, М., «Колос» 1976, с. 283;
29. Керимов Ф.Ю. Теоретические основы сбора и обработки информации о надежности машин. М., МАДИ, 1980, 120 с.;
30. Г.К. Купцева, В.И. Купцов, Ф.Ю. Керимов. Обработка информации о надежности машин, алгоритмы и расчеты. М., МАДИ, 1981, 85 с. 524 с.;
31. Кокс Д., Смит В. Теория восстановления. М., "Советское радио", 19...;

32. А.М. Шейнин, В.А. Шейнин. Алгоритм и программы решения оптимальных задач надежности машин. М., МАДИ, 1981, 112 с.;
33. Каталог деталей автомобиля «Жигули», М., Машинное строение, 1977, с. 223;
34. Методические указания по прогнозированию технического состояния машин. М., «Колос», 1972, с. 216;
35. ვ. ხარიტონაშვილი, რ. ტურაშვილი. საავტომობილო ტექნიკის ტექნიკური მდგომარეობის მართვის საფუძვლები, თბილისი, „მეცნიერება“, 2004, გვ. 192;
36. И.И. Кокс, Б.А. Зорин. Основы надежности дорожных машин. М., "Машиностроение", 1978. 164 с.;
37. Кугель Р.В. Долговечность автомобиля. М., Машгиз, 1961, 383 с.;
38. Несвитский Я.И. Техническая эксплуатация автомобилей. Киев. "Высшая школа", 1971, 315 с.;
39. А.В. Мозгалевский, Д.В. Гаскаров. Техническая диагностика. М., Высшая школа, 1975, с. 206;
40. ტექნიკური რეგლამენტი „ავტოსატრანსპორტო საშუალებების სერვისის წესი“. საქართველოს ეკონომიკური განვითარების სამინისტრო, თბილისი, 2007, გვ. 25;
41. Техническое обслуживание автомобилей «ОПЕЛ». М., «Машиностроение», 1980, 333 с.;
42. ვ. ლეკიაშვილი, ნ. თოფურია. ავტომობილების ტექნიკური ექსპლუატაცია, მეთოდური მითითებები პრაქტიკული სამუშაოების შესრულებლად. თბილისი, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2009, გვ. 53;
43. Колесник П., Шейнин В. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей, 1985, с. 320;
44. В. Гнурман, Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистики. М., Высшая школа, 1975, с. 333;
45. მ. შილაკაძე. მექანიკური მოწყობილობების საიმედოობის საფუძვლები. თბილისი, სტუ, 2009, გვ. 400;
46. ნ. თოფურია. ავტომობილების ეფექტიანობის ამაღლება ტექნიკური ზემოქმედების ფაქტორებით განპირობებული მოვლენების შემცირებით. დისერტაცია ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად. თბილისი, 2005, გვ. 120.