

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანარ მამმადოვი

„ექსპლუატაციაში მყოფი მაგისტრალური ტრანზიტული
წავთობგაზსადენების ექსპლუატაციის ტექნიკური და ეკონომიკური
ასპექტები“

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა“ ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“
შიფრი 0405

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ივლისი, 2015 წელი

საავტორო უფლება © 2015 წელი, ანარ მამმადოვი

თბილისი

2015 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით მამამდოვ ანარს მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ექსპლუატაციაში მყოფი მაგისტრალური ტრანზიტული ნავთობგაზსადენების ექსპლუატაციის ტექნიკური და ეკონომიკური ასპექტები“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

ივლისი, 2015

ხელმძღვანელი: ო. კილურაძე
პროფესორი

რეცენზენტი: ო. გიორგობიანი
პროფესორი

რეცენზენტი: _____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ავტორი: ანარ მამალოვი

დასახელება: ექსპლუატაციაში მყოფი მაგისტრალური ტრანზიტული ნავთობგაზსადენების ექსპლუატაციის ტექნიკური და კონომიკური ასპექტები

ფაკულტეტი : ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის
ფაკულტეტი

აკადემიური ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: ივლისი, 2015

ინდივიდუალური პროვზებების ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი 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 იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

მაგისტრალური ნავთობგაზსადენები მსოფლიოში აგებულ იქნა 1960-1990 წლების პერიოდში. ამჟამად მაგისტრალური გაზსადენების 35% და ყველა ნავთობსადენის 75% -ს გააჩნია 20 წელიწადზე მეტი ექსპლუატაციის ვადები. 20 წელზე მეტი რესურსის ამოწურის მქონე გაზსადენები საერთო სიგრძის 43,9%-ს, და ამოწურული ნორმატიული რესურსის 20,2% შეადგენს. ექსპლუატაციის უფრო მეტი რესურსი აქვთ მაგისტრალურ ნავთობსადენებს. სიგრძის 73% -ს 20 წელზე მეტი და 40,65% -ს ნორმატიულ ვადაზე ზემოთ - 33 წელი. ნავთობსადენების სიგრძის 34%-ზე მეტი აგებულია 30 წლის წინ. მაგისტრალური მილსადენები ექსპლუატაციას გადის არახელსაყრელ ბუნებრივ-კლიმატურ პირობებში. ეს გარემოება ართულებს მილების მდგომარეობის დიაგნოსტიკის ჩატარებას. ხშირი "შიგამილოვანი ჭურვებით" დიაგნოსტიკა წარმოადგენს ძვირადღირებულ პროცედურას, მაგისტრალური გაზსადენების 60 % არ არის მიმარჯვებული მილისშიგა დიაგნოსტიკის ჩასატარებლად (უთანაბრო ჩამკეტი არმატურა და ა.შ.). მილსადენებზე ავარიებს ახასიათებს მნიშვნელოვანი მასშტაბი, გარემოზე უარყოფითი ზემოქმედების ფორმების მრავალფეროვნება. ეს განპირობებულია მილსადენების სპეციფიკით, რომლებისთვისაც დამახასიათებელია გადასაქაჩ ნივთიერებათა ნაკადის დიდი ინერციულობა. ეს უკანასკნელი გამოწვეულია სატუმბ სადგურებს შორის დიდი მანძილით და რთული ბუნებრივ-კლიმატური პირობების მქონე ტერიტორიებზე მილსადენების განლაგებით.

ამგვარად ჩნდება სამეცნიერო ამოცანა: საწარმოო ობიექტებზე ავარიების რისკის ანალიზის თეორიის შედეგების გამოყენებისა და ნავთობგაზსადენებზე ავარიების დროს ბუნებრივ გარემოსთვის მიყენებული ზარალის განსაზღვრის არსებული მეთოდის საფუძველზე დამუშავდეს ნავთობგაზსადენებზე ავარიებისას ეკოლოგიური რისკის შეფასების მეთოდური აპარატი. ეკოლოგიური რისკის შეფასების თანამედროვე მეთოდური აპარატის არსებობა წარმოადგენს საქართველოს კანონმდებლობის შესაბამისად დეკლარირებული საშიში საწარმოო მოქმედების პროცედურის რეალიზაციის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს პირობას.

დამუშავებული მოდელების უმრავლესობა მიბმულია "ექსპლუატაციის იდეალურ პირობებთან" (გადასატუმბი სითხის შიგა წნევის, ტემპერატურის მუდმივობა და ა.შ.), რაც რეალურად ექსპლუატირებადი მილსადენის ხანგამძლეობის გაანგარიშების სიზუსტეზე მსჯელობის შესაძლებლობას არ იძლევა. არსებობს მოდელების დიდი რაოდენობა, რომლებიც იწვევს უფრო თეორიულ ინტერესს, რადგან დაკავშირებულია პარამეტრების დიდ რაოდენობასთან, რომელთა შეფასება წარმოების პირობებში პრაქტიკულად შეუძლებელია სპეციფიური ლაბორატორიული მოწყობილობების გამოყენების აუცილებლობის გამო. გამოქვეყნებულ ნაშრომებში, სადაც აღწერილია მილსადენების

მდგომარეობის შემფასებელი ავტომატიზირებული სისტემები, არ არის ცნობები სისტემის ფუნქციონირების საფუძველში ჩადებული მათემატიკური აპარატისა და არ არის ინფორმაცია მისი ადეკვატურობის შესახებ.

ნაშრომში განხილული ამოცანა აქტუალურია და გააჩნია დიდი სამეცნიერო და პრაქტიკული მნიშვნელობა. დისერტაციაში გადაწყვეტილი ამოცანა განისაზღვრება აგრეთვე მისი ადგილით ყველა დონის საწარმოო უსაფრთხოების სფეროში და სპეციალურად უფლებამოსილი აღმასრულებელი ხელისუფლების ორგანოს ამოცანათა ჩამონათვალში.

ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით, უნდა შევავსოთ, რომ ზოგიერთი დებულება საჭიროებს შემდგომ გამოკვლევებსა და პრაქტიკულ შემოწმებას. კერძოდ: მაგისტრალურ ნავთობგაზსადენების ავარიების დროს რისკის შეფასების მეთოდები უნდა ითვალისწინებდეს ავარიების რეალიზაციისას წარმოქმნილ ფიზიკურ მოვლენებსა და ეფექტებს; ავარიათა სხვადასხვა სცენარის წარმოქმნისა და განვითარების სიხშირეს. მეთოდებმა უნდა გადაწყვიტოს გარემოს და ხალხის მიმართ ნავთობგაზსადენების მხრიდან პოტენციური საფრთხის რაოდენობრივი შეფასების ამოცანა. ამასთან რისკის ანალიზისა და ზარალის შეფასების შედეგები საფუძვლად უნდა დაედოს ნავთობგაზსადენების ხაზოვანი ნაწილის “სუსტი ადგილების” განსაზღვრას.

მიღებული შედეგების, დასკვნებისა და რეკომენდაციების უტყუარობა და დასაბუთება უზრუნველყოფილია მათემატიკური, ეკონომიკური და სხვა გამოკვლევების თანამედროვე მეთოდებისა და ხერხების და აპრობირებული მეთოდური და პროგრამულ-ტექნიკური საშუალებების გამოყენებით, აგრეთვე დამუშავებული მეთოდური აპარატის შესაბამისად ჩატარებული გაანგარიშების შედეგების შედარებით რეალურად მოხდენილი ავარიების მონაცემებთან.

დაგეგმილია მეთოდიკების ნორმატიულ დოკუმენტაციაში ასახვა. განსაზღვრულია საიმედოობის მახასიათებლები საქართველოს სათბობ-ენერგეტიკულ კომპლექსში საინფორმაციო ბაზის შესაქმნელად.

Abstract

Oil and gas trunk pipelines (OGTP) worldwide were built in the period from 1960-1990. Currently, 35 % of gas trunk pipelines (GTP) and 75 % of oil trunk pipelines (OTP) have been in operation for over 20 years. Gas pipelines with a lifetime of more than 20 years constitute 43.9 % of the total length, and 20.2 % - have exhausted the rated life. Oil trunk pipelines have even greater lifetime: 73% of the total pipeline length are over 20 years and 40.65% - have exceeded the rated lifetime of 33 years. More than 34 % of the pipeline length were built 30 years ago. Accidents on pipelines are usually large-scale and impact on the nature with the variety of forms. This is associated with the specifics of pipelines, which are characterized by large inertia of the flow of pumped substances due to the large distances between the pumping stations, the location of pipelines in areas with difficult climatic conditions.

Therefore, we have such a scientific problem: based on the results of the theory of the analysis of industrial accident risk and analysis of the existing methods for detection of environmental damage in case of accidents on oil and gas pipelines to develop the methodological mechanism of assessment of the ecological risk in case of accidents on oil and gas pipelines. The availability of a modern methodological mechanism of ecological risk assessment is one of the most important conditions for implementing the procedure of declaring hazardous industrial activities, in accordance with the Georgian laws.

The problem discussed in the paper is highly topical and of great scientific and practical importance. The actuality of the problem solved in the thesis is also determined by its place in the range of tasks of the executive body specifically authorized in the field of industrial safety at all levels.

Based on the foregoing, we shall take into consideration that certain provisions need further research, theoretical generalization and practical verification. In particular: 1. Risk assessment methods in TP accidents must consider physical phenomena and effects arising from the implementation of accidents and frequency of occurrence and development of various accident scenarios. 2. The methods shall allow to solve the problem of the quantitative assessment of potential danger of oil and gas pipelines for the environment and people. Thus the results of the risk analysis and damage assessment should allow its use as a basis for determining the “weaknesses” of linear sections of the oil and gas pipelines.

Reliability and validity of the results, conclusions and recommendations are enabled by the use of modern methods and means of the mathematical, economic and other research, the use of standardized and tested methodical and software and hardware tools, as well as by comparing the results of calculations performed in accordance with the developed methodological mechanism with the data of actual accidents occurred.

The mapping of techniques in the standard documentation is planned. The characteristics of the reliability of the fuel and energy sector of Georgia are determined, which create a database.

სარჩევი

| | |
|--|-----|
| შესავალი..... | 25 |
| 2. დასკვნები და განსჯა..... | 25 |
| მაგისტრალური მილსადენების ლიტერატურული მიმოხილვა და ექსპლუატაციის ანალიზი, საქართველოს ტრანზიტული მაგისტრალური ნავთობგაზსადენების მაგალითზე..... | 25 |
| თავი 1. ნავთობგაზსადენებზე რისკისა და ავარიული მოვლენების ანალიზი..... | 40 |
| 1.1. ნავთობგაზსადენებზე ავარიების რისკის კრიტერიუმების შესახებ..... | 40 |
| 1.2. მაგისტრალური მილსადენების ავარიების რისკის ანალიზი, უსაფრთხო მანძილების დასაბუთება..... | 42 |
| 1.3. ნავთობგაზსადენების ავარიულობის ანალიზი და მეთოდოლოგიური ასპექტები..... | 51 |
| თავი 2. მაგისტრალური ნავთობსადენებისა და ნავთობპროდუქტებ სადენების ავარიების დროს ჰიდროგაზოდინამიკური მოვლენების გამოკვლევა..... | 75 |
| 2.1. მაგისტრალური ნავთობსადენებისა და ნავთობპროდუქტების სადენების ავარიების რიცხვითი მეთოდის დამუშავება..... | 75 |
| 2.2. მაგისტრალური ნავთობსადენების ავარიების სცენარების რიცხვითი მეთოდის შემუშავება..... | 84 |
| 2.3. მაგისტრალურ ნავთობსადენებზე ავარიული მოვლენების დროს რიცხვითი მეთოდის ანალიზი..... | 90 |
| 2.4. მაგისტრალური ნავთობ-და ნავთობპროდუქტების მილსადენების ავარიების დროს ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების დაღვრის ლიკვიდაციის გეგმა..... | 103 |
| 2.5. მაგისტრალურ ნავთობსადენებზე ავარიების რისკებისა და შედეგების განსაზღვრის მეთოდური რეკომენდაციები..... | 107 |
| თავი 3. ნავთობგაზსადენების ეკოლოგიურ-ეკონომიკური მოდელები..... | 127 |
| 3.1. ნავთობგაზსადენების ეკოლოგიურ-ეკონომიკური მოდელები გარემოსდამცავი ღონისძიებების სისტემისათვის..... | 127 |
| 3.2. მაგისტრალური ნავთობგაზსადენების მდგომარეობის "ვირტუალური" კონტროლის ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასების მოდელი..... | 121 |
| თავი 4. მაღალი ეკოლოგიური რისკ-ფაქტორის მქონე გარემოში ჩალაგებული მაგისტრალური ნავთობსადენის ავარიული გაგლეჯის ნავტობის გაჟონვის მოვლენის გამოკვლევა..... | 130 |
| თავი 5. ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების რეოლოგიური მეთოდების გამოყენება რეჟიმების მართვისას..... | 139 |
| 5.1. არანიუტონისებრი სითხეების რეოლოგიური თვისებები (ნავთობი და ნავთობპროდუქტები)..... | 139 |
| 5.2. რეოლოგიური მოდელების შედგენა..... | 142 |
| 5.3. ექსპერიმენტალური დანადგარები და მოწყობილობა..... | 147 |

| | |
|---|-----|
| 5.4. სითხის დინების დინამიკური მახასიათებლების საშუალებით დისკრინიმინაციული მეთოდების დაზუსტება. | 150 |
| 5.4.1. დისკრინიმინაციული მეთოდების ფიზიკური მოდელების დაზუსტება. | 150 |
| 5.4.2. ანომალური ნავთობის თვისების მქონე მხევი ძაბვების მოდელების დადგენა ექსპერიმენტალური გზით, დისკრინიმინაციით მეთოდით. | 152 |
| 3. დასკვნები. | 159 |
| გამოყენებული ლიტერატურა | 162 |

ცხრილების ნუსხა

- ცხრილი 1.** ნავთობის ფიზიკური თვისებები
- ცხრილი 2.** ქვეყნები მსხვილი ნავთობის მარაგები (BP Statistical review of world energy 2011-ის მიხედვით)
- ცხრილი 3.** ბუნებრივი გაზის მოპოვება მსოფლიო ქვეყნების მიხედვით 2012 წელს
- ცხრილი 4.** ბუნებრივი გაზის დაზვერული მარაგები მსოფლიო ქვეყნების მიხედვით 2012 წელს
- ცხრილი 5.** ნავთობსადენი ბაქო-სუფსას ტექნიკური პარამეტრები
- ცხრილი 6.** სამხრეთ-კავკასიური ნავთობსადენის ტექნიკური პარამეტრები
- ცხრილი 7.** ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანი ნავთობსადენის ტექნიკური პარამეტრები
- ცხრილი 8.** ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის ტრანზიტული მოცულობები
- ცხრილი 9.** „სიხშირის რეალიზაცია-ფინანსური ზარალის“ მატრიცა, ტერიტორიის ზონების საშიშროების კრიტერიუმები
- ცხრილი 10.** გაზის ჭავლის აალების და თერმული რადიაციის ზონები
- ცხრილი 11.** მეთანის ღრუბლის დრეიფის ზონის მანძილების გაანგარიშება, სხვადასხვა მეტეო პირობებისას
- ცხრილი 12.** უსაფრთხო მინიმალური მანძილების ნორმატიული და საანგარიშო მნიშვნელობები
- ცხრილი 13.** მაგისტრალური ნავთობსადენების (KTK-P და BTC) სახაზო ნაწილების საფრთხის მტყუნების შედარებითი ფაქტორების ჯგუფის ანალიზი
- ცხრილი 14.** მაგისტრალური ნავთობსადენის სახაზო ნაწილის ავარიის განზოგადოებული რისკის პარამეტრები
- ცხრილი 15.** ავარიების შესახებ სხვადასხვა წყაროების მონაცემები
- ცხრილი 16.** ავარიული ფიქსირებული ხდომილების ხასიათი
- ცხრილი 17.** მილსადენების ავარიების შედეგები და წელიწადში ინციდენტების რაოდენობა
- ცხრილი 18.** სხვადასხვა გაზსადენების ავარიულობის განზოგადოებული მაჩვენებლები
- ცხრილი 19.** ა. სხვადასხვა ნავთობსადენების ავარიულობის განზოგადოებული მაჩვენებლები; ბ. ავარიული გაჟონვების აალების პირობითი ალბათობა
- ცხრილი 20.** ნავთობ, ნავთობპროდუქტების და გაზსადენების დეფექტური ხვრეტების აალების პირობითი ალბათობა
- ცხრილი 21.** ამერიკული და ევროპიული ნავთობსადენების ავარიების ნავთობის კუთრი დანაკარგი
- ცხრილი 22.** რუსეთის მაგისტრალური ნავთობგაზსადენების ავარიების განაწილება
- ცხრილი 23.** რუსეთის გაზსადენების ავარიების მიზეზების წილური განაწილება
- ცხრილი 24.** მაგისტრალური გაზსადენების რისკი

- ცხრილი 25.** შიგა მტკნარი წყალსაცავებში და ხმელეთზე, საგანგებო სიტუაციის კლასიფიკაცია
- ცხრილი 26.** საგანგებო სიტუაციის კრიტერიუმები[84]
- ცხრილი 27.** სხვადასხვა დიამეტრის მქონე ნავთობსადენის დაზიანებული უბნიდან ნავთობის დაღვრილი საანგარიშო მოცულობები
- ცხრილი 28.** ნავთობგაზსადენების საშიში ნივთიერების ნუსხა და ციფრული კოდი
- ცხრილი 29.** მაგისტრალური მილსადენების ობიექტზე ზემოქმედების კლასის დადგენა
- ცხრილი 30.** დაზიანების ზონის მაქსიმალური წრფივი მასშტაბი R_3
- ცხრილი 31.** მაქსიმალური ფართობების გამოუხმობი (S_B) და სანიტარული (S_s) დანაკარგები
- ცხრილი 32.** ავარიის შედეგების შემარბილებელი შემასწორებელი f კოეფიციენტი
- ცხრილი 33.** ეკოლოგიური დანახარჯების სტრუქტურა
- ცხრილი 34,** ა. ავარიების გამოწვეული ყველაზე შესაძლო მიზეზების ალბათობის წილი; ბ. შესაძლო ავარიის ლიკვიდაციის ღონისძიების ნახევარეტაპური დრო
- ცხრილი 35.** მხები ძაბვის წანაცვლების დამოკიდებულება
- ცხრილი 36.** ცდების ხუთი სერიის შედეგები, დაზუსტებული მოდელისათვის

ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1. დამტკიცებული მსოფლიო ნავთობის და ბუნებრივი გაზის დინამიკა, მლრდ. ტ.ნ.ე.

ნახ. 2. ა) ქვეყნები მსხვილი ნავთობის მარაგებით (მლრდ. ბარელი); ბ) ქვეყნები მსხვილი ნავთობის მოძიება (10^3) ბარელი დღეში (ქვეყნების რანჟირება ცხრილი 1-ის მიხედვით)

ნახ. 3. ა) მსოფლიო რეზერვები რეგიონების მიხედვით: 1. ჩრდილო ამერიკა; 2. ცენტრალური სამხრეთი ამერიკა; 3. ევროპა; 4. შუა დასავლეთი; 5. აფრიკა; 6. აზია და ოკეანია. ბ,გ) ნავთობის მსოფლიო მარაგების რუკა

ნახ. 4. ნავთობის მსოფლიო მარაგების სტატისტიკური რუკა

ნახ. 5. ა) ბუნებრივი გაზის მოპოვება მსოფლიოს ქვეყნებში (ქვეყნების რანჟირება ცხრილი 3-ის მიხედვით); ბ) ბუნებრივი გაზის დაზვერული მარაგები მსოფლიოს ქვეყნებში (ქვეყნების რანჟირება ცხრილი 4-ის მიხედვით)

ნახ. 6. მსოფლიო გაზის მარაგების რუკა

ნახ. 7. SCP – სამხრეთ-კავკასიური მილსადენი (ან BTE - მილსადენი ბაქო-თბილისი-ერზერუმში)

ნახ. 8. სამხრეთ-კავკასიური ნავთობსადენის აქციონერების შემადგენლობა

ნახ. 9. სამხრეთ-კავკასიური მილსადენის სქემა

ნახ. 10. ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის კაპიტალის წილური მონაწილეობა

ნახ. 11. ნავთობსადენები საქართველოს ტერიტორიაზე

ნახ. 12. ნავთობსადენების ავარიებისას გარემოს დაზინძურება კანადის ალბერტას პროვინციაში

ნახ. 13. მაგისტრალური ნავთობსადენის მიწისქვეშა უბნის დეგერმეტიზაციის ხდომილების ხე

ნახ. 14. ადამიანების დაღუპვის პოტენციალური რისკის ტიპური პროფილები 1. გაზსადენი, (D 700, P = 5,5 მპა); 2. გაზსადენი, (D 600, P = 5,7 მპა); 3. ნავთობსადენი (D 1000, P = 6,3 მპა)

ნახ. 15. ა) მაგისტრალური გაზსადენების ავარიის კუთრი ინტენსივობა ხუთწლიანი პერიოდით (1. UKOPA; 2. EGIG; 3. PHMSA; 4. NEB; 5. Ростехнадзор); ბ) ა) მაგისტრალური ნავთობსადენების ავარიის კუთრი ინტენსივობა ხუთწლიანი პერიოდით (1. UKOPA; 2. EGIG; 3. PHMSA; 4. NEB; 5. Ростехнадзор);

ნახ. 16. მაგისტრალური გაზსადენების შექმნელი მიზეზების ავარიების განაწილება: ა – EGIG (1970-2008 წწ.); ბ – PHMSA (1988-2008 წწ.); გ – UKOPA (1962-2008 წწ.); დ. Ростехнадзора (2000-2008 წწ.); 1. გარე ზემოქმედება; 2. მასალის დეფექტები; 3. კოროზია; 4. გარემოს ზემოქმედება; 5. პერსონალის შეცდომა; 6. სხვა

ნახ. 17. მაგისტრალური ნავთობ და ნავთობპრუდუქტსადენების შექმნელი მიზეზების ავარიების განაწილება: ა – CONCAWE (1971-2007 წწ.); ბ – PHMSA (1988-2008 წწ.); გ. Ростехнадзора (1996-2008 წწ.); 1. გარე ზემოქმედება; 2. მასალის დეფექტები; 3. კოროზია; 4. გარემოს ზემოქმედება; 5. პერსონალის შეცდომა; 6. სხვა

- ნახ. 18.** „პერსონალის შეცდომის“ გამო, ევროპული და რუსეთის მაგისტრალური გაზსადენების ავარიების კუთრი სიხშირის დამოკიდებულება დიამეტრზე: 1. არსებული მეთოდიკა $k_{om} = \exp[-0,004(D-264)]$; 2. შპს “Газпром газнадзор”-ი (1996-2005)
- ნახ. 19.** 1996-2005 წწ-ში ავარიების კუთრი სიხშირის დამოკიდებულება მაგისტრალური გაზსადენების დამოკიდებულება დიამეტრზე (შპს “Газпром газнадзор”-ის მონაცემები): 1. საწარმოო დეფექტები; 2. დაზიანება ექსპლუატაციისას (დივერსია); 3. გარე კოროზია; 4. სამშენებლო დეფექტები; 5. სტიქიური უბედურება; 6. სხვა
- ნახ. 20.** მაგისტრალური გაზსადენების შპს “Газпром”-ის ავარიების კუთრი სიხშირის დამოკიდებულება სხვადასხვა მიზეზებისას 1996-2005 წწ-ში: 1. საწარმოო დეფექტები; 2. დაზიანება ექსპლუატაციისას (დივერსია); 3. გარე კოროზია; 4. სამშენებლო დეფექტები; 5. სტიქიური უბედურება; 6. სხვა
- ნახ. 21.** 1. მილსადენების გაგლეჯების რაოდენობა (ათასი); 2. ნედლი ნავთობის მოპოვება (მლნ. ტონა)
- ნახ. 22.** ა) წნევის ეპიურები სხვადასხვა დროის გაგლეჯისას (ნაშრომი [70]-ის მიხედვით): 1. $t=60$ წმ; 2. $t=480$ წმ. ბ) მილსადენის პროფილი
- ნახ. 23.** მაგისტრალურ ნავთობსადენში ნავთობის სიჩქარის ცვლილების რღვევის დამოკიდებულება მანძილისაგან, სხვადასხვა დროისათვის: ა. 1 წთ; ბ. 3 წთ
- ნახ. 24.** მაგისტრალურ ნავთობსადენში ნავთობის სიჩქარის ცვლილების რღვევის დამოკიდებულება მანძილისაგან 8 წუთში
- ნახ. 25.** მაგისტრალურ ნავთობსადენში ახლოს მყოფი ავარიისას წნევის დამოკიდებულება დროზე ([71])
- ნახ. 26.** ნავთობსადენში წნევის განაწილება ტრასის გასწვრივ, სხვადასხვა დროისათვის (0, 60 წმ; 180 წმ; 300 წმ; 480 წმ) ([71,75])
- ნახ. 27.** ნავთობსადენში ნავთობის სიჩქარე ტრასის გასწვრივ (10-812 კმ), სხვადასხვა დროისათვის (60 წმ; 180 წმ; 300 წმ; 480 წმ) ([67,68])
- ნახ. 28.** მილსადენში, სხვადასხვა დროისათვის, წნევი პროფილები მსხვილი ბზარისას, 40 კმ მანძილზე ([69]): ◆ - 0 წმ; ■ - 10 წმ; ▲ - 1 წთ; * - 10 წთ
- ნახ. 29.** ბაქო-სუფსა მაგისტრალური ნავთობსადენის ტრასის უბნის პროფილი
- ნახ. 30.** ა) დაზიანების ზონა; ბ) დაზიანების ზონა - ტიპი I (წრე) - დამახასიათებელია აფეთებისას
- ნახ. 31.** ა) დაზიანების ზონა - ტიპი II (განიერი ზოლი) - დამახასიათებელია აალებადი გაზის ღრუბლის წვისას; ბ) დაზიანების ზონა - ტიპი III (ვიწრო ზოლი) - დამახასიათებელია გაზის ღრუბლის დრეიფი
- ნახ. 32.** სისტემის ეკოლოგიური დანახარჯების ფორმირების სქემა
- ნახ. 33.** ეკოლოგიური დანახარჯების დამოკიდებულება W , გარემოსდაცვითი დანახარჯები U და ეკოლოგიური დარღვევების ეკონომიკური დანახარჯი V , ტექნოგენური დატვირთვების დატვირთვებზე Y
- ნახ. 34.** დანახარჯების და გარემოს ხარისხის ურთიერთკავშირი

- ნახ. 35.** მაგისტრალური მილსადენის „ვირტუალური“ კონტროლის მოდელის შეფასების სქემა, როდესაც $t_n = t_{av}$: 1. ფორმულა (3.12); 2. ფორმულები (3.9, 3.10, 3.11)
- ნახ. 36.** მაგისტრალური მილსადენის „ვირტუალური“ კონტროლის ეკონომიკური ეფექტურობის და მილის უბნის შეცვლის მიზნობრივი შეფასების მოდელი: 1. ფორმულა (3.12); 2. ფორმულები (3.9, 3.10, 3.11)
- ნახ. 37.** ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანი მაგისტრალური ნავთობსადენის უბნის გრძივი პროფილი
- ნახ. 38.** ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის მაგისტრალური ნავთობსადენის უბნის მოწყობილობის დაცლის სქემა
- ნახ. 39.** ნავთობის დაცლის ჰიდრავლიკური იდეალიზრებული სქემა
- ნახ. 40.** ნავთობსადენის უბნის დაცლის დროის დაწნევაზე დამოკიდებულების გრაფიკი
- ნახ. 41.** სრული რეოლოგიური წირი
- ნახ. 42.** რეოლოგიური მოდელები: ა. ჰუკის მოდელი; ბ. ნიუტონის ტანის მოდელი; გ. სენ-ვენანის ტანის მოდელი; დ. კელვინის (ფოიჰტის მოდელი); ე. ბინგამის მოდელი
- ნახ. 43.** რამდენიმე რეოლოგიური მოდელი, $V - P$ პარამეტრებში
- ნახ. 44.** რეოლოგიური მოდელები: ა. მაქსველის მოდელი; ბ. შვედოვ-ბინგამის მოდელი
- ნახ. 45.** ა) HVU Herzog 480-ის ვისკოზიმეტრის ზოგადი ხედი; ბ) ტრანსფორმატრი
- ნახ. 46.** ა) გამოყენებული ნიმუშების შეცვლის კომპლექტი; ბ) ნიმუშის ავტომატური ცვლილების MP491 აბაზანით 48 ნიმუშით
- ნახ. 47.** გარე გაგრძელების ცირკულაცია
- ნახ. 48.** ა) NIR კაპილარული მოწყობილობა; ბ) კაპილარული დამჭერის ამოტვიფრული და ფერის კოდირება; დ) კაპილარების აღმოაჩენა გაუმჭვირვალე ნიმუშებში
- ნახ. 49.** ნარჩენების გამხსნელის დამლექილი კონტეინერი; ბ) ვაკუუმი ტუმბოს არინების საქმენიდან
- ნახ. 50.** ა) გრაფიკები $\tau = f(\gamma^*)$: 1. კესონ-შულმანის მოდელი; 2. შვედოვ-ბინგამის მოდელი; 3. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ხუთი წერტილი; ბ) გრაფიკები $\tau = f(\gamma)$: 1. კესონ-შულმანის ძველი მოდელი; 2. შვედოვ-ბინგამის ძველი მოდელი; 3. კესონ-შულმანის დაზუსტებული მოდელი; 4. შვედოვ-ბინგამის დაზუსტებული მოდელი; 5. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ხუთი წერტილი; 6. * - დამატებითი სამი წერტილი. გ) ალბათობის ცვლილება ექსპერიმენტის პროცესში
- ნახ. 51.** ა) გრაფიკები $\tau = f(\gamma^*)$: 1. კესონ-შულმანის მოდელი; 2. ბაკლი-ჰერშლის მოდელი; 3. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ხუთი წერტილი; ბ)

გრაფიკები $\tau = f(\gamma^*)$: 1. კესონ-შულმანის ძველი მოდელი; 2. ბაკლი-ჰერშლის ძველი მოდელი; 3. კესონ-შულმანის დაზუსტებული მოდელი; 4. ბაკლი-ჰერშლის დაზუსტებული მოდელი; 5. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ხუთი წერტილი; 6. * - დამატებითი სამი წერტილი. გ) ალბათობის ცვლილება ექსპერიმენტის პროცესში

ნახ. 52. ა) გრაფიკები $\tau = f(\gamma^*)$: 1. კესონ-შულმანის მოდელი; 2. ბაკლი-ჰერშლის მოდელი; 3. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ექვსი წერტილი; ბ)

გრაფიკები $\tau = f(\gamma^*)$: 1. კესონ-შულმანის ძველი მოდელი; 2. ბაკლი-ჰერშლის ძველი მოდელი; 3. კესონ-შულმანის დაზუსტებული მოდელი; 4. ბაკლი-ჰერშლის დაზუსტებული მოდელი; 5. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ექვსი წერტილი; 6. * - დამატებითი ოთხი წერტილი. გ) ალბათობის ცვლილება ექსპერიმენტის პროცესში

ნახ. 53. ა) გრაფიკები $\tau = f(\gamma^*)$: 1. კესონ-შულმანის მოდელი; 2. ბაკლი-ჰერშლის მოდელი; 3. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ხუთი წერტილი; ბ)

გრაფიკები $\tau = f(\gamma^*)$: 1. კესონ-შულმანის ძველი მოდელი; 2. ბაკლი-ჰერშლის ძველი მოდელი; 3. კესონ-შულმანის დაზუსტებული მოდელი; 4. ბაკლი-ჰერშლის დაზუსტებული მოდელი; 5. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ხუთი წერტილი; 6. * - დამატებითი ექვსი წერტილი. გ) ალბათობის ცვლილება ექსპერიმენტის პროცესში

ნახ. 54. ა) გრაფიკები $\tau = f(\gamma^*)$: 1. კესონ-შულმანის მოდელი; 2. კესონ-შულმანის მოდელი; 3. ბაკლი-ჰერშლის მოდელი; 4. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ექვსი წერტილი; ბ) გრაფიკები $\tau = f(\gamma^*)$: 1. კესონ-შულმანის

ძველი მოდელი; 2. კესონ-შულმანის ძველი მოდელი; 3. ბაკლი-ჰერშლის ძველი მოდელი; 4. კესონ-შულმანის დაზუსტებული მოდელი; 5. კესონ-შულმანის დაზუსტებული მოდელი; 6. ბაკლი-ჰერშლის დაზუსტებული მოდელი; 5. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ექვსი წერტილი; 6. * - დამატებითი შვიდი წერტილი. გ) ალბათობის ცვლილება ექსპერიმენტის პროცესში

შესავალი

მაგისტრალური სამილსადენე ტრანსპორტი წარმოადგენს საქართველოს სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის უმნიშვნელოვანეს მდგენელს. ქვეყანაში შექმნილია მაგისტრალური ნავთობსადენების, ნავთობპროდუქტებისა და გაზსადენების განშტოებული ქსელი, რომელიც გადის საქართველოს უმრავლესი სუბიექტის ტერიტორიაზე.

მაგისტრალური სამილსადენე სატრანსპორტო სისტემები წარმოადგენს სახელმწიფო პოლიტიკის რეალიზაციის ეფექტურ ინსტრუმენტს, რომელიც საშუალებას აძლევს სახელმწიფოს დაარეგულიროს გაზის, ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების მიწოდება შიდა და გარე ბაზრებზე.

საქართველოს სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსი წარმოადგენს ქვეყნის ეკონომიკის ყველა დარგის განვითარების საფუძველს, რომლის უმნიშვნელოვანესი მდგენელია გაზის, ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების მაგისტრალური სამილსადენე სატრანსპორტო სისტემები, აგრეთვე ამ პროდუქტების შეგროვების, შენახვისა და მომხმარებლებისთვის განაწილების წარმოებები.

მაგისტრალური მილსადენები - ეს რთული, მაღალდატვირთული საინჟინრო-ტექნიკური ნაგებობებია, რომლებიც მთელი სამუშაო ვადის განმავლობაში განიცდის სიმტკიცისა და მეტალის დენადობის ზღვრულ ნორმატიულ პარამეტრებთან მიახლოებულ მნიშვნელოვან ძაბვებს. ამიტომ სისტემის საპროექტო პირობებთან შედარებით უმნიშვნელო გადახრების დროსაც კი შეიძლება მიიყვანოს ავარიულ მდგომარეობამდე. ეს მდგომარეობა განსაზღვრავს მაგისტრალური მილსადენების ხარისხის კომპლექსური შეფასების მეთოდოლოგიისა და გადაწყვეტილებების მიღების მეთოდიკის დამუშავების აუცილებლობას, რომლებიც უზრუნველყოფს არსებული საპროექტო პოტენციალის მაქსიმალურ შენარჩუნებას ახალი სამილსადენ სისტემების შექმნისას. მშენებლობის

პროცესში დეფექტების აღმოჩენა და აღმოფხვრა ყოველთვის შეუძლებელია, ხოლო გამოცდისა და ექსპლუატაციის პროცესში შეიძლება მივიდეს სერიოზულ, და ზოგჯერ გამოუსწორებელ შედეგებამდე. ამასთან ყველაზე სახიფათო დეფექტებმა შეიძლება გამოიწვიოს ავარიები ექსპლუატაციის პირველ წლებსა და თვეებშიც კი. უფრო მცირე ზომის დეფექტები გაზრდის გამო გამოვლინდება ათეული წლის გავლის შემდეგ. ამიტომ დარგისთვის მნიშვნელოვანია დეფექტების გამოვლენის თავიდან ასაცილებლად და მილსადენების დაზიანების მიზეზებისა და წყაროების გამოსარიცხად წინასწარი გამაფრთხილებელი ღონისძიებების ჩატარება. ამგვარი სტრატეგია მოიტანს მაქსიმალურ ეკონომიკურ ეფექტს მაგისტრალურ მილსადენებში მისი დანერგვის დროს.

სამილსადენე ტრანსპორტს იყენებენ იმ პროდუქტებს ტრანსპორტირებისათვის, რომელთა მიღებაში გადაადგილება ექვემდებარება ტექნოლოგიური პროცესის წარმოებისა და გაგრძელების ფარგლებს. სამილსადენე ტრანსპორტს განეკუთვნება ნავთობბაზური, შიგამოპოვებითი ნავთობის და გაზის პროდუქტსადენები, საქალაქო გაზგამანაწილებელი და ა.შ.

სამილსადენე ტრანსპორტი პროგრესული და ეკონომიკურად სასარგებლო სახეობაა, მისთვის დამახასიათებელია: უნივერსალურობა, ტვირთის დაუკარგაობა ტრანსპორტირების პროცესში რომელიც განსხვავდება სხვა შრომატევადი დასატვირთ-გადმოსატვირთი სამუშაოებისაგან სრული მექანიზაციისა და ატომატიზაციის პრობებშიც კი, ტარის დაბრუნება აუცილებლობისაგან და ა.შ. ამის შედეგად მცირდება ტრანსპორტირების თვითღირებულება (მაგ., თხევადი პროდუქტისათვის 3-ჯერ რკინიგზით გადატანასთან შედარებით). მაგისტრალური მილსადენოვანი ტრანსპორტის შემდგომი განვითარება დაკავშირებულია მიღების დიამეტრის გადიდებასთან, მიღებაში გაზისა და ნავთობის წნევის გაზრდასთან, უფრო მძლავრი საკომპრესორო აგრეგატების გამოყენებასთან

და ა.შ. ტრანსპორტირების ღირებულების შესამცირებლად გამოზრახულია გაზის მიწოდების განხორციელება გაცივებული (თხევადი) სახით.

სამილსადენე ტრანსპორტის ძირითადი ფონდები, ისევე როგორც მთელი ინფრასტრუქტურა ძველდება. ამგვარად, მილსადენების სისტემების ესაფრთხო მუშაობის ვადის გახანგრძლივება წარმოადგენს ნავთობისა და გაზის ტრანსპორტის უმნიშვნელოვანეს ამოცანას. მოქმედი მაგისტრალების მილებშიგა დიაგნოსტიკური გამოკვლევის დახმარებით გაწეული ნავთობსადენების ტექნიკური მდგომარეობის მუდმივი მონიტორინგი აჩვენებს, რომ ყოველწლიურად აუცილებელია ჩატარდეს მრავალი კილომეტრი ნავთობაგაზსადენების დიაგნოსტიკა. ამის გარდა აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ ამჟამად აღმოჩენილია შედუღების ნაკერების დაღლილობითა და დეფექტებით გამოწვეული მილების მრავალი აქამდე გამოუვლენი დეფექტები.

სალი, მყარი კომპრომისი უნდა გამოიძებნოს “ურთიერთობაში” გაზის, ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების სამილსადენე ტრანსპორტის სისტემებსა და ბუნებრივ გარემოს შორის. არც ერთი საინჟინრო ნაგებობა ისე მჭიდროდ არ არის დაკავშირებული გარემოსთან, როგორც სამილსადენე სისტემები. ეს აიხსნება სამილსადენე ტრანსპორტის ფართო გეოგრაფიით, გაზსადენებისა და ნავთობსადენების დიდი სიგრძით, ხაზოვანი ნაწილის მიწისზედა და მიწისქვეშა ადგილმდებარეობით, აგრეთვე სატუმბი და საკომპრესორო სადურების სახვადასხვა ბუნებრივ პირობებში განლაგებით და მილსადენების ჰიდრავლიკურ გაანგარიშებასთან შეთანხმებით.

ყველა ამ ტერიტორიაზე განწერტილებულია ხელოვნურად შექმნილი ნაგებობები, რომლებიც რთულ ურთიერთქმედებაში იმყოფება გარემოსთან. როგორც წესი, სამილსადენე კომპლექსებისა და გარემოს ურთიერთგავლენას გააჩნია ნეგატიური ხასიათი. აქედან ძირითადი ამოცანაა, ერთი მხრივ დავიდეს მინიმუმამდე ტექნოგენური ზემოქმედება მილსადენების მშენებლობისა და ექსპლუატაციის პერიოდში, მეორე მხრივ

- შესუსტდეს ბუნებრივი კომპონენტების უარყოფითი გავლენა მათ საიედოობასა და უსაფრთხოებაზე.

დაგროვილი ცოდნა და გამოცდილება საშუალებას იძლევა წარმატებით გადაწყდეს სამილსადენე ტრანსპორტისა და ბუნებრივი გარემოს ურთიერთზეგავლენის დონის დაწვეისა და შედეგების პრობლემები, მოიძებნოს მათი თანაარსებობის ოპტიმალური კომპრომისი. ამასთან ეს ეხება მოქმედ სისტემებსა და ახალ პროექტებს: ხისტი პროგრესული ნორმატიული ბაზა, გეოტექნიკური სამილსადენე სისტემების ტექნიკური დიაგნოსტიკის თანამედროვე კონცეპცია, მათი დროული რემონტი და რეკონსტრუქცია, ტექნიკური და ეკოლოგიური მონიტორინგი სამილსადენე ტრანსპორტისა საიმედობისა და ეკოლოგიური უსაფრთხოების გაზრდის საშუალებას იძლევა.

მაგისტრალური მილსადენების ობიექტების უმეტესი ნაწილი მსოფლიოში აშენებულია 60-80-ან წლებში, და ამჟამად შეინიშნება შემცვლელი სიმძლავრეების ექსპლუატაციაში შეყვანის ტემპების შემცირების ტენდენცია. მაგისტრალური მილსადენების ობიექტებზე ავარიულობა იმყოფება მაღალ დონეზე. სამილსადენე ტრანსპორტის ადრე შექმნილი ინფრასტრუქტურა გაანგარიშებულია უფრო მძლავრ ეკონომიკაზე. ეკონომიკის ნებისმიერი სექტორის მდგომარეობა სისტემური კანონების შესაბამისად განისაზღვრება მისი შენარჩუნებისადმი მიმართული რესურსებით.

ჩამოყალიბდა აზრი, რომ მილსადენებზე ავარიებით გამოწვეული მასშტაბური ზარალის თავიდან ასაცილებლად და მათი მუშაობის ვადის გასახანგრძლივებლად არსებითი ხარჯების გარეშე შეიძლება მოიძებნოს ექსპლუატაციის სხვადასხვა რეჟიმით მომუშავე სატრანსპორტო კომუნიკაციების მდგომარეობის "ვიზუალური" კონტროლისა და მილების საიმედოობის ცვლილების პროგნოზირების ხერხი. ამ თემის კვლევის ჩარჩოში გაჩენილი პუბლიკაციების დიდი რაოდენობის მიუხედავად, დასმულ კითხვას დადებითი პასუხი ვერ გაეცა.

მილსადენებზე ავარიების ნახევარზე მეტი გარკვეულად დაკავშირებულია მილის ლითონსა და შედუღების ნაკერებში დაგროვილ დაზიანებებთან. ამასთან, ბზარების განვითარება ხდება წარმოქმნის, ზომის ზრდისა და მიკრონაპრალების შერწყმის ხარჯზე მილსადენის ექსპლუატაციის დროს. ამიტომ მილსადენის ექსპლუატაციის ოპტიმალური ვარიანტით ტექნიკური დიაგნოსტიკისა საშუალებების გამოყენებისა და დროული რემონტის ხარჯზე, ზოგიერთი მიზეზით გამოწვეული ავარია შეიძლება გამორიცხულიყო.

გარდა ამისა, გაჩნდა კიდევ ერთი პრობლემა, თუ როგორ გავითვალისწინოთ მილსადენების ზღვრული მდგომარეობის დადგომის დროის შეფასებისას ისეთი მოვლენები, როგორცაა: გადაქაჩვის შეჩერება, იზოლაციის შეცვლა, მილში მუშა წნევის ცვლილება, კათოდური დაცვის მუშაობის შეწყვეტა და ა.შ. ამიტომ შემოთავაზებული მიდგომა სიძნელეებს თავიდან გვაცილებს რთული მოდელების რეალიზაციის დროს, და მოიცავს პარამეტრებს, რომლებიც თავის მხრივ მოდელებისაგან შემდგარ ნაკრებს, რაც შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სტრუქტურულად მსგავსად დამუშავებული მათემატიკური მოდელების პროგრამული რეალიზაციისთვის მოსაყვანად.

საქართველოს ტერიტორიაზე გადის მაგისტრალური ნავთობსადენები ”ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანი”, ”ბაქო-სუფსა”, სამხრეთ კავკასიის მაგისტრალური გაზსადენი ”ბაქო-თბილისი-ერზრუმი”. გარდა ამისა, არსებობს მაგისტრალური გაზსადენების სისტემა (სიგრძით დაახლოებით 2000 კმ), რომელიც ატარებს ბუნებრივ გაზს რუსეთიდან სომხეთში საქართველოს გავლით.

გამოკვლევათა მომავალი მიმართულება საკმაოდ ნათლად ჩანს - მილსადენის ზღვრული მდგომარეობის დადგომის დროის პროგნოზირების ცდომილების შემცირება.

სამუშაოს აქტუალურობა. მილსადენებზე ავარიებს ახასიათებს მნიშვნელოვანი მასშტაბი, გარემოსა და ადამიანებზე უარყოფითი

ზემოქმედების ფორმების მრავალფეროვნება. ეს განპირობებულია მილსადენების გადასატუმბი ნივთიერებების ნაკადის დიდი ინერციულობით გამოხატული სპეციფიკით. ეს ინერციულობა გამოწვეულია სატუმბ და სკომპრესორო სადგურებს შორის დიდი დაშორებით, აგრეთვე მილსადენების რთულ ბუნებრივ-კლიმატურ პირობებიან ტერიტორიებზე განლაგებით.

მაგისტრალური ნავთობგაზსადენების ექსპლუატაციისას ერთ-ერთ აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს სახაზო ნაწილის უსაფრთხო ექსპლუატაციის უზრუნველყოფა, რომელიც წყდება უმთავრესად, სარემონტო-აღდგენითი სამუშაოების დროულად ჩატარების ხარჯზე. კატასტროფებისა და ავარიების გასაფრთხილებელი ადეკვატური ზომების ასარჩევად აუცილებელია მათი გამოვლენის რისკის რაოდენობრივი შეფასების სამეცნიერო-მეთოდური ბაზის ქონა. ამ პრობლემის გადასაწყვეტად მნიშვნელოვანია, რომ გარემოსა და ადამიანების დაცვა ინტეგრირებულ იქნეს მიღებული ინჟინრული გადაწყვეტილებების სფეროში, რომლებიც ეკონომიკურად დასაბუთებლად მინიმიზერებას გაუკეთებს ნეგატიური ზეგავლენების შედეგებს ყველაზე რაციონალური (მცირე დანახარჯიანი) გზებით.

ამ პირობებში ანალიზის მეთოდოლოგიის გამოყენებისა და რისკ-ორიენტირებული მიდგომის გარეშე საწარმოო უსაფრთხოების დასაბუთებისთვის უავარიო ექსპლუატაციის საკვანძო ტექნიკური პრობლემების გადაწყვეტა შეუძლებელია. მაგისტრალური მილსადენების უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად რისკის ანალიზის მეთოდოლოგიის გამოყენება თხოულობს მეცნიერულად დასაბუთებულ, მოცემულ პრობლემატიკასთან ადაპტირებულ ავარიების წარმოქმნის ალბათობის პროგნოზების მეთოდიკების დამუშავებასა და მილსადენების მიერ ტრანსპორტირებული საშიში ნივთიერებების გამოტყორცნების შესაძლო შედეგებს. მაგისტრალურ მილსადენებზე ავარიების რისკის ხარისხის შეფასებისა და გაჟონვების განსაზღვრასთან დაკავშირებული ანგარიშის

დროს გამოიყენება სხვადასხვა მოდელები და მეთოდები. აღნიშნულ მეთოდებს გააჩნიათ თვალსაჩინო ფასეულობა ავარიული გაჟონვების გაანგარიშების დროს. ნავთობგაზსადენებზე ავარიების დროს ეკოლოგიური რისკის შეფასების არსებული მეთოდების შეფასების ანალიზი აჩვენებს, რომ ერთიანი მეთოდიკა, რომელიც განსზღვრავდა რისკისა და ეკოლოგიური ზარალის მაჩვენებლებს, სამწუხაროდ არ არსებობს. მოქმედი მეთოდები დაცალკევებულია და ატარებენ ფრაგმენტულ ხასიათს. ამგვარად, ნავთობსადენებზე ავარიების დროს ეკოლოგიური რისკის შეფასების მეთოდური აპარატის შემუშავება წარმოადგენს ძალზე **აქტუალურ ამოცანას** და გააჩნია დიდი თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა.

ობიექტებისა და გამოკვლევის მეთოდები. გაანგარიშებების არსებული ალგორითმები საშუალებას იძლევა შევაფასოდ მიწისა და წყლის ობიექტების დაზიანებას. ზოგიერთი დებულება საჭიროებს შემდგომი გამოკვლევებს, თეორიულ განზოგადებასა და პრაქტიკულ შემოწმებას. კერძოდ: 1. ავარიების დროს რისკის შეფასების მეთოდები უნდა ითვალისწინებდეს ავარიების რეალიზაციისას წარმოქმნილ ფიზიკურ მოვლენებსა და ეფექტებს; ავარიის სხვადასხვა სცენარის წარმოშობისა და განვითარების სიხშირეს. 2. მეთოდებმა უნდა გადაწყვიტოს ბუნებრივი გარემოსადმი ნავთობსადენების პოტენციური ხიფათის მიყენების რაოდენობრივი შეფასების ამოცანა. ამასთან, რისკის ანალიზისა და ზარალის შეფასების შედეგები უნდა იქცეს ნავთობგაზსადენების სახაზო ნაწილის უბნების “სუსტი ადგილების” განსაზღვრის საფუძვლად, აგრეთვე დასაბუთებული რეკომენდაციების გაცემის საფუძვლად სამილსადენე ტრანსპორტის ობიექტების დაზღვეული დაცვისთვის.

სამუშაოს მიზანი - აგებული მაგისტრალური მილსადენების ხარისხის დონის დიფერენცირებული შეფასებისა და მილსადენის უბნების საიმედობის პარამეტრების ცვლილებათა პროგნოზირების საფუძველზე ავარიების დროს სამშენებლო კონტროლის პროცესში გამოვლენილ არაკრიტიკულ ლოკალურ დეფექტებთან ერთად მაგისტრალური

მილსადენების რისკის და საიმედოობის გაზრდის შესაფასებელი მეცნიერულად დასაბუთებული მეთოდების შექმნა. ამიტომ ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს მაგისტრალური მილსადენების ექსპლუატაციისას საწარმოო უსაფრთხოების გაზრდა მილსადენებზე ავარიების რისკის ანალიზის მეთოდური მიდგომების სრულყოფის საფუძველზე.

დასახული მიზნის მისაღწევად ფორმულირებული იყო შემდეგი მეცნიერული ამოცანა - მაგისტრალურ მილსადენებზე ავარიის დროს რისკის შესაფასებლად დამუშავდეს მეთოდური აპარატი ავარიების რისკის ანალიზის თეორიის შედეგებისა და ავარიების დროს გარემოსა და ადამიანებისთვის მიყენებული ზარალის ანალიზის არსებული მეთოდიკების ანალიზის გამოყენების საფუძველზე.

მოცემული სამეცნიერო **ამოცანის** გადაწყვეტის მსვლელობისას გადაწყვეტილი უნდა იქნეს კერძო კვლევითი ამოცანები, სახელდობრ: 1. შესრულდეს არსებული ნორმატიული დოკუმენტებისა და ნავთობგაზსადენებზე ავარიების დროს გარემოსა და ადამიანებისთვის მიყენებული ზარალის განსაზღვრის მეთოდიკების ანალიზი; 2. დამუშავდეს ნავთობგაზსადენების საწარმო უსაფრთხოების დეკლარაციის დროს პრაქტიკულად გამოსაყენებელი და მილსადენების სახაზო ნაწილის "სუსტი ადგილების" განმსაზღვრელი რისკის შეფასების მოდელები, მეთოდები და მეთოდიკები; 3. დამუშავდეს მილის მდგომარეობის მოდელი, რომელიც ითვალისწინებს მილსადენის მუშაობის რეალურ პირობებს - მაგისტრალური მილსადენის მდგომარეობის კონტროლის მეთოდის საფუძველს და დამუშავდა მილის ექსპლუატაციის ტიპური რეჟიმებისათვის ზღვრული მდგომარეობის დადგომის დროის შეფასების ალგორითმი; 4. შეიქმნას მაგისტრალური ნავთობგაზსადენების მდგომარეობის "ვირტუალური" კონტროლის ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასების მოდელი და დასაბუთდეს ამ მეთოდიკის დანერგვის ეფექტურობა.

ძირითადი შედეგები და **მეცნიერული სიახლე** არის რისკის შეფასების მეთოდური აპარატი, რომელიც საშუალებას იძლევა ნავთობგაზსადენების მიერ გარემოსა და ადამიანებისთვის მიყენებული პოტენციური ხიფათის რაოდენობრივი შეფასების ამოცანა გადაწყვიტოს. დამუშავებულია ნავთობგაზსადენებზე ავარიების დროს ეკოლოგიური რისკის მეთოდები, რომლებიც განსახავებულია არსებულისაგან იმით, რომ მათი რეალიზაციის დროს გათვალისწინებულია ზარალის ყველა მდგენელი. დამუშავებულია მილსადენების სახაზო ნაწილის "სუსტი ადგილების" განსაზღვრელი მეთოდიკა, რომელიც განსახავდება არსებული მეთოდიკებისაგან იმით, რომ "სუსტი ადგილები" განისაზღვრება ეკოლოგიური რისკის ანგარიშის საშუალებით.

სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება: ნატურული და თეორიული კვლევების საფუძველზე დამუშავებულია გაჟონვებისა და ავარიების მოცულობათა განსაზღვრის, ორგანიზებული და არაორგანიზებული გამოფრქვევის პროდუქტების კონცენტრაციების ველების და ბუნების დაცვის ღონისძიებათა მეთოდიკები. შექმნილია მილსადენების სახაზო ნაწილის "ვირტუალური" კონტროლის უზრუნველყოფელი და ავარიული სიტუაციების წინმსწრები მეთოდი, რომელიც დიდი ხარჯების ეკონომიის საშუალებას იძლევა საჯარიმო სანქციების, ნედლეულის დანაკარგების შემცირებისა და მილის შეცვლის ხარჯზე (დაახლოებით \$ 60000 ერთი ავარიის დროს წყალსაცავებში მოხვედრილი ნავთობის თითოეულ ტონაზე). დაგეგმილია მეთოდიკების ასახვა ნორმატიულ დოკუმენტებში. განსაზღვრულია საიმედოობის მახასიათებლები, რომლებიც ქმნიან საინფორმაციო ბაზას სათბობ-ენერგეტიკულ კომპლექსში.

სამუშაოს უტყუარობა: მიღებული შედეგების, დასკვნებისა და რეკომენდაციების უტყუარობა და დასაბუთება უზრუნველყოფილია თანამედროვე მათემატიკური, ეკონომიკური, ალბათობის თეორიის და საიმედოობის თეორიის შემთხვევითი პროცესების მეთოდებისა და

ხერხების, სტანდარტიზებული და აპრობირებული მეთოდური და პროგრამულ-ტექნიკური საშუალებების გამოყენებით, აგრეთვე დამუშავებული მეთოდური აპარატის შესაბამისად შესრულებული გაანგარიშების შედეგების შედარებით რეალურად მომხდარი ავარიების მონაცემებთან.

აპრობაცია: სადისერტაციო სამუშაოს შედეგები მოხსენებულ იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სემინარებზე.

გამოყენების სფეროს შედეგები: დამუშავებულია საქართველოს სათბობ-ენერგეტიკული სექტორის განვითარების სტრატეგიული გეგმისთვის მეცნიერულად დასაბუთებული პროგნოზები და პროგრამის ტექნიკური უზრუნველყოფა, აგრეთვე ზოგიერთი რეკომენდაცია საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიისთვის.

საერთაშორისო კონფერენციები

1. მამმადოვი ა. მაგისტრალურ მილსადენებში დაუმყარებელი მოძრაობის ჰიდრავლიკური წინაღობის კოეფიციენტის დადგენა. II საერთაშორისო კონფერენცია „მექანიკის არაკლასიკური ამოცანები“. საქართველო, ქუთაისი, 6-8 ოქტომბერი, 2012. გვ. 112-116

2. მამმადოვი ა. რეოლოგიური მოდელების კვლევა, ნავთობის ჰიდროდინამიკური პარამეტრების განსაზღვრისათვის. II საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. საქართველო, ქუთაისი, 25-26 მაისი, 2013. გვ. 66-69

გამოქვეყნებული პუბლიკაციები:

1. ნამგალაძე დ., მამმადოვი ა. ნავთობის რეოლოგიური მოდელების კრიტერიუმების დაზუსტების ექსპერიმენტალური მეთოდი. თბილისი, „ენერჯია“. # 4 (64). 2012. გვ. 8-10

2. Намгаладзе Д.П., Маммадов А.Ф. Исследования явление загрязнения продуктом магистральных трубопроводов проложенных в среде с высоким экологическим риск-фактором. Азербайджан, Баку, Вестник Бакинского Университета. Серия Естественных наук, № 1. 2013 г. Сс 150-157

3. Маммадов А.Ф. Некоторые вопросы аварийности магистральных нефтегазопроводов. Тбилиси, „Энергия“, № 1 (69). 2014. Сс 36-39

4. Намгаладзе Д.П., Ломидзе Ю.Б., Маммадов А.Ф. Риски и задачи надежности магистральныъ нефтегазопроводов. Тбилиси, „Технический Университет“. Монография. 2014. с 156

შესავალი

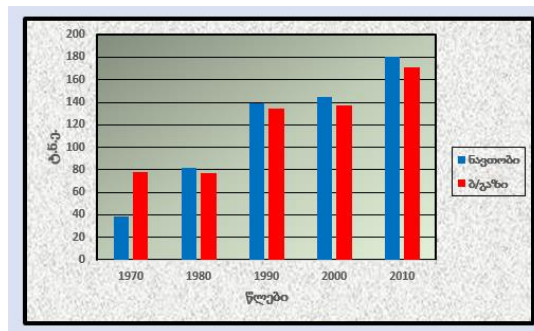
მაგისტრალური ნავთობგაზსადენები მსოფლიოში აგებულ იქნა 1960-1990 წლების პერიოდში. ამჟამად მაგისტრალური გაზსადენების 35% და ყველა ნავთობსადენის 75%-ს გააჩნია 20 წელიწადზე მეტი ექსპლუატაციის ვადები. 20 წელზე მეტი სამუშაო ვადის მქონე გაზსადენები საერთო სიგრძის 43,9%-ს, და ამოწურული ნორმატიული სამუშაო ვადის 20,2% შეადგენს. ექსპლუატაციის უფრო მეტი ვადა აქვთ მაგისტრალურ ნავთობსადენებს. სიგრძის 73%-ს 20 წელზე მეტი და 40,65%-ს ნორმატიულ ვადაზე ზემოთ - 33 წელი. ნავთობსადენების სიგრძის 34%-ზე მეტი აგებულია 30 წლის წინ. მაგისტრალური მილსადენები ექსპლუატაციას გადის არახელსაყრელ ბუნებრივ-კლიმატურ პირობებში. ეს გარემოება მილების მდგომარეობის დიაგნოსტიკის ჩატარებას ართულებს. “შიგამილოვანი ჭურვებით” ხშირი დიაგნოსტიკა წარმოადგენს ძვირადღირებულ პროცედურას, მაგისტრალურ გაზსადენებს 60% არ არის მიმარჯვებული მილისშიგა დიაგნოსტიკის ჩასატარებლად. მილსადენებზე ავარიებს ახასიათებს მნიშვნელოვანი მასშტაბი, ბუნებაზე უარყოფითი ზემოქმედების ფორმების მრავალფეროვნება. ეს განპირობებულია მილსადენების სპეციფიკით, რომლებისთვისაც დამახასიათებელია გადასაქაჩ ნივთიერებათა ნაკადის დიდი ინერციულობა. ეს უკანასკნელი გამოწვეულია სატუმბ სადგურებს შორის დიდი მანძილით და რთული ბუნებრივ-კლიმატური პირობების მქონე ტერიტორიებზე მილსადენების განლაგებით.

მაგისტრალური მილსადენების ლიტერატურული მიმოხილვა და ექსპლუატაციის ანალიზი, საქართველოს ტრანზიტული მაგისტრალური ნავთობგაზსადენების მაგალითზე

1965 წელს პლანეტაზე მოპოვებული იყო 1,56 მლრდ. ტონა ნავთობი წელიწადში, ხოლო 2010-ში უკვე 3,91 მლრდ. ტონა. ნახევარი საუკუნის

ადრე, ნავთობის მხოლოდ 24% მოიხმარებდნენ იმ ქვეყნების გარე, რომლებშიც იგი მოიპოვება, ხოლო ნავთობის საერთაშორისო ტრანსაქციები არ ელამატება \$5,5 მლრდ.[1,2,3].

დღეისათვის, ნედლი ნავთობი წარმოადგენს მნიშვნელოვან საბირჟო საქონელს, ხოლო ტრანსსაზღვართული ვაჭრობის მასშტაბები აღწევენ \$1,3 ტრლნ. თუმცა, ბევრი ექსპერტი საუბრობს ნავთობის რეზერვების გარდაუვალი ამოწურვის შესახებ - პერიოდში 1980-დან და 2010-მდე დამტკიცებული მარაგები გაიზრდა ორჯერ. ამავე დროს ნათლად ჩანს ნავთობის მოხმარების შემცირების ტემპი: 1970 წლებში მან შექმნა 24%, ხოლო 1990-ს - უკვე 13,4%, და 2005-2010-წწ-ში - მხოლოდ 2,9%. ყველაზე განვითარებულ ქვეყნებში, უკანასკნელ დროში, ნავთობის მოხმარება მცირდება. მაგალითად, დიდ ბრიტანეთში 1993-დან 2010-მდე იგი 11,4%, გერმანიაში-16,3%, იტალიაში-18,9%. დამატებითი ენერგო რესურსებისათვის, ნავთობის გარდა ემტება გაზი: 1990-დან 2010-მდე, მისი მოხმარების მსოფლიო მოცულობა იზრდებოდა უფრო სწრაფად, ვიდრე ნავთობის მოხმარება (ნახ. 1).



ნახ. 1. დამტკიცებული მსოფლიო ნავთობის და ბუნებრივი გაზის დინამიკა, მლრდ. ტ.ნ.ე.

ბუნებრივი გაზის დამტკიცებული მსოფლიო მარაგების ზრდის ტემპი, თითქმის ორჯერ ასწრეფს ნავთობის მარაგების ზრდის ტემპს. თუ 1970-მდე, ნავთობისა და ბუნებრივი გაზის დამტკიცებული მსოფლიო მარაგების დამტკიცებული მსოფლიო მარაგების თანაფარდობა, ნავთობის ექვივალენტის გადაანგარიშებით, შეადგენს დაახლოებით 70:30, 1990 წ-ს

შეიცვალა როგორც 55:45, ხოლო 2010 წელს პრაქტიკულად გაუტოლდა 50:50. ამავე დროს კარგად ცნობილია, რომ ნავთობის ფასი 2000 წლებში იზრდებოდა ისტორიაში ყველაზე სწრაფი ტემპით. ფასების მიხედვით 2010 წელს, ზრდა 1998-დან 2011-მდე, კომპანია BP-თვის შეადგინა, 5,5 (\$17,01-დან \$94,12 -მდე ბარელში).

\$100 ფასი ბარელისათვის, წელიწადში მსოფლიოში ნავთობის მოხმარება შეფასებულია \$3,14 ტრლნ., ან გლობალური მთლიანი შიდა პროდუქტის 4,9%, როდესაც 1981 წელს იგივე ფასისათვის შეფასება იყო 8,7%. ამიტომ ფასის ზრდა \$50-დან \$100-მდე ბარელისათვის, საჭირო გახდა ოთხი წელიწადი და დასჭირდა მსოფლიო ეკონომიკის მთლიანი შიდა პროდუქტის 0,6%.

დღეისათვის, გაზი, ნავთობი და ნავთობპროდუქტები უზრუნველყოფენ ექსპორტის 62%-ს, ხოლო ბიუჯეტის შემოსავლები წარმოადგენს 47.3%-ს. ექსპორტის ძირითადი მიმართულებაა - ევროპული ბაზარი. ნავთობის გაყიდვა ხორციელდება ბაზრის პირობებში, ხოლო გაზი - მიბმულია საშუალო მცოცავი ნავთობის ფასების მიხედვით.

აშშ-ში შექმნილია გაზის მოპოვება ფიქალის ქანებიდან და მოხდა გაზის იმპორტის შეწყვეტა, რაც პერსპექტივშია სრული ენერგეტიკული დამოუკიდებლობა დანარჩენ მსოფლიოში. გაზის გათხევადების იაფი ტექნოლოგია უზრუნველყოფს ევროკავშირის მოხმარების გაზრდას, სპარსეთის ყურის რეგიონიდან 7- ჯერ ბოლო 12 წლის განმავლობაში. პროდუქტის მოხმარების 20-30%-ის შემცირება გლობალური მასშტაბში, ერთად ეფექტური ტექნოლოგიების უფრო დანერგვა, მოხსნის პრობლემას 60-70 წლის განმავლობაში. ენერგომოხმარება XXI საუკუნეში გახდება არა პოსტ-ნავთობისა, არამედ დივერსიფიცირებულს.

რუსეთი აგებს შეჯიბრსს მოპოვების მოცულობას: 1988 წელს, რუსეთის ფედერაციაში მოხდა 658,8 მლნ ტონა ნავთობის წარმოება, ხოლო 2010 წელს - 505 მლნ ტონა, ან 23%-ით ნაკლები (მოყვანილი სტატისტიკა მოცემულია BP Statistical Review of World Energy 2011-ს მიხედვით).

ევროკავშირი უფრო მნიშვნელოვნად ამცირებს ნავთობის მოხმარებას და გადადის ალტერნატიული ენერჯის წყაროებზე. ამავე დროს, ყველაზე პერსპექტიული მოხმარებლები - განსაკუთრებით ჩინეთი - ირჩევს ახალს მოდელს, რომლითაც ხდება განვითარებადი ქვეყნების ბაზრების დანერგვა, ნავთობის საბადოების მოძიება და ნედლეულის გაყიდვა არსებითად მცირე ფასებად. აღსანიშნავია, რომ ამ დღეისათვის, რუსეთის ფედერაციას გააჩნია უზარმაზარი შიგა მოხმარება. 1997 წელს, რუსეთის მოხმარება იმდენს ნავთობს, როგორც გერმანიაში. ახლა გერმანელებმა შეამცირეს მოხმარება 15,5%-ით, ხოლო რუსეთმა გაზარდა 12%-ით. ამგვარად, 2011 წელს რუსეთმა დაწვა გაზის მეტი, ვიდრე იაპონია, გერმანია, ბრაზილია, საფრანგეთი, დიდი ბრიტანეთი და იტალია ერთად.

ნავთობის აღმოჩენა ხდება გაზისებრი ნახშირწყალბადები ნიადაგის სიღრმეში ათეული მეტრებიდან, 5-6 კმ-მდე. თუმცა, 4,5-5 კმ-ზე უმეტეს სიღრმეში, დომინირებს გაზის და გაზის კონდენსატის საბადოები უმნიშვნელო მსუბუქ ფრაქციით. ნავთობის საბადოების მდებარეობის მაქსიმალურ სიღრმეზე, არის 1-3 კმ. ნავთობი წარმოადგენს ღია ყავისფერიდან, მუქი ფერის სითხეს. ნავთობის ფიზიკური თვისებები მოყვანილია ცხრილ 1-ში.

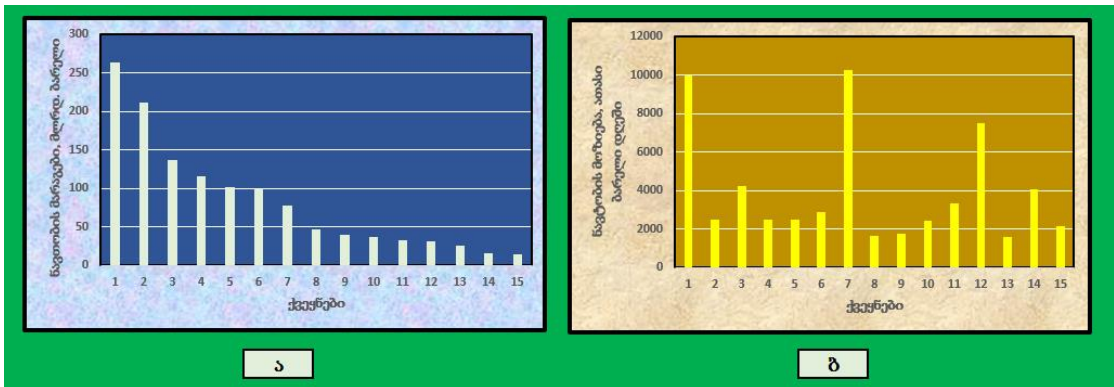
ნავთობი - სწრაფად აალებადი სითხეა; აფეთქების ტემპერატურის დიაპაზონია: $-35^{\circ} \div +121^{\circ}\text{C}$ (იგი დამოკიდებულია ფრაქციულ შემადგენლობაზე და მათში გახსნილი აირების არსებობა). ნავთობი იხსნება ორგანულ გამხსნელებში, მაგრამ ჩვეულებრივ პირობებში არ იხსნება წყალში, ხოლო შესაძლოა შექმნას მდგრადი ემულსიები. ნავთობი წარმოადგენს არაგანახლებულ რესურს. დაზვერული ნავთობის მარაგები წარმოადგენს (2007 წ) 210 მლრდ.ტონას (1200 მლრდ ბარელი), დაუზვერული ფასდება დაახლოებით $52 \div 260$ მლრდ. ტონას ($300 \div 1500$ მლრდ. ბარელი). 1973 წლის დასაწყისიდან დაზვერული ნავთობის მარაგები შეფასებულია 1000 მლრდ. ტონა (570 მლრდ. ტონა). ამგვარად, წარსულში დაზვერული მარაგები იზრდებოდა (ასევე იზრდება ნავთობის

მოხმარება - ბოლო 35 წლის განმავლობაში ის გაიზარდა 20-დან, 30 მლრდ. ბარელამდე). ნავთობის მსოფლიო მოძიება 2008 წ-ს შეადგინა 3,8 მლრდ. ტონა წელიწადში. ე.ი., არსებული მოხმარების ტემპით, დაზვერული ნავთობი დაახლოებით შეადგენს 40 წელს (ცხრილი 2, ნახ. 2).

ცხრილი 1

ნავთობის ფიზიკური თვისებები

| | |
|----------------------------------|---|
| საშუალო მოლეკულური მასა (გ/მო;ი) | 450 ÷ 470 |
| სიმკვრივე, გ/სმ ³ | 0,65 ÷ 1,05 (როგორც წესი 0,82 ÷ 0,95) მსუბუქი ნავთობი < 0,83 მძიმე ნავთობი > 0,86 |
| კრისტალიზაციის ტემპერატურა, °C | -60 ÷ +30 |
| სიმკვრივე, მმ ² /წმ | 1,98 ÷ 265,9 |
| კუთრი სითბოტევადობა, კჯ | 1,7 ÷ 2,1 |
| წვის კუთრი სითბო, მჯ/კგ | 43,7 ÷ 47,6 |
| აფეთქების ტემპერატურა, °C | -35 ÷ +121 |



ნახ. 2. ა) ქვეყნები მსხვილი ნავთობის მარაგებით (მლრდ. ბარელი); ბ) ქვეყნები მსხვილი ნავთობის მოძიება (10³) ბარელი დღეში (ქვეყნების რანჟირება ცხრილი 1-ის მიხედვით)

ცხრილი 2

ქვეყნები მსხვილი ნავთობის მარაგები (BP Statistical review of world energy 2011-ის მიხედვით)

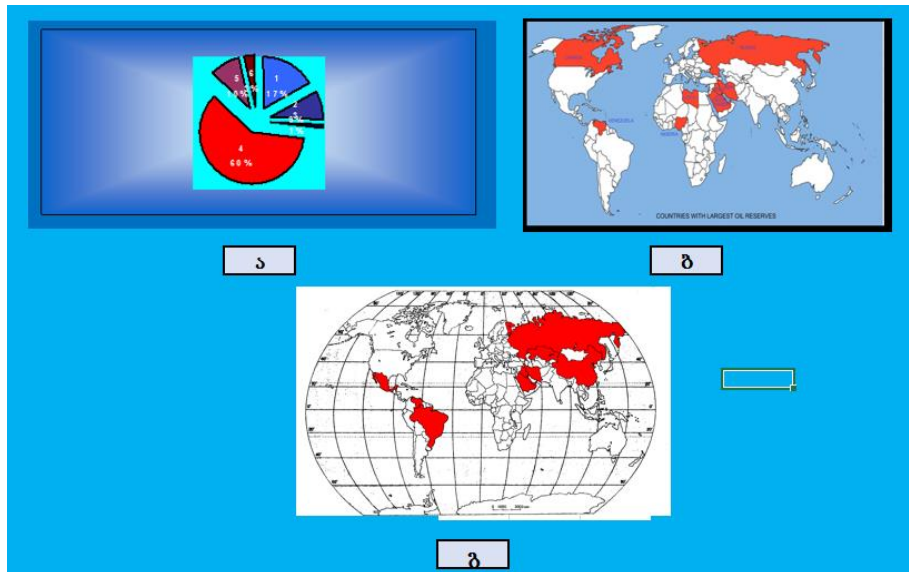
| ქვეყანა | მარაგები | მსოფლიო მარაგები %-დან | მოძიება | რესურსის ამოწურვა, წელი |
|----------------|----------|------------------------|---------|-------------------------|
| საუდის არაბეთი | 264,5 | 19,1 | 10007 | 72 |
| ვენესუელა | 211,2 | 15,3 | 2471 | 234 |
| ირანი | 137,0 | 9,9 | 4245 | 88 |

| | | | | |
|------------------------------|--------|-------|-------|-----|
| ერაყი | 115,0 | 8,3 | 2460 | 128 |
| კუვეიტი | 101,5 | 7,3 | 2508 | 111 |
| გაერთ. არაბეთის ემირატები | 97,8 | 7,1 | 2849 | 94 |
| რუსეთი | 77,4 | 5,6 | 10270 | 21 |
| ლივია | 46,4 | 3,4 | 1659 | 77 |
| ყაზახეთი | 39,8 | 2,9 | 1757 | 62 |
| ნიგერია | 37,2 | 2,7 | 2402 | 42 |
| კანადა | 32,1 | 2,3 | 3336 | 26 |
| აშშ | 30,9 | 2,2 | 7513 | 11 |
| ყატარი | 25,9 | 1,9 | 1569 | 45 |
| ჩინეთი | 14,8 | 1,1 | 4071 | 10 |
| ბრაზილია | 14,2 | 1,0 | 2137 | 18 |
| ОПЭК-ის წევრები | 1068,4 | 77,2 | 34324 | 85 |
| მთელი მსოფლიო | 1383,2 | 100,0 | 82095 | 46 |

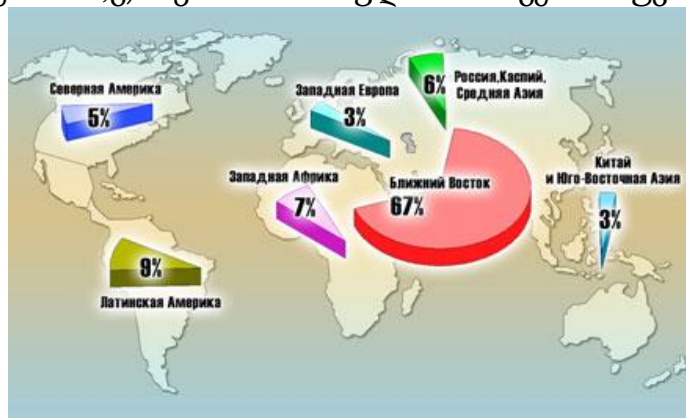
ნახ. 3,ა-ზე ნაჩვენებია ნავთობის მსოფლიო რეზერვები რეგიონების მიხედვით, ხოლო ნახ. 3,ბ და გ-ზე ნაჩვენებია ნავთობის მსოფლიო მარაგების სტატისტიკური რუკა (აგრეთვე ნახ. 4).

2009 წელს, პირველად აშშ-მა გაასწრო რუსეთს არა მიღებული გაზის მოცულობა (624 მლრდ. მ³, წინააღმდეგ 582,3 მლრდ. მ³), არამედ მიღებული სასაქონლო გაზი, ე.ი. გაზი რომელიც იყიდება კონტრაგენტებისათვის. ეს იხსნება აშშ-ში ფიქალის გაზის მოპოვების ზრდით, მოხმარების შემცირებას ევროპაში და მსოფლიო კრიზისთან დაკავშირებული.

2010 წელს, კომპანია Enerdata-მ, გამოაქვეყნა სტატისტიკური ყოველწლიური „გლობალური ენერგეტიკა 2011“, რომლის თანახმად რუსეთმა დაიბრუნა ლიდერობა მოპოვებული ბუნებრივი გაზის შესახებ. კერძოდ მოპოვება გაიზარდა 647 მლრდ. მ³. აშშ-მ კი პირიქით, შეამცირა 619 მლრდ. მ³-მდე. ანალოგიური ყოველწლიური „გლობალური ენერგეტიკა 2012“-ის მიხედვით, რუსეთმა კვლავ დაკარგა ლიდერობა და მიიღო 654 მლრდ. მ³. აშშ-მ გაზარდა 661 მლრდ. მ³-მდე, კანადამ -161 მლრდ. მ³, ირანმა - 152 მლრდ. მ³, ყატარმა - 150 მლრდ. მ³, ნორვეგიამ - 105 მლრდ. მ³, ჩინეთმა - 101 მლრდ. მ³.



ნახ. 3. ა) მსოფლიო რეზერვები რეგიონების მიხედვით: 1. ჩრდილო ამერიკა; 2. ცენტრალური სამხრეთი ამერიკა; 3. ევროპა; 4. შუა დასავლეთი; 5. აფრიკა; 6. აზია და ოკეანია. ბ,გ) ნავთობის მსოფლიო მარაგების რუკა



ნახ. 4. ნავთობის მსოფლიო მარაგების სტატისტიკური რუკა

საერთოშორისო ენერგეტიკული სააგენტოს შეფასება, ბუნებრივი გაზის მოპოვების 2011 წელს შესახებ ტოლია: რუსეთი - 677,0 მლრდ. მ³, აშშ - 651,0 მლრდ. მ³, კანადა- 160,0 მლრდ. მ³, ყატარი - 151,0 მლრდ. მ³, ირანი - 149,0 მლრდ. მ³, ნორვეგია - 106,0 მლრდ. მ³, ჩინეთი - 103,0 მლრდ. მ³. 2012 წელს, რუსეთის სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის ცენტრალური სადისპეჩერო სამმართველოს შესაბამისად, გაზის მოპოვება რუსეთში შეადგინა 678,5 მლრდ. მ³. რუსეთის ენერგეტიკის სამინისტროს მიხედვით, 2013 წელს ბუნებრივი გაზი შემცირდა 2,2%-მდე და შეადგინა 655,067 მლრდ. მ³.

ნახ. 5ა-ზე, ნაჩვენებია ბუნებრივი გაზის მოპოვება მსოფლიოს ქვეყნებში (ქვეყნების რანჟირება ცხრილი 3). გაზის დაზვერული მარაგები - არის გაზის სრული მოცულობის მარაგი გარკვეული ტერიტორიაზე, რომელიც დამტკიცებულია თანამედროვე გეოლოგიური ტექნოლოგიით (ცხრილი 4).

ცხრილი 3

ბუნებრივი გაზის მოპოვება მსოფლიო ქვეყნების მიხედვით 2012 წელს

| ქვეყანა | ბუნებრივი გაზის მოპოვება, მლრდ. მ ³ | ქვეყანა | ბუნებრივი გაზის მოპოვება, მლრდ. მ ³ |
|---------------------------|--|---------------------|--|
| რუსეთი | 677,0 | ტრინიდადი და ტობაგო | 40,7 |
| აშშ | 651,0 | ნიგერია | 39,9 |
| კანადა | 160,0 | პაკისტანი | 39,2 |
| ყატარი | 151,0 | არგენტინა | 38,8 |
| ირანი | 149,0 | ტაილანდი | 37,0 |
| ნორვეგია | 106,0 | ვენესუელა | 31,2 |
| ჩინეთი | 103,0 | ომანი | 26,5 |
| საუდის არაბეთი | 92,0 | ბანგლადეში | 19,9 |
| ინდონეზია | 92,0 | ყაზახეთი | 19,3 |
| ნიდერლანდები | 81,0 | უკრაინა | 18,2 |
| ალჟირი | 78,0 | ბრაზილია | 16,7 |
| მალიზია | 61,8 | ბოლივია | 15,4 |
| ევვიპტე | 61,3 | აზარბეიჯანი | 14,8 |
| თურქმენეთი | 59,5 | ბაჰრეინი | 13,0 |
| უზბეკეთი | 57,0 | კუვეიტი | 13,0 |
| მექსიკა | 52,5 | ბრუნეინი | 12,8 |
| გაერთ. არაბეთის ემირატები | 51,7 | მიანმა | 12,4 |
| ინდოეთი | 46,1 | პერუ | 11,4 |
| დიდი ბრიტანეთი | 45,2 | კოლუმბია | 11,0 |
| ავსტრალია | 45,0 | რუმინეთი | 11,0 |

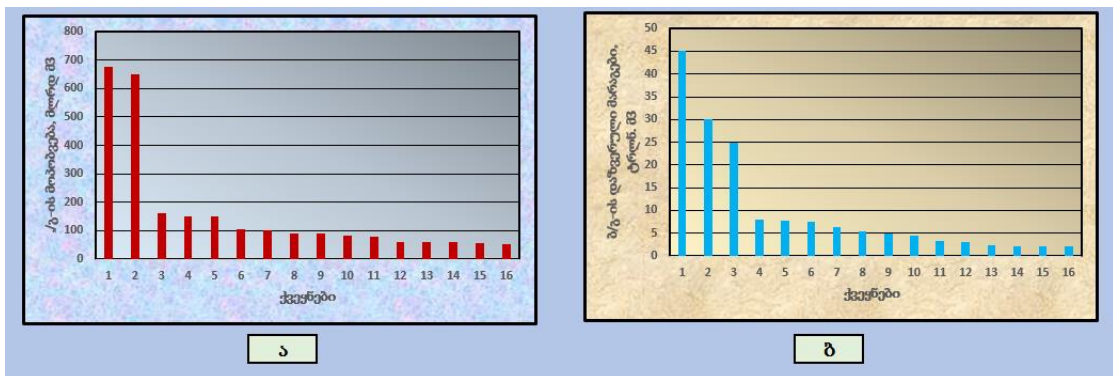
ცხრილი 4

ბუნებრივი გაზის დაზვერული მარაგები მსოფლიო ქვეყნების მიხედვით 2012 წელს

| ქვეყანა | დაზვერული მარაგები, ტრლნ. მ ³ |
|---------|--|
| რუსეთი | 44,8 |

| | |
|---------------------------|-------|
| ირანი | 29,61 |
| ყატარი | 25,37 |
| საუდის არაბეთი | 7,807 |
| აშშ | 7,716 |
| თურქმენეთი | 7,504 |
| გაერთ. არაბეთის ემირატები | 6,453 |
| ნიგერია | 5,292 |
| ვენესუელა | 5,065 |
| ალჟირი | 4,502 |
| ერაყი | 3,17 |
| ავსტრალია | 3,115 |
| ინდონეზია | 3,001 |
| ყაზახეთი | 2,407 |
| მალაიზია | 2,4 |
| ევროკავსირი | 2,211 |
| ეგვიპტე | 2,186 |
| ნორვეგია | 2,039 |
| უზბეკეთი | 1,841 |
| კუვეიტი | 1,798 |

ნახ. 5ბ-ზე ნაჩვენებია ბუნებრივი გაზის დაზვერული მარაგები მსოფლიო ქვეყნების მიხედვით 2012 წელს, ხოლო ნახ. 6-ზე - გაზის მსოფლიო მარაგების რუკა.



ნახ. 6. მსოფლიო გაზის მარაგების რუკა

ჯერ კიდევ 1878 წელს აფშერონის ნახევარ კუნძულზე, ექსპლუატაციაში შევიდა პირველი ნავთობსადანი, რომლის სიგრძეა 10 კმ, ხოლო პროექტი შემუშავებული იყო ვ.გ. შუხოვის მიერ [4].

ნავთობსადენი ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის მიზანია კასპიის ნავთობის ტრანსპორტირება თურქული პორტი ჯეიჰანში რომელიც მდებარეობს შუახმელეთის ზღვის ნაპირზე. ნავთობსადენის ოფიციალური გახსნა მოხდა 2006 წ 13 ივლისს ჯეიჰანში. გეოპოლიტიკური თვალთა ხედვით, ნავთობსადენის მშენებლობის მთავარი მიზანია მოხდეს რუსეთისგან დამოუკიდებლად ნავთობის ტრანსპორტირება აზერბაიჯანიდან (და მომავალში ყაზახეთიდან) მსოფლიო ბაზრებზე. პროექტის ფინანსირებას ლობირებდა აშშ და დიდი ბრიტანეთი, რომლის მიზანია ენერგო მატარებლების ექსპორტის მარშრუტების დივერსიფიკაცია და მსოფლიო ენერგო ბაზრების სტაბილიზაცია.

ეს არის პირველი მაგისტრალური მილსადენი დსთ-ში, რომელიც გატარებულია რუსეთის გვერდის ავლით და აშშ და დიდი ბრიტანეთის უშუალო მონაწილეობით. არსებითად შეიცვალა გეოპოლიტიკური სიტუაცია, რომელიც მოიცავს შუა აზიას, კავკასიას და კასპიური ზღვის აქვატორია. არსებული ნავთობსადენი ბაქო-ნოვოროსიისკით და მნიშვნელოვანი მოცულობები, უკვე სრულად კი არ მოხდება, რაც გამოიწვევს რეგიონში შემცირებას. აშშ კი მიიღებს არა მხოლოდ ალტერნატიურ გზას სპარსეთის ყურეში და გააფართოებს მის გავლენას.

პროექტირებადი მაგისტრალური გაზსადენი „ნაბუკო“, რომლის სიგრძეა 3,3 ათასი კმ, თურქმენეთიდან და აზერბაიჯანიდან საქართველოს ტრანზიტით, ევროკავშირია ქვეყნებში, ძირითადად ავსტრიაში და გერმანიაში. საპროექტო სიმძლავრე - 26-32 მლრდ. მ³. პროექტის მომზადება ხორციელდება 2002 წლიდან. სავარაუდო ღირებულება - პროექტის € 7,9 მლრდ. დღეისათვის, ეს პროექტი შეჩერებულია, თუმცა იმედია რომ შესაძლო მოხდეს ამ პროექტის რეაბილიტაცია.

ნავთობსადენი ბაქო-სუფსა გაშვებულია ექსპლუატაციაში 1999 წლის 17 აპრილს. საბადოა აზერი-ჩირაგ-გიუნშელი, რომელიც შემუშავებულია ახალი პროექტით. ნავთობსადენი ბაქო-სუფსას დანიშნულებაა ნავთის ტრანსპორტირება საბადო ჩირაგისგან, ჩარჩოებით ხელშეკრულებით პროდუქციის წილობრივი განაწილების შესახებ, რომელსაც ხელი მოეწერა 20 სექტემბერი 1994 წლის სოკარ და ჯგუფის უცხოური კომპანიების, რომელსაც BP-ს, ГНКАР-ს და საერთაშორისო ჯგუფებს შორის.

განვიხილოთ ნავთობსადენი ბაქო-სუფსა (ექსპორტული მილსადენი - დასავლეთის მარშრუტი) - ცხრილი 5 [1]. ნავთობსადენი ბაქო-სუფსა ექსპლუატაციაში გაშვებულია 1999 წელს, იგი იწყება აზერბაიჯანის საბადო აზერიჩირაგ-გიუნშელიდან, შავი ზღვის საქართველოს ნაპირზე ქ. სუფსა.

ცხრილი 5

ნავთობსადენი ბაქო-სუფსას ტექნიკური პარამეტრები

| საერთო სიგრძე (კმ) | საქართველოს უბნის სიგრძე (კმ) | დიამეტრი (მმ) | ფაქტიური გამტარიანობა (მლნ.ტონა/წელი) | ფაქტიური დატვირთვა 2011წ.(მლნ. ტონა/წელი) | ფაქტიური რეზერვი (მლნ. ტონა/წელი) |
|--------------------|-------------------------------|---------------|---------------------------------------|---|-----------------------------------|
| 833 | 375 | 531 | 7.6 | 3,9 | 3,7 |

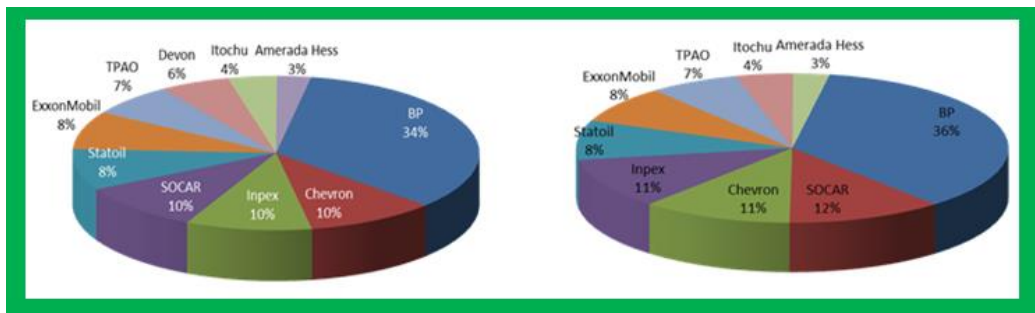
ბაქო-სუფსა ნავთობსადენი იწყება ტერმინალიდან სანგაჩალადან - სუფსას ტერმინალამდე, საქართველოს შავი ზღვის ნაპირზე (მათ შორის ნავთობ ჩამომსხმელი პლატფორმა შავ ზღვაში) და შეადგენს 831 კმ-ს. საქართველოს ნავთობსადენის უბანი დიამეტრით 530 მმ, შეადგენს 376 კმ-ს (გამტარუნარიანობა დაახლოებით 6 მლნ. ტონა, ე.ი. 45 მლნ. ბარელი, რაც შეესაბამება 155000 ბარელს დღეში. ნავთობსადენის ინფრასტრუქტურაში შედის: ხმელეთის ტერმინალი სუფსა, წნევის შემცირების ორი სადგური და სამი სატუმბი სადგური, 28 ჩამკეტი და 5 მარეგულირებელი სარქველი (სულ 33 სარქველი), მცურავი პლატფორმა, გამტარუნარიანობა 5 მლნ. ტონა ნედლი ნავთობი წელიწადში. ნავთობსადენის ტექნიკური ოპერატორი - კომპანია “BP-Georgia”.

კონსორციუმის წევრები შემდეგია: “AMOKO Caspian CP Limited”, “BP Exporation (Caspian C) Limited”, “Delta Nimyr Hazar Limitrd”, Den Norske Stats

Oleselscap A.C.”, “Exon Azerbaijan Limited”, “Loocoil”, “McDermott Azerbaijan, Inc.”, “Remko Hazar Enrgy limited”, “Turcy petroler A.O.”, “Unical Hazar”.

დასავლეთი მარშრუტის საექსპორტული მილსადენი (WREP), 2007-2008 წწ-ში იყო დახურული სარემონტო და აღდგენის სამუშაოების შედეგად. WREP და ACG-ში კაპიტალის წილები შემდეგია (ნახ. 7).

სამხრეთ-კავკასიური მილსადენი (ბაქო-თბილისი-ერზერუმი) (SCP), განკუთვნილია ბუნებრივი გაზის ტრანსპორტირების გაზის საბადო კასპიის ზღვში "შაჰ-დენიზიდან" (აზერბაიჯანი საქართველოს გავლით თურქეთში. მაგისტრალური გაზსადენის საერთო სიგრძე ბაქოდან - თურქეთის ქალაქამდე ერზერუმდე - 690 კმ, რომელთა შორის საქართველოს ტერიტორიის უზანია 245 კმ. სამხრეთ-კავკასიური გაზსადენის ქართულ უბანზე დამონტაჟებული 6 ჩამკეტი სარქველი. გაზსადენის დიამეტრი 1070 მმ, ხოლო მილსადენსი მინიმალური საპროექტოს წნევაა 95 ბარი [5].



ნახ. 7. SCP – სამხრეთ-კავკასიური მილსადენი (ან BTE - მილსადენი ბაქო-თბილისი-ერზერუმი)

ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანი მაგისტრალური ნავთობსადენი განკუთვნილია კასპიის ნავთობის ტრანსპორტირება თურქეთის პორტ ჯეიჰანამდე, ხმელთაშუა ზღვასთან ნაპირზე და გაიხსნა 2006 წ 13 ივლისს ჯეიჰანში. აქვე მოხდა ნავთობის პირველი გადაქაჩვა და გავიდა გამტარუნარიანობაზე 1,2 მლნ. ბარელი წელიწადში. 2008 წლის 5 აგვისტოს, დასახლებაში რეფაიაში (პროვინცია ეზინჯანი) მოხდა მილსადენის აფეთქების და მძლავრი ხანძარი. მოხდა ნავთობის გაჩერება და აღსდგა მხოლოდ 25 აგვისტოში.

2013 წლის ნავთობსადენის განმავლობაში მოხდა ნავთობის 32,224 მლნ. ტონა ექსპორტი (მათ შორის 2,6 მლნ. ტონა შევიდა თურქმენეთიდან) [1], ხოლო 2014 წელს ეს მაჩვენებელი დაეცა 29,671 მლნ. ტონამდე [5] (მათ შორის 3,07 მლნ. ტონა თურქმენეთიდან).

განვიხილოთ სამხრეთ-კავკასიის ნავთობსადენის ტექნიკური პარამეტრები (ცხრილი 6). ამ ნავთობსადენის მშენებლობას ახორციელებდა კონსორციუმი, რომლის შემადგენლობაში შედის შემდეგი კომპანიები [4,5,6]: “BP” (25.5%), “Statoil” (25.5%), "SOCAR Commercial Affiliate" (SCA) (10%), “Total Fina Elf” (10%), LUKAgip (10%), NaftIran Intertrade Co.Ltd. (NICO) (10%) da TPOC (9%).

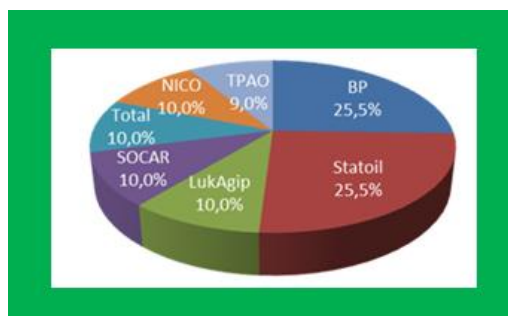
ცხრილი 6

სამხრეთ-კავკასიური ნავთობსადენის ტექნიკური პარამეტრები

| საერთო სიგრძე (კმ) | საქართველოს უბნის სიგრძე (კმ) | დიამეტრი (მმ) | პროექტული გამტარიანობა (მლნ.ტონა/წელი) | ფაქტიური დატვირთვა 2011წ. (მლნ.ტონა/წელი) | ფაქტიური რეზერვი (მლნ.ტონა/წელი) | შეთანხმებული გამტარიანობა (მლნ.ტონა/წელი) |
|--------------------|-------------------------------|---------------|--|---|----------------------------------|---|
| 1380 | 248 | 1020 | 20 | 3,7 | 16,3 | 30 |

სამხრეთ-კავკასიური მაგისტრალური ნავთობსადენის მაქსიმალური გამტარიანობა შეადგენს 30 მლნ. ტონას წელიწადში. სადაბო „შაჰ-დენიზის“ II ეტაპის განვითარება დაგეგმილია 2017 წელს.

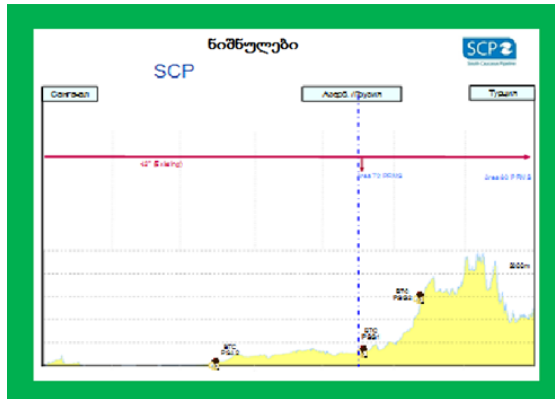
სამხრეთ-კავკასიური მაგისტრალური ნავთობსადენის (SCP) აქციონერების შემადგენლობა ნაჩვენებია ნახ. 8-ზე. ნახ. 9-ზე ნაჩვენებია სამხრეთ-კავკასიური ნავთობსადენის სქემა, ხოლო ცხრილ 7-ში - ნავთობსადენის პარამეტრები [7,8]:



ნახ. 8. სამხრეთ-კავკასიური ნავთობსადენის აქციონერების შემადგენლობა

ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანი ნავთობსადენის ტექნიკური პარამეტრები

| საერთო სიგრძე (კმ) | საქართველოს უბნის სიგრძე (კმ) | დიამეტრი (მმ) | პროექტული გამტარიანობა (მლნ.ტონა/წელი) | ფაქტიური დატვირთვა 2011წ. (მლნ.ტონა/წელი) | ფაქტიური რეზერვი (მლნ.ტონა/წელი) | პერსპექტიული გამტარიანობა (მლნ.ტონა/წელი) |
|--------------------|-------------------------------|---------------|--|---|----------------------------------|---|
| 1773 | 235 | 1050/ 1150 | 60 | 34,6 | 25,4 | 80 |

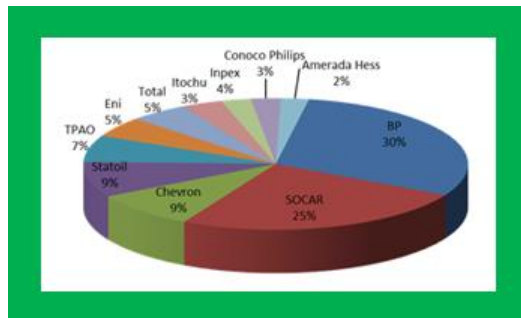


ნახ. 9. სამხრეთ-კავკასიური მილსადენის სქემა

ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანი მაგისტრალური ნავთობსადენის პროექტს რეალიზაციას აკეთებს კონსორციუმი, რომლის ძირითადი წილს (30.1%) გააჩნია “BP”-ს. კონსორციუმის სხვა პორტნიორები შემდეგია: „აზერბაიჯანური საერთაშორისო ნავთობის კორპორაცია“ (25%), "Amerada Hess" (აშშ - 2,36%), "Conocofillips" (აშშ - 2,5%), “Eni” (იტალია - 5%), INTECS (იაპონია - 2,5%), "Iitocu" (იაპონია - 3,4%), "Statoil" (ნორვეგია - 8,71%), “Total Fina Total” (საფრანგეთი - 5%), “TPAO” (თურქეთი - 6,53%) ი “Unical” (აშშ - 8,9%).

მაგისტრალური ნავთობსადენის ოპერატორია „British Petroleum“ (“BP”). ნავთობსადენის შევსება დაიწყო 2005 წლის 25 მაისს, როდესაც აზერბაიჯანისაგან პირველი ნავთობი წავიდა თურქეთის მელთაშუა ზღვის ჯეიჰანის პორტისკენ. 2008 წლიდან, მაგისტრალური ნავთობსადენის ექსპლუატაცია, პრაქტიკულად ხდებოდა უწყვეტად, გარდა თურქეთის ტერიტორიაზე, 2005 წლის აგვისტოში მიხდა ადგილობრივი სამუშაოები.

მაგისტრალური ნავთობსადენის ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის საერთო სიგრძეა 1768 კმ: 450 კმ - აზერბაიჯანში, 248 კმ - საქართველოში და 1070 კმ თურქეთში. ნავთობსადენის დიამეტრია: 1070 მმ - აზერბაიჯანულ უბანზე, 1170 მმ - საქართველოს უბანზე და 1070 მმ - თურქეთის უბანზე. ჯეიჰანის მახლობლაში, დიამეტრი მცირდება 865 მმ-მდე. ნავთობსადენზე არსებობს: 8 სატუმბი სადგური (მათ შორის 2 - აზერბაიჯანში, 2 - საქართველოში და 4 - თურქეთში) და ჩამკეტი სარქველები. ნავთობსადენი იწყება სანგაჩალას ტერმინალიდან და მთავრდება ახალ საზღვაო ტერმინალთან ჯეიჰანში, სადაც ხდება ნავთობის გადაქაჩვა ტანკერებში. საანგარიშო კომერციული მარაგები აზერი-ჩირაგ-გიუნშლი საბადოსათვის შეადგენს 5,4 მლნ. ბარელს. ნავთობსადენის საპროექტო სიმძლავრე შეადგენს 1 მლნ. ბარელს დღე-ღამეში (ე.ი. 50 მლნ. ტონას წელიწადში), ხოლო ექსპლუატაციის ვადაა - მინიმუმ 40 წელიწადი. ნახ. 10-ზე ნაჩვენებია ბაქო - თბილისი - ჯეიჰანის ნავთობსადენის კაპიტალის წილური მონაწილეობა.



ნახ. 10. ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის კაპიტალის წილური მონაწილეობა

ცხრილ 8-ში ნაჩვენებია ტრანზიტული მოცულობები.

ცხრილი 8

ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის ტრანზიტული მოცულობები

| შწ | მ ³ /წელი | თწ | ბბლ/წელი | ჭდ | ბბლ/წელი |
|------------|----------------------|--------------|-------------------|--------------|------------------|
| სულ | 21673150041 | всего | 1602275436 | всего | 460839441 |
| 2012 რ. | 3232370000 | 2012 რ. | 246835801 | 2012 რ. | 29102970 |
| 2011 რ. | 3668457000 | 2011 რ. | 257898336 | 2011 რ. | 28309927 |
| 2010 რ. | 4355682000 | 2010 რ. | 286265361 | 2010 რ. | 29575173 |
| 2009 რ. | 4787900041 | 2009 რ. | 285783342 | 2009 რ. | 31407433 |
| 2008 რ. | 4416210000 | 2008 რ. | 246665577 | 2008 რ. | 5581779 |
| 2007 რ. | 1212531000 | 2007 რ. | 212163359 | 2007 რ. | 44742 |
| | | 2006 რ. | 64886814 | 2006 რ. | 41649328 |
| | | 2005 რ. | 1776846 | 2005 რ. | 51524854 |
| | | | | 2004 რ. | 47079905 |
| | | | | 2003 რ. | 45997521 |

| | |
|---------|----------|
| 2002 რ. | 45852496 |
| 2001 რ. | 43258530 |
| 2000 რ. | 36630375 |
| 1999 რ. | 24824409 |

ნახ. 11-ზე ნაჩვენებია საქართველოს ტერიტორიის ნავთობსადენების მარშრუტები.



ნახ. 11. ნავთობსადენები საქართველოს ტერიტორიაზე

გარდა ამისა, არსებობს მაგისტრალური გაზსადენების სისტემა (დაახლოებით 2000 კმ), რომლითაც ხდება გაზის ტრანსპორტირება რუსეთისაკენ - სომხეთში, საქართველოს ტრანზიტით.

თავი 1. ნავთობგაზსადენებზე რისკისა და ავარიული მოვლენების ანალიზი

1.1. ნავთობგაზსადენებზე ავარიების რისკის კრიტერიუმების შესახებ

რისკის ანალიზის ერთ-ერთი საკვანძო პრობლემა მაგისტრალურ მილსადენებზე მისაღები (დასაშვები) რისკის საანალიზო კრიტერიუმებთან შესაბამისობის შეფასებაა. მისაღები რისკის რაოდენობრივი კრიტერიუმები დადგენილია აშშ-ს სტანდარტით, რუსეთის ფედერაციის კანონით [9], აგრეთვე რუსეთის ფედერაციის მთელი რიგი ნორმატიული დოკუმენტებით [10,11]. თუმცა ზოგიერთი მათგანი შეიცავს უსწორობასა და შეცდომებს, რომლებსაც შეუძლია მიგვიყვანოს არასწორ დასკვნებამდე განსახილველი მაგისტრალურ მილსადენების უსაფრთხოების შესახებ [12].

დაშვებულობის კრიტერიუმებთან შესაბამისობის შეფასებასთან დაკავშირებული შეცდომების მიზეზები დაკავშირებულია ტექნოგენური რისკის რაოდენობრივი მაჩვენებლების ნორმირების მცდელობასთან ხიფათის წყაროს სპეციფიკის, მაგისტრალურ მილსადენებზე მომხდარი მოვლენის ზემოქმედებისა და ტერიტორიის კონკრეტიზაციის გაუთვალისწინებლად, რაზეც ადრე აღნიშნული იყო [11,13,14]-ში. კერძოდ მთელ რიგ პუბლიკაციებში, საწარმოო უსაფრთხოების დეკლარაციებში და ნაშრომებში [11,15] შემოთავაზებულია მისაღებ კრიტერიუმებად გამოყენებულ იქნეს მატრიცები "სიხშირე-შედეგების სიმძიმე" აგრეთვე ხიფათების, კოლექტიური, სოციალური რისკის, მოსალოდნელი ზარალისა და სხვა ინტეგრალური მაჩვენებლების რეალიზაციის სიხშირეთა მნიშვნელობები. ამ მაჩვენებლებით ნორმირებამ შეიძლება მიგვიყვანოს არასწორ დასკვნებამდე უსაფრთხოების ხარისხის შესახებ, რადგან მათი მნიშვნელობები შეიძლება მიშვნელოვნად იყოს დამოკიდებული წარმოების მოცულობაზე, ობიექტისა და ტერიტორიების (სადაც განლაგებულია საფრთხის წყაროები) ზომებზე და საგანგებო სიტუაციების რიცხვზე [16].

კრიტერიუმის "რეალიზაციის სიხშირე - ფინანსური ზარალი" [10] მიხედვით ტერიტორიების საფრთხის განმსაზღვრელი მატრიცა მოყვანილია ცხრილ 9-ში.

ცხრილი 9

„სიხშირის რეალიზაცია-ფინანსური ზარალის“ მატრიცა, ტერიტორიის საშიშროების ზონების კრიტერიუმები

| საშიშროების რეალიზაციის სიხშირე, შემთხვევა/წელი | ფინანსური ზარალი, MPOT (\$ აშშ) | | | | |
|---|---|--------------|--|----------|------------------------------|
| | >600000 | 60000-600000 | 6000-60000 | 600-6000 | <600 |
| > 1 | რეალიზაციის ზონა | | | | |
| $1 \div 10^{-1}$ | სასწრაფო ზომები რისკის შესამცირებლად | | მიზანშეწონილი ზომები რისკის შემცირება | | მკაცრი კონტროლის ზონა |
| $10^{-1} \div 10^{-2}$ | | | არ არის აუცილებლობა რისკის შემცირება | | მისაღები რისკის ზონა |
| $10^{-2} \div 10^{-3}$ | | | | | |
| $10^{-3} \div 10^{-4}$ | | | | | |
| $10^{-4} \div 10^{-5}$ | | | | | |
| $10^{-5} \div 10^{-6}$ | | | | | |

აშშ-ს სტანდარტის მონაცემთა საფუძველზე შეიძლება მივიღოთ, რომ მილსადენის ავარიით გამოწვეული საშუალო ზარალი შეადგენს არა ნაკლებ \$ აშშ 35000 (ე.ი. აშშ -ს სტანდარტით დადგენილ 30000 MPOT-ს (შრომის ანაზღაურების მინიმალურ ზომას). ცხრილის 9-ის თანახმად ტერიტორია, რომელზეც გაყვანილია მილსადენების წყვეტის კუთრი სიხშირით - 0,01 ავარია/წელი·1000 კმ-ზე (მნიშვნელოვნად მცირე, ვიდრე მოქედი მაგისტრალური მილსადენები) და 10000 კმ სიგრძით რეალურად ყველა ზონის კრიტერიუმის ქვეშ, რომლისთვისაც აუცილებელია გადაუდებელი ზომები რისკის შესამცირებლად. ამავე დროს ტერიტორია ნაკლებად საიმედო მაგისტრალური მილსადენებით (0,05 ავარია/წელი·1000 კმ-ზე) და 10 კმ სიგრძით შეიძლება ტრაქტირებოდეს, როგორც მისაღები რისკის ზონა.

შენიშვნა არამკაფიო ფორმულირების შესახებ ეხება აგრეთვე მაგისტრალური მილსადენების ერთ-ერთ ობიექტზე აფეთქებისა და აალების დასაშვებ ნორმირებად ალბათობას, რომელმაც არ უნდა გადაამეტოს 10^{-6} წელიწადში, აგრეთვე მოითხოვს, რათა ხანძრით გამოწვეულით ფაქტორების შედეგად დაღუპვის ინდივიდუალური რისკი არ უნდა აღემატებოდეს 10^{-6} , ხოლო სოციალური - 10^{-5} . რისკის ხშირად სხვადასხვა მაჩვენებლების განსხვავებულ ტრაქტირებას შეიძლება ერთი და იმავე მაჩვენებლის გაანგარიშებებში რამდენმეჯერმე განსხვავება შეუძლია მიიღოს. [16]-ის თანახმად ინდივიდუალური რისკის ქვეშ იგულისხმება "სივრცის გარკვეულ წერტილში ავარიის დროს ხანძრითა და აფეთქებით გამოწვეული დამაზიანებელი ფაქტორების წარმოქმნის ალბათობა (სიხშირე)". სახელდობრ ეს ახასიათებს რისკის „განაწილებას“, და რაც ეწინააღმდეგება [11,16]-ს.

ამჟამად დამუშავებულ ნორმატიულ მეთოდურ დოკუმენტებში ნაწილობრივ ეს შეცდომები და უზუსტობანი კიდევ შესაძლებელია აცილებულ იქნეს. თუმცა ტექნიკურ რეგლამენტში [9] სოციალური რისკის დასაშვები მნიშვნელობა 5-10 წელიწადში პერსონალისთვის მაღალია

გრძელი ხაზოვანი ობიექტების (მაგისტრალური მილსადენების) შემთხვევაში.

ტექნიკურ რეგლამენტებში, ქვემდებარე საკანონმდებლო აქტებსა და სტანდარტებში რისკის შეფასების ერთიანი მეთოდური მიდგომების არარსებობის პირობებში მისაღები რისკის რაოდენობრივი კრიტერიუმების ნაჩქარევმა შეტანამ შეიძლება გამოიწვიოს სიმძნელები პრაქტიკაში მათი გამოყენების დროს და ამით შეამცირებს ნდობას რისკის ანალიზის მეთოდოლოგიის, როგორც ტექნოსფეროს უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად ეფექტური გადაწყვეტილებების მისაღები საფუძვლების მიმართ.

1.2. მაგისტრალური მილსადენების ავარიების რისკის ანალიზი, უსაფრთხო მანძილების დასაბუთება

სამრეწველო უსაფრთხოების ერთ ერთი ძირითადი პრობლემაა - ავარიის წყაროს და მახლობლად მყოფი ნაგებობებსა და ობიექტებს შორის მინიმალური უსაფრთხო მანძილების დადგენა. მინიმალური უსაფრთხო მანძილების მოთხოვნების დასაბუთება, მათ შორის ავარიის შედეგების გაანგარიშების და მოდელირების საფუძველზე, მოყვანილია ნაშრომების შემდეგ რიგში [17-21].

განსაკუთრებით აქტუალურია მაგისტრალური მილსადენების მინიმალური უსაფრთხო მანძილებთან დაკავშირებით, სისტემის შემდგომი განვითარების პროცესი [20,21]. ავარიულობის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მაგისტრალური მილსადენების ადამიანების დაღუპვა, იშვიათია [22], თუმცა დასახლებული პუნქტების მილსადენების ინფრასტრუქტურის მახლობლობაში, არ უნდა მოხდეს ადამიანების დაღუპვის შემთხვები. განვიხილოთ მაგისტრალური მილსადენების მსხვილი ავარიების მასშტაბები და მაგალითები:

1959 წლის 1 ივლისში, მექსიკის შტატ ვერაკრუსი: მოხდა აფეთქება და ხანძარი ნავთობსადენზე. დაიღუპა 12 ადამიანი, 100-ზე მეტი დაიჭრა.

1960 წლის 19 ივლისს, აშშ-ს ვინსკონსინის შტატი: სამუშაოების ჩატარებისას მოხდა გაზსადენების დეგერმეტიზაცია. გაზის გაჟონვით და შემდეგი აფეთქებით დაიღუპა 10 ადამიანი. **1965 წლის 4 მარტი**, აშშ-ს შტატი ლუიზიანი: მოხდა 32-იანი დიუმიანი გაზსადენის აფეთქება. დაიღუპა 47 ადამიანი, ხოლო დაიჭრა 17 ადამიანი. მიზეზია გაზსადენის დეგერმეტიზაცია - კერძოდ, კოროზიული დაბზარვა, ძაბვის გამო. **1989 წლის 4 ივნისი**, სსრკ, უფა: 1710 მმ-ის დიამეტრზე მოხდა მაგისტრალური პროდუქტსადენზე, ამოფრქვევით და ნახშირწყლების მსუბუქო ფრაქციების ორთქლის აალება. ღრუბლის დრეიფის მანძილი იყო 900-1350 მ. აფეთქების ზონაში მოხდა ორი სამგზავრო მატარებელი. დაიღუპა 573 ადამიანი, 600-ზე მეტმა მიიღო დაზიანება. აფეთქების რაიონში დაიწვა 2,5 კმ²-ის ტყე.

განსაკუთრებულად ნიგერიაში, მოხდა ნავთობგაზსადენების დეგერმეტიზაციის და გაჟონვების მასშტაბური სერია. განსაკუთრებით მოხდა დატაცება (10.07.2000 წ., 16.07.2000 წ., 30.11.2000 წ., 19.06.2003 წ., 17.09.2004 წ., 12.05.2006 წ., 26.12.2006 წ., 16.05.2008 წ.), ხანძრები და აფეთქებები. დაიღუპა დაახლოებით 1300 ადამიანი. აღსანიშნავია, რომ წარმოიქმნა 16 მ-ის სიგანის და 24 მ სიგრძის ქვაბული. მილსადენის 15 მ-იანი უბანი ამოვარდა ქვაბულიდან და დაიმსხვრა 3 ნაწილად (ყველაზე გრძელი ნაწილი - 87 მ). **2003 წლის 19 ივნისი**. ნიგერია, შტატი აბია: მოხდა ნავთობპროდუქტების დატაცება და მილსადენის აფეთქება. დაიღუპა მეზობელი სოფლის 125 ადამიანი. **2011 წლის 12 სექტემბერი**, ნაირობი, კენია: ლუნგას რაიონში მოხდა ნავთობპროდუქტსადენის დეგერმეტიზაცია (ბენზინი, დიზელის სათბობი, რეაქტიული სათბობი). სათბობის ნაწილი ჩაიღვრა მდინარეში. სათბობი აფეთქდა, შეიქმნა გიგანტური ცეცხლოვანი სფერო. დაირუპა 100-მდე ადამიანი. **2004 წლის 30 ივლისი**. ბელგია, ბრიუსელი: მოხდა მაგისტრალური გაზსადენის გაჟონვა და აფეთქება, ბრიუსელიდან 40 კმ-ზე. აფეთქების ჯაჭვმა შექმნა დიდი კრატერი და გაანადგურა ორი ფაბრიკა. აფეთქების ტალღის მოქმედება იგრძნებოდა ადგილიდან 10 კმ მანძილზე. დაიღუპა 24 ადამიანი (მანძილიდან 200 მ), 120

ადამიანმა მიიღო დამწვრობები და დაჭრილობები. **2008 წლის 17 ივლისი.** კანადის ალბერტას პროვინციაში დაზიანდა ნავთობსადენი: მდინარეში ჩავიდა 125 ბარელი ნავთობი (ნახ. 12). გაჟონვა არ მოხდა მყისიერად: ჯერ მილსადენში წნევა დაეცა, ხოლო შემდეგ მდინარის მძლავრმა დინებამ წაიღო ტბისკენ, დაზიანების ადგილიდან 33 კმ-დან. დაიწყო ნავთობის შეკრება და ჩაიკეტა წყალშემკრები, რომელის გამო, ორი ადგილობრივი კურორტი და რამდენიმე ასამდე კოტეჯი იკვებოდა სასმელი წყლით. **2010 წლის 19 დეკემბერი.** მექსიკა, სან მარტინი: სატუმბ სადგურში მოხდა ნავთობსადენის დეგერმეტიზაცია, შემდგომი გამოდინების ჭავლის აალება. დაიღუპა 27 ადამიანი, 52 დაჭრილი. აფეთქების მცდელობამ გამოიწვია დატაცება შეჭრის საშუალებით.



ნახ. 12. ნავთობსადენების ავარიებისას გარემოს დაზიანებები კანადის ალბერტას პროვინციაში

განვიხილოთ რუსეთის ფედერაციის მილსადენების სისტემის მდგომარეობის ზოგადი მონაცემები 2012 წლისათვის. მილსადენების ექსპლუატაციის მაღალი ავარიულობის ძირითად მიზეზებს წარმოადგენს სარემონტო სიმძლავრეების შემცირება, აღდგენის დროს დაბალი ტემპები, დაბალი ანტიკოროზიული საფარი და არსებული ქსელების პროგრესული დაღლილობა.

რუსეთის ფედერაციაში მიწისქვეშა ნავთობგაზსადენების სრული სიგრძე შეადგენს დაახლოებით 17 მლნ. კმ-ს. ამავე დროს ხშირი ინტენსიური ტალღური და ვიბრაციული პროცესების გამო (წნევის რხევა, ჰიდროტარყმები), საჭიროა მუდმივი სარემონტო სამუშაოების ჩატარება, ან მათი უზენის სრული გამოცვლა. ექსპლუატაციის დროის განმავლობაში

მილსადენებზე მოქმედებს დინამიკური დატვირთვები. ისინი იქმნება სადაწნო მოწყობილობის მუშაობისას, სამილსადენო ჩამკეტი არმატურის ამუშავებისას, პერსონალის შეცდომის გამო, ავარიული ელექტრო კვების გამორთვისას, ტექნოლოგიური ცრუ დაცვის ამუშავებისას და ა.შ.

მინიმალური უსაფრთხო მანძილების მეთოდოლოგიური მიდგომების დასადგენად, შეიძლება პირობად დავეყთ სამ მიმართულებად: ავარიის დაზიანებული ზონების ფაქტიური მონაცემების ფიქსირება („აპოსტერიორული“ მიდგომა); დაზიანებული ზონების მაქსიმალური მანძილების გაანგარიშება; ავარიის რისკის რაოდენობრივი შეფასება.

გამვიხილოთ, თუ როგორია მაგისტრალური მილსადენების ტიპები და გამოიყენება მინიმალური უსაფრთხო მანძილების დადგენის აღნიშნული მიდგომები. ყველაზე გავრცელებულია უსაფრთხო მანძილების ანალოგიური ობიექტების გამოცდილება. მაგისტრალური მილსადენების მრავალი ავარიის გამოცდილების თანახმად გვიჩვენებს, რომ ადამიანების დაზარალებული ადამიანების მანძილების ზომები (მიმობნეული ნამსხვრევები, ჭავლის აალების თერმული რადიაცია), მოთავსებულია მილსადენის ღერძიდან 100-დან 350 მ-ზე და განისაზღვრება მილსადენის დიამეტრის და წნევის პირველ მიახლოებაში. ამ შემთხვევაში, ავარიების საკმაოდ წარმომადგენლობითი სტატისტიკა აღარ საჭიროებს, რადგანაც როგორც წესი, გამოიყენება დამატებითი „უსაფრთხოების ფაქტორი“. ამ დროს უსაფრთხო მინიმალური უსაფრთხოების მანძილებად მიღებულია - ადრე დაფიქსირებულ მაქსიმალურ ექვივალენტად [19].

მეორე ხერხი: მინიმალური უსაფრთხო მანძილების დადგენა, მაგისტრალური მილსადენების დაზიანებული ზონების გაანგარიშებისას, მაქსიმალური ჰიპოთეტური ავარიის მილსადენის კონკრეტული უბნის განხილებისას (ტრასის პროფილი, ურდულები და ა.შ.) საჭიროა: ტრანსპორტირებული ნახშირწყალბადების თვისებები, გადაქაჩვის ტექნოლოგიური პარამეტრები, გარემოს პირობები და ავარიის ლოკალიზაციის ლიკვიდაცია. ამგვარი დეტერმინისტური მიდგომა

დაფუნქციონირებს მაგისტრალური მილსადენის სრული რღვევის სცენარის გაანგარიშება და საშიში ნივთიერების ავარიული გამოფრქვევის დამაზიანებელი ფაქტორების მაქსიმალურ დიატანციას.

ამგვარი დეტერმინისტური მიდგომა დაფუნქციონირებს სრული სცენარის გაანგარიშებაზე. ცხრილ 10-ში მოყვანილია მაგისტრალური მილსადენის ცალკეული უბნების, ავარიის ადამიანების ლეტალობისას შესახებ [22,23].

ცხრილი 10

გაზის ჭავლის აალების და თერმული რადიაციის ზონები

| ავარიის შედეგები | დამაზიანებელი ფაქტორები | დამაზიანებელი ფაქტორების მოქმედების ზონა, მ |
|--|-------------------------|---|
| მაგისტრალური გაზსადენი D 600, P=5,7 მპა | | |
| გაზის გაფართოება | ბარული ზემოქმედება | 5 |
| ნამსხვრევები | მექანიკური ზემოქმედება | 30 |
| ჭავლის წვა | თერმული ზემოქმედება | 250 |
| ხანძარი ქვაბულში | თერმული ზემოქმედება | 130 |
| მაგისტრალური გაზსადენი D 1000, P=6,3 მპა | | |
| გადასხმული ხანძარი | თერმული ზემოქმედება | 140 |
| ღრუბლის აალება | თერმული ზემოქმედება | 200 |
| მაგისტრალური გაზსადენი D 700, P=5,5 მპა | | |
| გადასხმული ხანძარი | თერმული ზემოქმედება | 200 |
| ღრუბლის აალება | თერმული ზემოქმედება | 2400 |
| ჭავლის წვა | თერმული ზემოქმედება | 300 |

მაგისტრალური ნავთობგაზსადენების მაქსიმალური საენები ზონის გაანგარიშებისას მიიღება ტრასის განხილული უბნის გაჟონვის მაქსიმალური ზომა, რის გამოც ხდება ნავთობის დაღვრილი ნავთობის (ნავთობპროდუქტის) ფართობის და ორთქლის ღრუბლის დრეიფის მანძილის შეფასება [20,24]. ატმოსფეროში მავნე ნივთიერებების გაბნევა გაიანგარიშდება საშიში ნივთიერების ავარიული გამოფრქვევის მეთოდით, რაც გათვალისწინებულია უარესი პირობები, გაბნევისას ატმოსფეროს ზედაპირულ ფენაში.

აგრეთვე მისაღებია ავარიის შედეგების მიდგომის ანალიზზე დაფუნქციონირებული მიდგომა, კერძოდ მაგისტრალური ნავთობგაზსადენების „ტიპური“ უბნის უსაფრთხო მანძილების დადგენა - გაზის აალების ჭავლების საენე თერმული მოვლენისას. [25]-ით მოდელით, მიღებულია

მაგისტრალური ნავთობგაზსადენების მოდელი, რომელშიც შედის საწყისი მონაცემთა მცირე კომპლექტი.

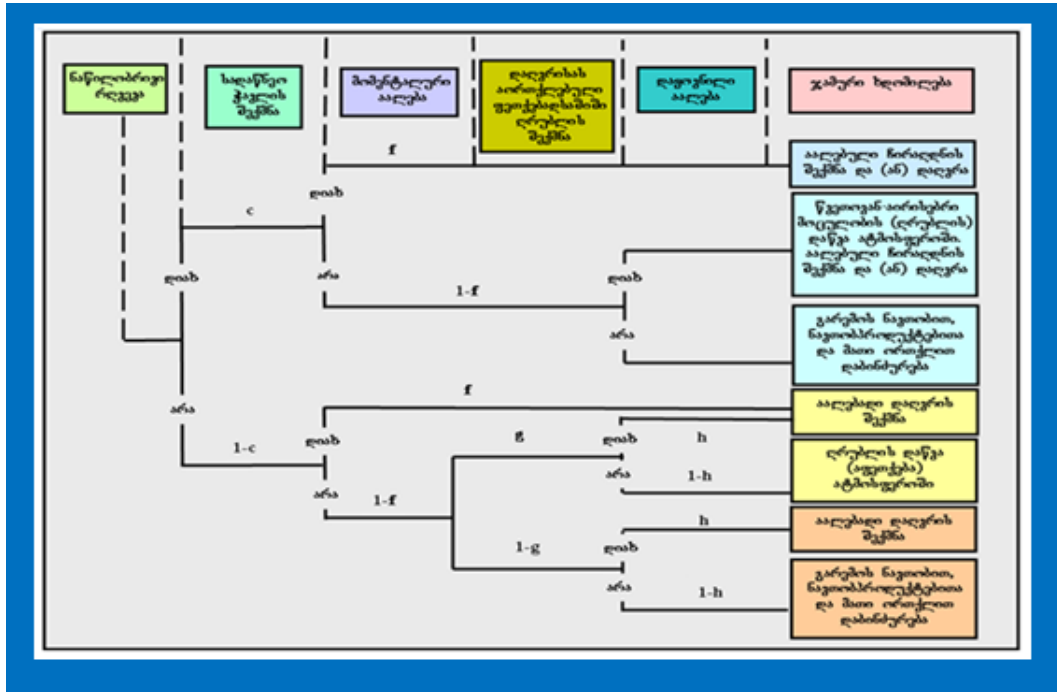
მესამე ხერხი: გამოყენებულია უსაფრთხო მანძილების დასაბუთება, რაც გვადლევს რაოდენობრივი მაქსიმალური რისკის ჰიპოტეტური ავარიის შეფასებას. მაგისტრალური ნავთობგაზსადენების ტრასის განხილულ უბანზე გაანგარიშდება დეფექტური ხვრეტებიდან გამოფრქვევის ზომების სრული დიაპაზონის ვარიანტები (დაწყებული სვიშებიდან - მილსადენის გილიოტინური რღვევამდე). მაგისტრალური ნავთობგაზსადენების ავარიის ყველა შესაძლო შედეგი, ხეს ხდომილების საფუძველზე, მოყვანილი ნახ. 13-ზე. სივრცეში განაწილების მოდელირებისას, სავნე ფაქტორების ზონები ზემოქმედისას, გაითვალისწინება ავარიის შექმნის ალბათობა და ავარიის განვითარების პირობითი ალბათობა ამა თუ იმ სცენარით (ინტენსივობები - **c, f, g, h**) და მოყვანილი ნახ. 13-ზე. ადამიანის დაზიანება, განისაზღვრება პრობიტ-ფუნქციებით.

მოდელის პრაქტიკული გამოყენება [19,21], რომელიც დაფუძნებულია [23,25]-ზე დეკლარირებისას და ტექნიკური პირობების გამოყენებისას, დაკავშირებულია მილსადენის პარამეტრებთან (დიამეტრი, წნევა), გადასაქაჩი პროდუქტის მახასიათებლებთან, მილსადენში დაზიანების ზონების ზომები და შედეგების სიმძიმე, მილსადენებში აგრეგატული მდგომარეობა, ადგილმდებარეობა, მეტეოპირობებში და ა.შ.

აღსანიშნავია, რომ ასეთი ფაქტორები დამოკიდებულია მაგისტრალური მილსადენის ტიპზე (ნავთობსადენი და გაზსადენი). მაგალითად მაგისტრალური მილსადენის ავარიის სცენარის განვითარება განმსაზღვრელია შემდეგი ფაქტორებით: გრუნტის გადამტანი უნარიანობა, წნევა გაგლეჯის ადგილი, კომპესორული სადგურების და სახაზო ჩამკეტი ურდულების განლაგება, ხოლო მეტეო ფაქტორებისათვის, გავლენა უმნიშვნელო [23].

მეორე მხრივ მაგისტრალური მილსადენის ყველაზე მნიშვნელოვანია დრუბლების აალება და მათი დრეიფი, დაზიანების ზონის ზომები და

მნიშვნელოვანი მეტეოპირობები. ცხრილ 11-ში, ჩვენს მიერ, მოყვანილია მეთანის ღრუბლის დრეიფის ზონის ზომები, სხვადასხვა მეტეოპირობებისათვის.



ნახ. 13. მაგისტრალური ნავთობსადენის მიწისქვეშა უბნის დეგერმეტიზაციის ხდომილებების ხე

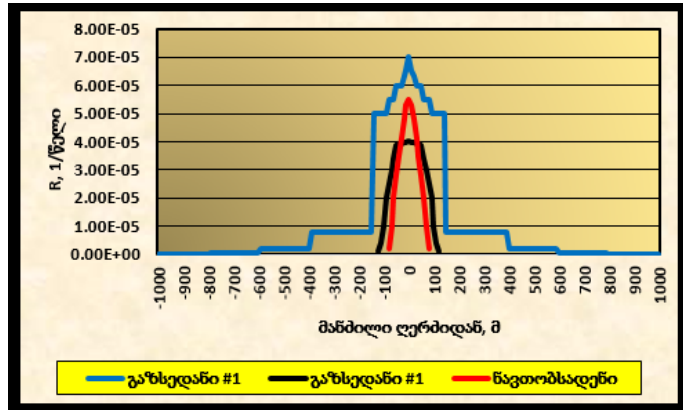
ცხრილი 11

მეთანის ღრუბლის დრეიფის ზონის მანძილების გაანგარიშება, სხვადასხვა მეტეოპირობებისას

| მეტეოროლოგიური პირობები | მოცემული ადგილმდებარეობის მეტეოპირობების რეალიზაციის პირობითი ხდომილება | დრეიფის მანძილი, სადაც მიღწეულია დასაშვებული კონცენტრაცია |
|-------------------------|---|---|
| 1F | 0,05 | 2400 |
| 1A | 0,05 | 1500 |
| 3D | 0,4 | 1050 |
| 5D | 0,4 | 850 |
| 10D | 0,1 | 650 |

ნახ. 14-ზე, ჩვენს მიერ მოყვანილია მაგისტრალური მილსადენების გაზსადენების და ნავთობსადენების ცალკეული უბნების, ადამიანების დაღუპვის პოტენციალური რისკები ამ მილსადენების ღერძიდან შესაბამისი მანძილები. ნაჩვენებია, რომ გაზსადენების და ნავთობსადენების უსაფრთხო მანძილების ალბათური შეფასებები საჭირო არ არის: უსაფრთხო მანძილების პოტენციალური რისკის მკვეთრი შემცირებისას, ალბათური და

დეტერმინისტული მიდგომები ერთმანეთს ემთხვევა. ამავე დროს, მაგისტრალური მილსადენების ავარიის დამაზიანებელ ფაქტორების მოქმედება ზონებში, ვარირება ასეული მეტრიდან - 2,5 კმ-მდე, ამ დროს შესაბამისი მანძილებისათვის, პოტენციალური რისკი განსხვავებულია ორი-სამი რიგით.



ნახ. 14. ადამიანების დაღუპვის პოტენციალური რისკის ტიპური პროფილები: 1. გაზსადენი, (D 700, p = 5,5 მპა); 2. გაზსადენი, (D 600, p = 5,7 მპა); 3. ნავთობსადენი (D 1000, p = 6,3 მპა)

ცხრილ 12-ში ნაჩვენებია ნორმატიული და საანგარიშო მინიმალური უსაფრთხო მანძილები. მათი გაანგარიშება ავარიის რისკის რაოდენობრივი ანალიზის მეთოდოლოგიის გამოყენება გვიჩვენებს, რომ თანამედროვე ნავთობპროდუქტსადენების საშიში ზონების ზომების ყოფნა ადამიანებისათვის, არ აღემატება 1,4 კმ-ზე ლეტალური ინტენსივობით 10^{-8} წმ⁻¹, მაშინ როდესაც დეტერმინისტული გაანგარიშებები [24,26] გვაძლევს სასიკვდილო შემთხვევების ზონების მანძილების შეფასება 2,4 კმ-მდე.

ცხრილი 12
უსაფრთხო მინიმალური მანძილების ნორმატიული და საანგარიშო მნიშვნელობები

| მილსადენების პარამეტრები | მილსადენი ჩალაგების რაიონები | მანძილი СНиП 2.05.06-85*-ის მიხედვით | დამაზიანებელი ფაქტორების მოქმედების ზონა, მ | მანძილი რომელზეც არის ადამიანების პოტენციალური რისკი, წელი ⁻¹ | | |
|--------------------------|------------------------------|--------------------------------------|---|--|------------------|------------------|
| | | | | 10 ⁻⁸ | 10 ⁻⁷ | 10 ⁻⁶ |
| D 250. P=1,8 მპა | სამარის ოლქი | 2000-3000 | 1050 | 990 | 460 | 230 |
| D 500. P=3,3 მპა | იამალ-ნენეცის ავტონომური | არ არის განსაზღვრული DN 400-3000 | 1150 | 1000 | 600 | 250 |

| | | | | | | |
|---------------------|--|---|------|------|-----|-----|
| | ოლქი | ÷ 5000 მ | | | | |
| D 700. P=5,5 მპა | ხანტი- მანსისკური ავტონომური ოლქი | არ არის განსაზღვრული DN 400- 3000 ÷ 5000 მ | 2400 | 1340 | 850 | 350 |

ამგვარად, შესაძლოა შემდეგი დასკვნების გაკეთება; 1. დადგენილია დაზიანების ზონების მანძილები, მილსადენების ტექნოლოგიური პარამეტრებისათვის, გადასაქაჩებელი პროდუქტის მახასიათებლები, ადგილმდებარეობა, მეტეოპირობები და ა.შ. ეს ფაქტორები მეტად მნიშვნელოვანია და დამოკიდებულია მაგისტრალური მილსადენების რისკის ანალიზის და პრაქტიკული ამოცანების ამოსახსნელად. 2. რისკის რაოდენობრივი შეფასების მეთოლოგიის გამოყენება გვაძლევს საშუალებას, დადგინდეს მინიმალური უსაფრთხო მანძილები, რომელთა ზომები შესაძლოა იყოს გაცილებით ნაკლები, ნორმატიულების შესაბამისად.

1.3. ნავთობგაზსადენების ავარიულობის ანალიზი და მეთოდოლოგიური ასპექტები

ავარიულობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფა წარმოადგენს - ანალიზის გადაწყვეტის ერთ-ერთი ძირითად პროცედურას, კერძოდ რაოდენობრივი რისკის შეფასებისას.

ავარიულობის დროში ცვლილების ტენდენციების ანალიზისათვის და მათ შორის უსაფრთხოების უზრუნველყოფა თანამედროვე მეთოდებით, ჩვენ მიერ გაანალიზებულია ინფორმაცია, რომელიც მოიცავს აშშ-ს, კანადას, რუსეთსა და ევროპის მაგისტრალური სახმელეთო გაზსადენების ობიექტების მონაცემთა ბაზა.

მაგისტრალური მილსადენის სახაზო ნაწილის ხანძრის რისკის შეფასება [27] წარმოადგენს მეტად მნიშვნელოვან პროცედურას. ასეთი ობიექტების მაღალი აალებადობის გათვალისწინება, რომლებიც დაკავშირებულნი არიან მათი დარღვევების დროს წარმოქმნილი ავარიების მასშტაბი. ამასთან დაკავშირებით მაგისტრალური მილსადენს რისკის მეთოდური შეფასება მოითხოვს ძალზე ყურადღებიან და საგულდაგულოდ

შემოწმებულ მიდგომას მისი დამუშავებისადმი მაგისტრალური მილსადენის ტექნოლოგიური სპეციფიკის გათვალისწინებით.

მაგალითისათვის განვიხილოთ ავარიების რისკის ანალიზი [28,30] ტიპიური ნავთობსადენებისათვის - კასპიის სამილსადენე კონსორციუმი - P (KTK-P) და ბალტიის სამილსადენე სისტემა (BTC). პირველის ტრასის საერთო სიგრძეა 1045 კმ (დიამეტრი 1000-1400 მმ), ხოლო მეორის - 1300 კმ (დიამეტრი 700-1000 მმ). ექსპლუატაციის პირველ ეტაპზე ნავთობსადენი KTK-P და BTC სისტემების წარმადობა შესაბამისად შეადგენს 12,0 და 28,2 მილიონ ტონა ნავთობს წელიწადში.

ამ ობიექტებზე რისკის ანალიზის შესრულებისას, ჩვენ მიერ გამოყენებულ იქნა ავარიების რისკის შეფასების ცნობილი მეთოდები ("მტყუნების ხე", ავარიის სიხშირის ბალური შეფასების მეთოდი, ავარიული პროცესების განვითარების მოდელირება მოედლებთან "დოზა-ეფექტი" და დაზიანების კრიტერიუმებთან ერთად) [31-34].

ბალური შეფასების მეთოდის მეშვეობით იყო შეფასებული ავარიების ინტენსიურობა ამ ობიექტების სახაზო ნაწილის სხვადასხვა უბანზე, აგრეთვე განისაზღვრა გავლენის ფაქტორების სხვადასხვა ჯგუფების (ჯგ 1-ჯგ 8) მაჩვენებლები (წილი %-ში), მაგისტრალური მილსადენის ავარიულობის ზოგად მიზეზების დისკრიმინაციისათვის.

მაგისტრალური ნავთობსადენის სახაზო ნაწილზე ავარიების ინტენსიურობის სიდიდეზე გავლენის ფაქტორების ანალიზმა (ცხრილი 13) გვიჩვენა, რომ BTC-ს უსაფრთხოების გაზრდის ზომები პირველ რიგში უნდა იყოს მიმართული გარეშე ანტროპოგენური ზემოქედების (ჯგ 1) და პერიოდული მიღებსშიგა დიაგნოსტიკის (ჯგ 8) ჩატარებისკენ შესაბამისი სარემონტო სამუშაოების ჩატარებთან ერთად (BTC-ს მაგისტრალური ნავთობსადენი ტრასის სამი მეოთხედზე მეტი წარმოდგენილია 70-იან წლებში ექსპლუატაციაში შესული "ძველი" უბნებით).

ჩავატარეთ KTK-P და BTC მაგისტრალური ნავთობსადენების სახაზო ნაწილებზე ავარიის რისკის მაჩვენებლების შეფასების ანალიზი

(ცხრილი 14), შეიძლება დავასკვნათ, რომ ორივე ნავთობსადენების სისტემის უსაფრთხოების დონე უფრო მაღალია "საშუალო სტატისტიკურ მაგისტრალური ნავთობსადენებთან" შედარებით.

ცხრილი 13

მაგისტრალური ნავთობსადენების (KTK-P და BTC) სახაზო ნაწილების საფრთხის მტყუნების შედარებითი ფაქტორების ჯგუფის ანალიზი

| ჯგუფის ფაქტორების განსაზღვრევა და დასახელება [2] | | ავარიის საშუალო ჯგუფის სტატისტიკური წილი ρ_i , % | ჯგუფის ავარიის წილი სრული ტრასაზე | |
|--|---|---|-----------------------------------|----------------|
| | | | KTK-P ρ , % | BTC ρ , % |
| ჯგ ¹ | გარე ანტროპოგენური ზემოქმედება | 20 | 17,1 | 20,2 |
| ჯგ ² | კოროზია | 10 | 13,8 | 13,9 |
| ჯგ ³ | მილების ექსპლუატაციის ხარისხი და ხანგრძლივობა | 5 | 6,4 | 7,9 |
| ჯგ ⁴ | სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების ხარისხი და სირთულე | 10 | 14,8 | 13,2 |
| ჯგ ⁵ | კონსტრუქციულად-ტექნოლოგიური ფაქტორები | 10 | 10 | 5,6 |
| ჯგ ⁶ | ბუნებრივი ზემოქმედება | 10 | 8 | 9,5 |
| ჯგ ⁷ | საექსპლუატაციო ფაქტორები | 5 | 6,5 | 6,3 |
| ჯგ ⁸ | მილის და შედუღების ნაკერების დეფექტები | 30 | 23,4 | 23,4 |
| ავარიის კუთრი მტყუნების საფრთხე, 1/წელი \cdot 10000 კმ | | 0,265 | 0,138 | 0,229 |
| უბნის საშუალო ბალი, \bar{B} | | 3,0 | 1,57 | 2,6 |

ცხრილი 14

მაგისტრალური ნავთობსადენის სახაზო ნაწილის ავარიის განზოგადოებული რისკის პარამეტრები

| რისკის მაჩვენებელი | | სახაზო ნაწილი | |
|---|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| დასახელება | განზომილება | KTK-P | BTC |
| მტყუნების საფრთხე ტრასაზე | 1/წელი | 0,145 | 0,305 |
| ავარიის კუთრი მტყუნების საფრთხე | 1/წელი \cdot 1000 კმ | 0,138 | 0,229 |
| ავარიის ნავთობის გაჟონვის საშუალო მასა | ტონა | 680 | 425 |
| ავარიის ნავთობის დანაკარგების საშუალო მასა | ტონა | 150 | 83 |
| ავარიის შესაძლო ნავთობის კუთრი დანაკარგი | ტ/წელი \cdot 1000 კმ | 21 | 19 |
| ავარიის ნავთობის შესაძლო დანაკარგის მასა | ტ/წელი | 22 | 25 |
| ავარიის საშუალო ზარალი, მათ შორის | ათასი \$ | 1704 | 2357 |
| ავარიის დაბინძურების ზარალის საშუალო ფასის რაოდენობა | ათასი \$ | 982 | 1920 |
| ავარიისას ნავთობის საშუალო დანაკარგი, ფულში გამოსახულებით | \$ | 722 | 437 |
| სრული ტრასის ინტეგრალური რისკი | ათასი \$/წელი | 262 | 701 |
| ავარიის კუთრი რისკი | \$/წელი \cdot კმ | 250 | 530 |
| ადამიანების კოლექტიური რისკის ლეტალობის რაოდენობა | ადამიანი/წელი | $6,4 \cdot 10^{-4}$ | $1,7 \cdot 10^{-3}$ |

რუსეთში, აშშ და კანადაში მილსასადენე ტრანსპორტის ობიექტებზე ავარიულობის მონაცემთა შეგროვება ხორციელდება სახელმწიფო დონეზე ეროვნულ კანონმდებლობასთან შესაბამისად: აშშ-ში - მილსადენების უსაფრთხოებისა და სახიფათო მასალების სამმართველოს მილსადენების უსაფრთხოების ბიუროს მიერ (Office of Pipeline Safety under the pipeline and Hazardous Materials Safety Administration – OPS PHMSA), კანადაში - ტრანსპორტის სამინისტროს ენერჯეტიკის ეროვნული სამმართველოს მიერ (National Energy Board – NEB), რუსეთში - ეკოლოგიური, ტექნოლოგიური და ატომური ზედამხედველობის ფედერალური სამსახურის მიერ (Ростехнадзор).

ევროპაში ავარიული მონაცემების შეკრებასა და განზოგადებას აწარმოებენ ნებაყოფლობითი გაერთიანებები: გაზსადენებზე ავარიების მონაცემთა შემკრები ევროპული ჯგუფი (European Gas Pipeline Incident Data Group-EGIG), დიდი ბრიტანეთის მაგისტრალური სახმელეთო გაზსადენების ოპერატორთა ასოციაცია (United Kingdom Onshore Pipeline Operators Association - UKOPA) და დასავლეთევროპული მაგისტრალური ავთობსადენების ოპერატორთა ასოციაცია (CONservation of Clean Air and Water in Europe - CONCAWE). ამ ორგანიზაციების მიერ შეკრებილი საავარიო მონაცემები წარმოდგენილია ღია წვდომით. NEB [35] და Ростехнадзор [36] ყოველწლიურად მოკლედ ანგარიშს აბარებენ მომხდარი ავარიების, მათ შორის მიზეზების შესახებ; EGIG [37], UKOPA [38] და CONCAWE [39] პერიოდულად აქვეყნებენ ანგარიშებს თავიანთი მონაცემთა ბაზაში შესულ მონაცემთა წინასწარი დამუშავების შედეგების შესახებ; PHMSA მოკლე ანარიშს აბარებს მომხდარ ავარიებზე [41], და აგრეთვე თავაზობს დაუმუშავებელ მონაცემებს დატვირთვაზე მილსადენების უსაფრთხოების ბიუროს საიტიდან [42]. 43]-თან ანალოგიით ჩავატაროთ სამილსასადენე ტრანსპორტის ობიექტებზე ავარიულობის მონაცემების შედარებითი ანალიზი. სხვადასხვა წყაროს ცნობების მიხედვით შეგროვილ მონაცემთა ბაზის მახასიათებლები მოყვანილია ცხრილ 15-ში.

ავარიების შესახებ სხვადასხვა წყაროების მონაცემები

| მაჩვენებლები | წყარო | | | | | |
|--|-------|---------|-------|------|-------|--------------|
| | EGIG | CONCAWE | UKOPA | NEB | PHMSA | Ростехнадзор |
| კვლევი ობიექტი | | | | | | |
| სახაზო ნაწილი | + | + | + | + | + | + |
| ნაგებობები | - | + | + | + | + | + |
| მილსადენების მასალა | | | | | | |
| ლითონი | + | + | + | + | + | + |
| პლასტიკი და ა.შ. | - | - | - | - | + | + |
| პროდუქტის ტიპი | | | | | | |
| ბუნებრივი გაზი | + | - | + | + | + | + |
| ნავთობი | - | + | + | + | + | + |
| ნავთობპროდუქტები | - | + | - | + | + | + |
| სხვა | - | - | + | - | + | + |
| მილსადენების განლაგება | | | | | | |
| კონტინენტალური | + | + | + | + | + | + |
| საზღვაო | - | - | - | + | + | + |
| ნავთობსადენები | | | | | | |
| მაგისტრალური | +** | + | + | + | + | + |
| სარეწო | - | - | - | + | + | + |
| განაწილებები | - | - | - | - | + | + |
| მაგისტრალური მილსადენების სიგრძე, ათასი კმ | | | | | | |
| ბუნებრივი გაზი | 129,7 | - | 20,6 | 26,3 | 471,1 | 166 |
| ნავთობი | - | 10,7 | 0,2 | 14,4 | 83,1 | 52,5 |
| ნავთობპროდუქტი | - | 14,0 | - | - | 98,2 | 21,8 |

განხილული ობიექტების მონაცემების და ტიპების შეგროვების მეთოდების გარდა, განსხვავებულია აგრევე დაფიქსირებული საავარიო მოვლენების ხასიათიც (ცხრილი 16).

ავარიული ფიქსირებული ხდომილების ხასიათი

| მონაცემის ბაზა | ავარიის კრიტერიუმები | | | | | |
|----------------|-------------------------------|---|-------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| | ავარიის გაჟონვის ზარალი | უბედური შემთხვევა, მათ შორის ლეტალური შემთხვევა | ხანძარი, აფეთქება | გარემოს დაზიანება | ზარალი | სხვა |
| გაზსადენები | | | | | | |
| Ростехнадзор | 10000 მ ³ -ზე მეტი | + | + | - | - | მეზობელი ობიექტების რღვევა/დაზიანება |
| PHMSA | - | + | - | - | აშშ \$ 50 ათასზე მეტი | - |

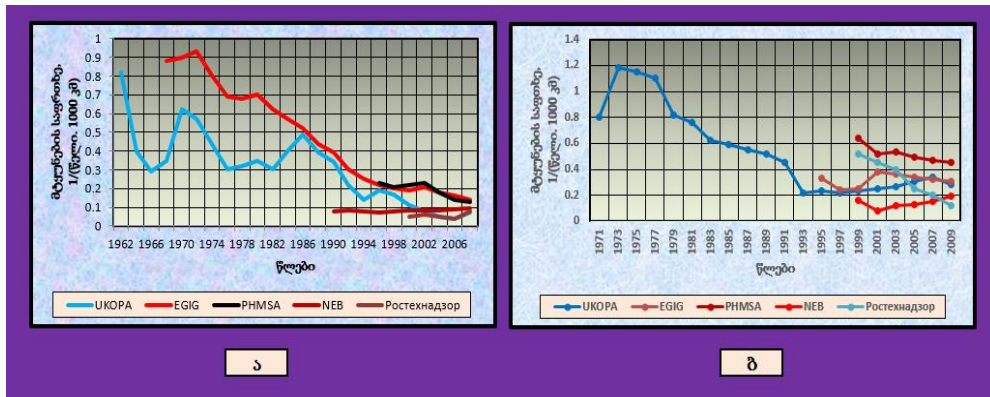
| | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|---|---|---|-----------------------|---|
| NEB | ყველა გაჟონვა | + | + | - | - | მილსადენის პარამეტრების დარღვევა |
| UKOPA | ყველა გაჟონვა | - | - | - | - | მილსადენის კედლის დეფექტები და დაზიანებები |
| EGIG | ყველა გაჟონვა | - | - | - | - | - |
| ნავთობ და ნავთობპროდუქტსადენები | | | | | | |
| Ростех-надзор | 10 მ ² -ზე მეტი | + | + | + | + | მოცულობის გაჟონვა 1 მ ³ /დღე-ზე მეტი |
| PHMSA | 50 ბარელზე მეტი (8 მ ³) | + | + | - | აშშ \$ 50 ათასზე მეტი | - |
| NEB | 1,5 მ ³ -ზე მეტი | + | + | + | - | მილსადენის პარამეტრების დარღვევა |
| CONCAWE | 1 მ ³ -ზე მეტი | - | - | - | - | - |

მილსადენებზე მომხდარი ავარიების შესახებ სტატისტიკური ინფორმაციის შეგროვების ზემოთაღწერილი თითოეული სისტემის თავისებურება, აგრეთვე არსებული ბაზებიდან მსგავსი ინფორმაციის მიღების სირთულე მათში მოყვანილი მონაცემების განზოგადებას გამძლეებულს ხდის. თუმცა არსებული ინფორმაცია საერთოდ ყველა განხილული სამილსადენე სისტემისათვის რიგი დასკვნების გამოტანის საშუალებას იძლევა.

მაგისტრალური მილსადენებზე ავარიულობის ძირითად სტატისტიკურ მახასიათებელს წარმოადგენს ავარიების ინტენსიურობა, რომელიც გამოისახება ტრასის ერთეულ სიგრძეზე (1000 კმ) დროის ერთეულში (ჩვეულებრივ წელიწადში) ავარიის რაოდენობით.

ასე, ევროპული გაზსადენების სტატისტიკა [37,38] საშუალებას იძლევა, რომ მივყვეთ ავარიულობის დინამიკას 20-ე საუკუნის 70-იანი წლებიდან, ხოლო ამერიკულის [35, 40-42] - უკანასკნელ 10-20 წელიწადს. ხუთწლიანი პერიოდებით გასაშუალებული ავარიების ინტენსიურობა მაგისტრალურ გაზსადენზე მოყვანილია ნახ. 15-ზე. ნახ. 15-დან

თვალსაჩინოა ავარიების 6-ჯერ შემცირება ევროპის მაგისტრალური გაზსადენებზე 70-იან წლებთან შედარებით. აშშ-ს მაგისტრალური გაზსადენებზე უკანასკნელი 20 წლის განმავლობაში ეს მაჩვენებელი მყარად დგას დაბალ დონეზე.



ნახ. 15. ა) მაგისტრალური გაზსადენების ავარიის კუთრი ინტენსივობა ხუთწლიანი პერიოდით (1. UKOPA; 2. EGIG; 3. PHMSA; 4. NEB; 5. Ростехнадзор); ბ) ა) მაგისტრალური ნავთობსადენების ავარიის კუთრი ინტენსივობა ხუთწლიანი პერიოდით (1. UKOPA; 2. EGIG; 3. PHMSA; 4. NEB; 5. Ростехнадзор);

ამის გარდა, აღსანიშნავია ავარიულობის მაჩვენებლების სიახლოვე აშშ-სა და კანადის გაზსადენებზე, ხოლო დიდი ბრიტანეთის გაზსადენები 1,5-2-ჯერ უფრო საიმედოა, ვიდრე ევროპული კონტინენტალური. ევროპულ და ჩრდილოამერიკულ კონტინენტალურ გაზსადენებზე ავარიულობა შეადგენს 0,1-0,2 ავარიას წელიწადში ყოველ 1000 კმ-ზე.

მილსადენების უსაფრთხოების განყოფილებამ (OPS) და აშშ-ს ტრანსპორტის სამინისტროს გამოკვლევებისა და სპეციალური პროგრამების ადმინისტრაციამ მიზნად დაისახეს; "აშშ-ს სატრანსპორტო სამილსადენე სისტემების უსაფრთხო, საიმედო და ეკოლოგიურად მისაღები ექსპლუატაციის უზრუნველყოფა". აშშ-ს ტრანსპორტის სამინისტრომ ამოცანები მიმართა შემდეგი მიზნის მისაწევად: უსაფრთხოება, გარემოს დაცვა, ეკონომიკური მობილურობა, აგრეთვე საიმედო ინფრასტრუქტურის უზრუნველყოფა. საშიში სიტუებთან მყოფი მილსადენების 95% ჩართულია შტატებს შორის სავაჭრო ოპერაციებში: გადაიზიდება ყველა გამოსაყენებელი ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების

2/3; აშშ-ს სატრანსპორტო საშუალებების 97% მუშაობს ნავთობზე; აშშ-ში გადაზიდვების 17% -ია, რაც იყო გადაზიდვებზე საერთო დანახაჯების 2%.

აშშ-ს მილსადენების უსაფრთხოების განყოფილების მიერ ცხოვრებაში გატარებული პროგრამებია: მონაცემთა ანალიზი და ტენდენციების განსაზღვრა; ნორმატიულ მოთხოვნილებათა დამუშავება და კოორდინაცია; მთლიანობისა და შენახვის მართვა; ინსპექტირება და კანონმდებლობის ცხოვრებაში გატარება; ზარალის მიყენების თავიდან აცილება და მოსახლეობასთან მუშაობა მოცემული სფეროს შესახებ ინფორმაციის მიწოდებით. განვიხილოთ მონაცემთა ანალიზი და ტენდენციათა განსაზღვრა (ცხრილი 17).

ცხრილი 17

მილსადენების ავარიების შედეგები და წელიწადში ინციდენტების რაოდენობა

| | წელიწადში საშუალო 10 წლიანი ამონაკრები | წელიწადში საშუალო 5 წლიანი ამონაკრები | წელიწადში საშუალო 3 წლიანი ამონაკრები |
|-----------------------------------|---|--|--|
| საშიში სითხეები | 192,1 (48,8%) | 166,2 (45,2%) | 155,7 (42,1%) |
| ბუნებრივი გაზის ტრანსპორტირება | 76,8 (19,5%) | 76,6 (20,9%) | 77,7 (21,0%) |
| ბუნებრივი გაზის განაწილება | 124,6 (31,7%) | 22,8 (33,9%) | 19,3 (36,9%) |
| სულ | 393,5 (100%) | 357,2 (100%) | 370,0 (100%) |

აშშ-ში არსებობს ძირითადი ნორმატიული მოთხოვნები: საშიში სითხეებთან შეხებაში მყოფი მსხვილი მილსადენების მთლიანობის უზრუნველყოფის პროგრამა; საშიში სითხეებთან შეხებაში მყოფი მცირე მილსადენების მთლიანობის უზრუნველყოფის პროგრამა; საშიში სითხეებთან შეხებაში მყოფ მსხვილ მილსადენებზე კოროზიის კონტროლი; საშიში სითხეებთან შეხებაში მყოფი მსხვილი მილსადენების რემონტი და შედეგები ლიკვიდაცია; მილსადენებზე ავარიების შესახებ ინფორმირების სისტემების სრულყოფა; მილსადენებისთვის სერიოზული შედეგების

ზონების განსაზღვრა. განიხილება ნორმატიული მოთხოვნების დამუშავება და კოორდინაცია, კერძოდ სტანდარტებისა და სახელმძღვანელო მითითებების დამუშავება; შეთანხმებული ტექნიკური სტანდარტების დამუშავება; წესებისა და შეტყობინებების დამუშავება; ბიულეტენები, რომლებიც შეიცავს რჩევებსა და საკონსულტაციო ხასიათის ინფორმაციას; შეღავათებისა და წესებიდან გადახვევის წარდგენას.

ძირითადი ასპექტები საფინანსო 2013 წლისათვის შემდეგია:: დაზიანებები, გაჟონვების (45%) თავიდან აცილება და გამოვლენა; ტრასის მონიტორინგი რეალური დროის რეჟიმში, არინების ზოლის გარეთ ტრასის გაუსვლელობის გაბარიტების დაცვის მონიტორინგი, დაურღვეველი კონტროლი; ექსპლუატაციის, მართვისა და მონიტორინგის (21%) სფეროს სრულყოფა (შიგა კოროზიის კონტროლი); მასალების საექსპლუატაციო ხარისხის (20%) გაუმჯობესება.

მილსადენების მთლიანობისა და დაცულობის მართვის პროგრამის მიზანი: "სერიოზული შედეგების ზონის" (მაგალითად, დიდი კომერციული ცენტრების, სანავიგაციო წყლის გზების, ეკოლოგიურად მგრძობიარე ადგილების სიახლოვეს მყოფი ზონების) დაჩქარებული შემოწმებები; კომპანიების მიერ მილსადენების მთლიანობის უზრუნველყოფის მიზნით სისტემატური ღონისძიებების კომპლექსის ორგანიზების მხარის დაჭერა.

შესაძლებელია ასევე საუბარი ევროპულ [39] და ამერიკულ [35, 40-42, 44] ნავთოსადენებზე ავარიულობის მაჩვენებლების სიახლოვეზე. მაგისტრალურ ნავთობ და ნავთობპროდუქტების მილსადენებზე ავარიების ხუთწლიანი პერიოდულობით გასაშუალებული კუთრი ინტენსიურობა წარმოდგენილია ნახ. 16-ზე. ევროპულ მაგისტრალურ ნავთობგაზსადენებზე ავარიულობის მაჩვენებლები 70-იან წლებთან შედარებით შემცირდა 4-5-ჯერ. ამჟამად დასავლურ მაგისტრალურ ნავთობგაზსადენებზე ავარიულობის მაჩვენებლები შეადგენს დაახლოებით 0,1-0,5 ავარიას წელიწადში 1000 კმ-ზე.

რუსეთის მილსადენებზე ავარიულობის მაჩვენებლები უკანასკნელი 5 წლის განმავლობაში მიუახლოვდნენ ამერიკისა და ევროპის მილსადენების მაჩვენებლებს: 0,27 ავარია/წელიწადში 1000 კმ-ზე ნავთოსადენებისათვის, 0,08 - ნავთობპროდუქტებსადენებისათვის და 0,13 - გაზსადენებისათვის [45]. სხვა სამილსადენე სისტემებისათვის ავარიულობის განზოგადებული მაჩვენებლები ნაჩვენებია ცხრილ 18-ში.

ავარიულობა აშშ-ს გაზსადენებზე ფორმალურად ითვლება ევროპულზე დაბლა. ეს აიხსნება მათ შორის კანონმდებლობაში 1984 წლიდან ცნების "ავარია" ცვლილებით, რომელმაც მიაყენა 50 ათასი აშშ დოლარის მატერიალური ზარალი (ევროპაში ავარიად მიიჩნევა გაზის არაგანზრახვით გაჟონვის ყველა შემთხვევა). ამერიკულ გაზსადენებზე ხუთწლიან პერიოდში ავარიების მონაცემთა შედარება აჩვენებს, რომ 1984 წლამდე მათი რიცხვი იყო 5-ჯერ მეტი [45].

ცხრილი 18

სხვადასხვა გაზსადენების ავარიულობის განზოგადებული მაჩვენებლები

| პერიოდი | ავარიის მტყუნების საფრთხე, 1/წელი, 1000 კმ | | | | |
|--|--|----------------|------|--------|--------|
| | ევროპა | დიდი ბრიტანეთი | აშშ | კანადა | რუსეთი |
| მაგისტრალური გაზსადენები | | | | | |
| 70 წლები | 0,84 | 0,50 | 1,48 | - | - |
| დასაწყისიდან დღემდე | 0,37 | 0,24 | 0,14 | 0,09 | 0,19 |
| ბოლო 5 წელი | 0,14 | 0,06 | 0,12 | 0,11 | 0,13 |
| მაგისტრალური ნავთობ და ნავთობპროდუქტსადენები | | | | | |
| 70 წლები | 1,17 | - | - | - | - |
| დასაწყისიდან დღემდე | 0,55 | - | 0,43 | 0,10 | 0,25 |
| ბოლო 5 წელი | 0,28 | - | 0,39 | 0,11 | 0,27 |

სამუშაოში [46] განზოგადებულია ინფორმაცია მილსადენების გაჰერმეტიზაციის სიზშირის შესახებ CONCAWE და EGIG მონაცემთა საფუძველზე უკანასკნელ ხუთწლიან პერიოდში დეჰერმეტიზაციის ნახვრეტების ზომების გათვალისწინებით. ასე გაზისა და სითხის მიწისქვეშა მილსადენებისათვის 10 მმ ნახვრეტებით (შემოთავაზებულია წარმოქმნილი ავარიების კუთრი სიხშირე $7,9 \cdot 10^{-2}$ 1/წელიწადში $\cdot 1000$ კმ-ზე (პირობითი ალბათობა 0,454); 0,5 D_y (ნაპრალით) - $6,9 \cdot 10^{-2}$ 1/წელიწადში \cdot

1000 კმ-ზე; სრული კვეთით რღვევა - $2,8 \cdot 10^{-2} 1/\text{წელიწადში} \cdot 1000$ კმ-ზე. PHMSA-ს მასალები [42] საშუალებას იძლევა შეფასდეს სხვადასვა დიამეტრის მილებისათვის ნავთობსადენებისათვის და გაზსადენებისათვის დეკრემტიზირებული სახაზე ნაწილის სხვადასვა ტიპის პირობითი ალბათობა. ცხრილ 19ა-ში გამოკვეთილია არსებითი განსხვავება ნახვრეტების განაწილების ხასიათში გაკრემტიზაციისას ამერიკულ სითხისა და გაზის მილსადენებზე. ასე ნავთობ- და ნავთობპროდუქტებსადენებისთვის დამახასიათებელია ხვრეტები (65-70%), ხოლო გაზსადენებისთვის - მსხვილი გაკრემტიზებები - გარღვევები (45%).

ავარიულობის PHMSA-ს მონაცემები ცახმელეთო მილსადენების სახაზო ნაწილზე ავარიული გაჟონვების აალების პირობითი ალბათობის შეფასების საშუალებას იძლევა (ცხრილი 19ბ).

ცხრილი 19ა

სხვადასხვა ნავთობსადენების ავარიულობის განზოგადოებული მაჩვენებლები

| მილების ზომა, დიუმი | დეფექტური ხვრეტების სხვადასხვა ტიპების პირობითი ალბათობა 2002 – 2009 წწ | | |
|---------------------------------|---|---------|-----------|
| | სვიმები | ბზარები | გაგლეჯები |
| ნავთობ და ნავთობპროდუქტსადენები | | | |
| 8 10 | 0,68 | 0,26 | 0,06 |
| 10 - 20 | 0,65 | 0,22 | 0,13 |
| სვიმი 20-ზე მეტი | 0,67 | 0,21 | 0,12 |
| გაზსადენები | | | |
| 8 10 | 0,22 | 0,32 | 0,46 |
| 10 - 20 | 0,29 | 0,31 | 0,40 |
| სვიმი 20-ზე მეტი | 0,43 | 0,13 | 0,44 |

ცხრილი 19ბ

ავარიული გაჟონვების აალების პირობითი ალბათობა

| ტრანსპორტის პროდუქტი | ხმელეთის უბნები | | | მიწისქვეშა უბნები | | | აალების საშუალო აალების რაოდენობა |
|----------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| | გაჟონვის საერთო რაოდენობა | გაჟონვის აალების რაოდენობა | აალების პირობითი ალბათობა | გაჟონვის საერთო რაოდენობა | გაჟონვის აალების რაოდენობა | აალების პირობითი ალბათობა | |
| საშუალო ნავთობი | 57 | 2 | 0,04 | 684 | 13 | 0,02 | 0,02 |
| დიზელის საწვავი | 10 | 0 | <0,01 | 95 | 2 | 0,02 | 0,02 |
| საქვავი | 7 | 1 | 0,14 | 95 | 0 | <0,01 | 0,02 |

| | | | | | | | |
|------------------------------|----|---|-------|-----|----|------|------|
| საწვავი | | | | | | | |
| ბენზინი | 10 | 1 | 0,01 | 298 | 12 | 0,04 | 0,04 |
| რეაქტი- ული საწვავი | 3 | 0 | <0,01 | 34 | 1 | 0,03 | 0,02 |
| მსუბუქი ნახშირ- წყლები | 3 | 1 | 0,33 | 118 | 13 | 0,11 | 0,12 |
| გაზი | 16 | 2 | 0,12 | 230 | 16 | 0,07 | 0,07 |

აალების პირობითი ალბათობის დეფექტიანი ხვრეტების ტიპისაგან დამოკიდებულება, 10 დუიმისა და მეტი დიამეტრის მქონე ნავთობ და ნავთობპროდუქტების მილსადენებისათვის და გაზსადენებისათვის, PHMSA -ის თანახმად, წარმოდგენილია ცხრილ 20-ში.

ცხრილი 20

ნავთობ, ნავთობპროდუქტების და გაზსადენების დეფექტური ხვრეტების აალების პირობითი ალბათობა

| დეფექტური ხვრეტი | გაჟონვების რაოდენობა | | აალების პირობითი ალბათობა |
|----------------------------|----------------------|---------|---------------------------|
| | სულ | აალებით | |
| ნავთობ და ნავთობპროდუქტები | | | |
| სვიშები | 105 | 0 | <0,01 |
| ბზარები | 37 | 1 | 0,03 |
| გაგლეჯები | 18 | 2 | 0,11 |
| გაზსადენები | | | |
| სვიშები | 80 | 2 | 0,03 |
| ბზარები | 45 | 3 | 0,07 |
| გაგლეჯები | 92 | 13 | 0,14 |

ამგვარად, ნავთობ და ნავთობპროდუქტების მილსადენების აალების პირობითი ალბათობა შეადგენს 0,02-0,03, გაზსადენის - 0,07-0,08, ამავე დროს ყველაზე მეტი აალების პირობითი ალბათობა (0,11-0,14) შეიმჩნევა მილსადენების "რღვევისას". EGIG და UKOPA-ს ანგარიშებში ასევე წარმოდგენილია მონაცემები ავარიების აალებით შესაბამისად - 0,04 და 0,05. გარდა ამისა, [37]-ში აღნიშნულია გაჟონვის აალების სიხშირის დამოკიდებულება მის მოცულობაზე: გაზსადენის მთელ კვეთზე გარღვევებისას აალების ალბათობა იზრდება 0,13-მდე ($D_y > 400$). CONCAWE-ს (2003-2007) და PHMSA-ს (2002-2009) მონაცემებით შეიძლება შეფასდეს ავარიული გაჟონვებისა ნავთობის დანაკარგების მოცულობები (ცხრილი 21). ცხრილის 21-ში მონაცემები აჩვენებს რომ ამერიკულ და ევროპულ მილსადენებზე ავარიების დროს ნავთობის

საშუალო კუთრი დანაკარგები შეადგენს გაჟონვების მოცულობის 11-25% და შეესაბამება "საშუალოს" (რისკის 16 საფეხური: 0,1-დან 100 ტ/წელი · 1000 კმ-ზე, დამახასიათებელი რუსეთის ნავთსადენებისათვის).

ცხრილი 21

ამერიკული და ევროპიული ნავთობსადენების ავარიების ნავთობის კუთრი დანაკარგი

| მაჩვენებლები | CONCAWE | PHMSA |
|--|---------|-------|
| დაღვრილი ნავთობის მოცულობა წელში, მ ³ | 1032 | 7018 |
| დაკარგული ნავთობის მოცულობა წელში, მ ³ | 378 | 2092 |
| დაღვრილი ნავთობის შემთხვევების რაოდენობა განხილულ პერიოდში | 49 | 788 |
| ავარიისას დაღვრილი ნავთობის საშუალო მოცულობა, მ ³ | 98 | 71 |
| ავარიისას დაკარგული ნავთობის საშუალო მოცულობა, მ ³ | 34 | 21 |
| ნავთობის შეკრების საშუალო კოეფიციენტი | 0.65 | 0,7 |
| ნავთობის კუთრი საშუალო გაჟონვები, მ ³ /წელი · 1000 კმ | 30 | 85 |
| ნავთობის საშუალო კუთრი დანაკარგები, მ ³ /წელი · 1000 კმ | 11 | 25 |

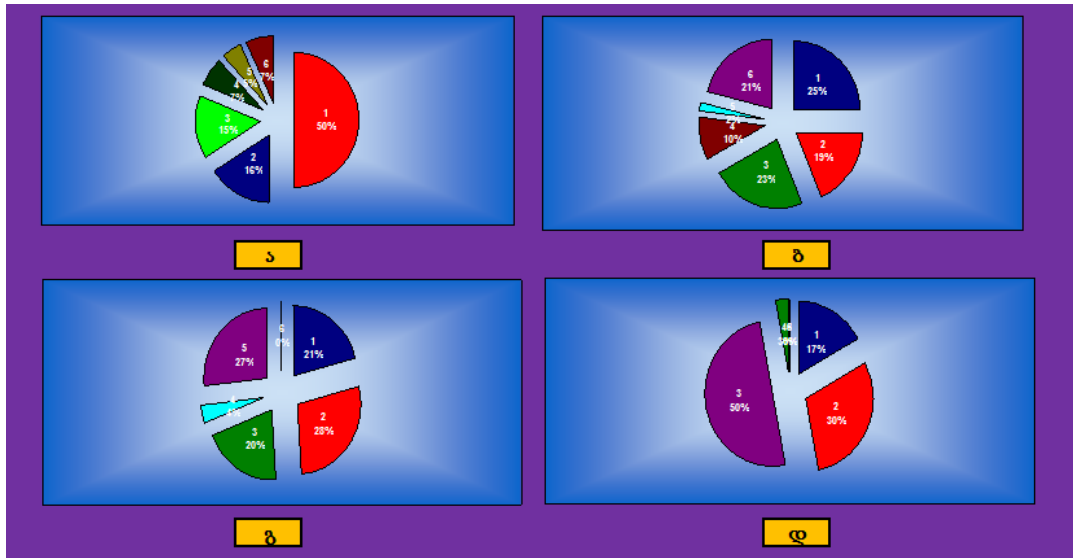
EGIG-ის, CONCAWE -ს და PHMSA-ს მონაცემების შესაბამისად გარე ზემოქმედება (მესამე პირთა საქმიანობა) - მილსადენებზე ავარიების ძირითადი მიზეზია. გარე ზემოქმედებასთან დაკავშირებული ავარიების წილი დამოკიდებულია მილსადენის დიამეტრზე, კედლის სისქესა და მისი განლაგების სიღრმეზე, დაზიანებების თავიდან ასაცილებელ მისაღებ ზომებსა და მილსადენების ადგილმდებარეობაზე (გარეუბანი თუ სოფელი).

ავარიულობაზე მილის კედლის სისქის გავლენა განხილულია [37,38]-ში. აღნიშნულია, რომ მისი გაზრდისას გარე ფაქტორის ზემოქმედება 4-ჯერ მცირდება, ხოლო 10 მმ და მეტი სისქის დროს გარე ფაქტორების ზემოქმედებით გამოწვეული გაჟონვების სიხშირე 20-30-ჯერ მცირდება.

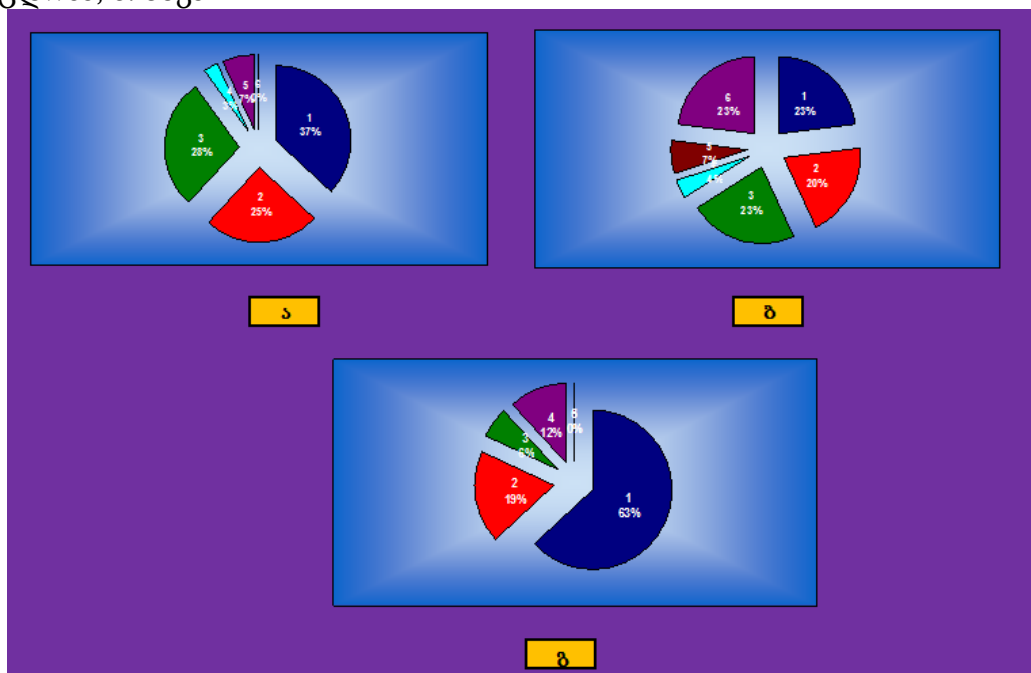
მილის კედლის სისქის გავლენა ავარიულობაზე, განხილულია [37,38]-ში. გარე ფაქტორის ზემოქმედისას 4-ჯერ შემცირებისას, ხოლო 10 მმ სისქისას გაჟონვების სიხშირე მცირდება 20-30-ჯერ.

განხილული ფაქტორების გავლენა რისკის რაოდენობრივ მაჩვენებლებზე მთლიანად აისახა მეთოდურ დოკუმენტებსა და პრაქტიკულ სამუშაოებში [46-48]. ავარიათა სიხშირის შეფასების

საფუძველში მევს პირველად [49,50]-ში შემოთავაზებული გავლენის ფაქტორების ბალური შეფასების ალგორითმი.



ნახ. 16. მაგისტრალური გაზსადენების შექმნელი მიზეზების ავარიების განაწილება: ა – EGIG (1970-2008 წწ.); ბ – PHMSA (1988-2008 წწ.); გ – UKOPA (1962-2008 წწ.); დ. Ростехнадзора (2000-2008 წწ.); 1. გარე ზემოქმედება; 2. მასალის დეფექტები; 3. კოროზია; 4. გარემოს ზემოქმედება; 5. პერსონალის შეცდომა; 6. სხვა



ნახ. 17. . მაგისტრალური ნავთობ და ნავთობპრუდუქტსადენების შექმნელი მიზეზების ავარიების განაწილება: ა – CONCAWE (1971-2007 წწ.); ბ – PHMSA (1988-2008 წწ.); გ. Ростехнадзора (1996-2008 წწ.); 1. გარე ზემოქმედება; 2. მასალის დეფექტები; 3. კოროზია; 4. გარემოს ზემოქმედება; 5. პერსონალის შეცდომა; 6. სხვა

თუმცა უკანასკნელ წლებში გავლენის რიგი ფაქტორების ცვლილება, რომლებიც დაკავშირებულია ავარიების "გარე" მიზეზებთან (სამშენებლო და მიწისმთხრელი ტექნიკის მექანიკური ზემოქმედება, გაძარცვის მიზნით ჩაჭრა), მშეებლობის ახალი ტექნოლოგიების დანერგვა ("მილი მილში"), მიკროდაგვირაბება და დიაგნოსტიკის მონაცემთა აღრიცხვა მითხოვს ამ მეთოდური დოკუმენტაციის დებულებათა კორექტირებას.

განვიხილოთ ბალურ-ფაქტორული მეთოდიკა [51,52] და რომელიც მიეკუთვნება მტყუნებათა სიხშირის შეფასების ე.წ. "ნახევრად რაოდენობრივ" მეთოდიკებს, რომლებშიც მოსალოდნელი ავარიულობა გაზსადენებისათვის იანგარიშება ანალოგიურ ობიექტებზე მტყუნებათა საშუალო სიხშირის კორექტირების გზით. მეთოდიკის ძირითადი იდეა იმაში მდგომარეობს, რომ გაზსადენის ტრასის განხილული n უბნისთვის ისაზღვრება გავლენის საერთო k_G კოეფიციენტის მნიშვნელობა, რომელიც გვიჩვენებს თუ რამდენჯერ განსხვავდება მოსალოდნელი ავარიულობის სიხშირე ამ უბანზე გაზსადენებზე ავარიების საშუალოსტატისტიკური $\bar{\lambda}$ სიხშირისაგან ნაჩვენებ უბანზე სხვადასხვა ნეგატიური და პოზიტიური, გარე და შიდა ფაქტორების გავლენის ხარჯზე. ამგვარი მეთოდიკა ოპერირებს 7-ად დაჯგუფებული 45 ფაქტორით: "მესამე პირთა შესაძლო ზემოქმედება", "გარე კოროზია", "კოროზია დამაბულობით", "მილებისა და მოწყობილობების წარმოების ხარისხი", სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების ხარისხი", "ბუნებრივი ზემოქმედებები", "ტექნიკური ექსპლუატაციის დონე", დადგენილი ავარიების სტატისტიკური მონაცემების ანალიზის შედეგების მიხედვით, აგრეთვე ექსპერტული გზით წონითი კოეფიციენტებითა და ბალური შეფასების სკალებით თითოეული ფაქტორისთვის თითოეულ ჯგუფის შიგნით. ამასთან, ტრასის n უბანზე მოსალოდნელი ავარიულობის სიხშირე λ_n განისაზღვრება გამოსახულებიდან:

$$\lambda_n = \bar{\lambda}k_G = \lambda_{cp}k_Rk_Ak_K \frac{B_n}{B = \text{const}} = \bar{\lambda}k_Rk_Ak_K \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J(i)} p_i q_{ij} B_{ij}}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J(i)} p_i q_{ij} \bar{B}_{ij}}, \quad (1.1)$$

სადაც B_n არის მაგისტრალური მილსადენის n უბნის ბალური შეფასება; I - გავლენის ფაქტორების ჯგუფების საერთო რიცხვია; i - ჯგუფის ნომერი; j - გავლენის ფაქტორის ნომერი; \bar{B}_{ij} - გავლენის ij ფაქტორის საშუალოსტატისტიკური მნიშვნელობის ბალური შეფასება.

როგორც ფორმულიდან ჩანს, გავლენის საერთო k_G კოეფიციენტი ტოლია რეგიონულის ($k_R = 0,8 \div 1,23$), ასაკობრივის ($k_A = 0,5 \div 1,5$) და კატეგორიის ($k_K = 0,7 \div 1,13$), (რომელიც არსებითად ითვალისწინებს გაზსადენის კედლის სისქის გავლენას) და ლოკალურის ნამრავლისა. ლოკალური კოეფიციენტი ითვალისწინებს გაზსადენების ყველა განსახილველ უბანზე მოქმედი ადგილობრივი ფაქტორის ერთობლივ გავლენას მოსალოდნელი ავარიების სიხშირეზე, p_i ჯგუფის წონითი სტატისტიკური კოეფიციენტების და ერთობლივი ბალური B_{ij} შეფასებებისა და გავლენის შიგაჯგუფური ლოკალური ფაქტორების შესაბამისი q_{ij} წონითი ფაქტორების გათვალისწინებით.

გაზსადენის კონკრეტული უბნის განხილვისას ისაზღვრება გავლენის თითოეული ფაქტორის კონკრეტული "ნატურალური" მნიშვნელობა ტრასის ნაჩვენებ ადგილზე და მისი შესატყვისი ბალების რიცხვი სპეციალურად დამუშავებული ბალურ-ფაქტორული ფუნქციების მეშვეობით, რომელიც შემდგომ "იწონება" კოეფიციენტებით p_i და q_{ij} . ყველა ფაქტორის შეწონილი ბალური შეფასებების ჯამი იძლევა უბნის შეჯამებულ ფაქტორივ შეფასებას. უბანზე მოსალოდნელი ავარიების სიხშირე მიიღება გავლენის ლოკალური კოეფიციენტის გამრავლებით ინტეგრალურ k_R, k_A, k_K კოეფიციენტებზე, (განისაზღვრება გაზსადენის განსახილველი უბნის განთავსების ადგილის (რეგიონის), ხანდაზმულობის

და კატეგორიის შესაბამისად), და ავარიათა საშუალოსტატისტიკურ სიხშირეზე.

მეთოდის ძირითადი ღირსებებია: მიზნობრივი დანიშნულება სახელდობრ გაზსადენებისათვის მათი ტექნოლოგიური სპეციფიკისა და მასთან დაკავშირებული განსაკუთრებულობით ავარიების სიხშირის მიზეზების ნაწილში, აგრეთვე რღვევის პროცესის მიმდინარეობის ფიზიკური თავისებურებების გათვალისწინებით; გავლენის ფაქტორებისა და ქვეფაქტორების ერთობლიობის ფორმირება სპეციალურად დამუშავებული დეტალური “მტყუნებების” ხის ანალიზის შედეგების მიხედვით, რომელიც გამოხატავს გაზსადენებზე ავარიების წარმოქმნის მიზეზ-შედეგობრივ მექანიზმს; ამასთან გათვალისწინებულია, შესაძლებლობის ფარგლებში, ყველა ძირითადი გავლენის მქონე გაზსადენებისთვის ჩვეული ფაქტორი; ითვალისწინებს გაზსადენებზე ავარიულობის რუსულ სპეციფიკას, ვინაიდან ავარიების საშუალოსტატისტიკური (ბაზური) სიხშირე, k_R, k_A, k_K კოეფიციენტები, და გავლენის ფაქტორების ჯგუფების p_i წონითი კოეფიციენტები განსაზღვრულია სტატისტიკური მონაცემების ანალიზის საფუძველზე მაგისტრალურ გაზსადენებზე ავარიების რაოდენობისა და მიზეზების წილობრივი განაწილების მიხედვით; მეთოდის ლოგიკურობა და მათემატიკური ფარდობითობა (შემოტანილია 10 ბალიანი სკალა ავარიების წარმოქმნის ალბათობაზე გავლენის ინტენსიურობის გასაზომად); ფაქტორების თავისი ბუნებიდან გამომდინარე მრავალგვარობა, აგრეთვე გაზსადენის ჰიპოტეტური საშუალოსტატისტიკური უბნის ნორმირება მანორმირებელ საბალო \bar{B} შეფასებასთან; ავარიის ბაზური სიხშირის, გავლენის λ თითოეული ფაქტორის წინასწარ განსაზღვრული მნიშვნელობების შესაბამისი ფორმულა (1); ინტეგრალური k_R, k_A, k_K კოეფიციენტები მათემატიკურად “გაწმენდილია” p_i და q_{ij} წონითი კოეფიციენტების მადუბლირებელი გავლენისაგან და იმ ფაქტორებისაგან,

რომლებიც თავის თავში შეიცავს რეგიონულ, ხანდაძმულობასა და კატეგორიულობის ასპექტებს.

ანალოგიური სქემითაა აგებული მეთოდის (მოსალოდნელი ავარიების სიხშირის შეფასებით ნაწილში) ნავთობსადენებისათვის სითხის მილსადენებზე ავარიების სპეციფიკის გათვალისწინებით [53].

[45] სამუშაოში არსებული ცხადი პლუსებისა და ზემოხსენებული მეთოდის გამოყენების დადებითი გამოცდილების გარდა, აღნიშნავენ, რომ მასში აღწერილია მაგისტრალური გაზსადენების ავარიული დეკერმეტიზაციის სიხშირის ანგარიშის ალგორითმი უცხოური გაზსადენების ავარიულობის ანალიზის საფუძველზე [51,56]. მაგრამ ჩვენი აზრით, მოცემული ალგორითმი შეიცავს რიგ შეცდომებს, რომლებიც გვაძლევს მაგისტრალურ გაზსადენებზე ავარიების სიხშირის პროგნოზირების ამოცანის გადასაწყვეტისას მისი გამოყენებაში ეჭვის შეტანის საფუძველს.

არ შეიძლება დადგინდეს ერთიანი “დაზიანებების საბაზო (საშუალო) სიხშირე” როგორც გაზსადენებისათვის, ისე სითხიანი მილსადენებისათვის, როგორც ეს გაკეთებულია სამუშაოში [51], რადგან ობიექტურად, სტატისტიკით რუსეთის მილსადენებზე ერთი და იგივე ზომის დაზიანებების საშუალო კუთრი სიხშირეები მნიშვნელოვნად განსხვავდება. კერძოდ, რღვევებისთვის “სრულ კვეთაზე” განსხვავები სიხშირეებს შორის შეადგენს 2-ჯერ უფრო მეტს: 0,32 ავარია 1000 კმ-ზე წელიწადში რუსეთის ნავთობსადენებზე 1996-2007 წლებში, და 0,14 ავარია 1000 კმ-ზე წელიწადში - “გაზპრომის” მაგისტრალურ გაზსადენებზე 1996-2009 წლებში. სამართლიანობისთვის უნდა აღინიშნოს, რომ [51] სამუშაოსაგან განსხვავებით [57] -ში საბაზო სიხშირეები გაზსადენებისთვის და ნავთოსადენებისათვის მოყვანილია ცალ-ცალკე: ნავთოსადენებისათვის - 0,27, გაზსადენებისთვის - 0,14 ავარია 1000 კმ-ზე წელიწადში, მართალია ეს რატომღაც ვრცელდება მხოლოდ ამჟამად პროექტირებად მაგისტრალურ მილსადენებზე.

აგრეთვე ჩვენი აზრით არ შეიძლება მათი წარმოქმნის მიზეზების მიხედვით ავარიების წილობრივი განაწილება გავრცელდეს სითხის მილსადენებზე, რადგანაც უკანასკნელთათვის ნახსენები განაწილება აბსოლუტურად სხვაა. "გაზპრომის" მაგისტრალურ გაზსადენებზე და რუსეთის მაგისტრალურ ნავთობგაზსადენებზე წარმოქმნის მიზეზებით გამოწვეული ავარიების განაწილება მოყვანილია ცხრილ 21-ში.

ასე, კოროზიით გამოწვეული ავარიების რაოდენობა შეადგენს მათი საერთო რაოდენობის 43%-დან 49,9 %-მდე (დაძაბულობის ქვეშ მყოფი კოროზიის დიდი წილის გამო ყველა ავარიის 44,6% 1996-009 წწ). მაშინ, როდესაც ამ მიზეზით ნავთობსადენებზე ხდება ავარიების მხოლოდ ?% . ანალოგიური თანაფარდობები, როგორც ეს ცხრილი 22-დან ჩანს, შეიმჩნევა ავარიის სხვა მიზეზებითაც: მექანიკური დაზიანებები მესამე პირთა მხრიდან დივერსიების ჩათვლით, 0,16% 62%-ის წინააღმდეგ; მილების და მოწყობილობების ქარხნული დეფექტები - 13% 6%-ის წინააღმდეგ; მაგისტრალური გაზსადენების ექსპლუატაციის წესების დარღვევა - 0,6-1,5% 9%-ის წინააღმდეგ.

ცხრილი 22

რუსეთის მაგისტრალური ნავთობგაზსადენების ავარიების განაწილება

| ავარიის მიზეზი | ავარიის მიზეზების განაწილება, % | | |
|--|---|--------------------------------|--------------------|
| | ნავთობსადენის სახაზო ნაწილი 1996-2007 წწ. [1] | შპს "Газпром"-ის სახაზო ნაწილი | |
| | | 1996 – 2005 წწ. | 1996 – 2009 წწ |
| გარე და შიგა კოროზია | 7 | 43,1 | 49,9 |
| სამშენებლო დეფექტები | 13 | 19,7 | 22,6 |
| მექანიკური დაზიანება მესამე მხრიდან | 14 | 10,8 | 11,8 |
| დივერსია, შეჭრები | 48 | 5,7 | 2001 წლის ანგარიში |
| გაზსადენის ექსპლუატაციის წესები დარღვევა | 9 | 0,6 | 1,6 |
| ინიძმილების და მოწყობილობის ქარხნული დეფექტები | 6 | 13,0 | 13,1 |
| სტიქიური უბედურობა | მიზეზი არ არის | 6,3 | 1,0 |
| სხვადასხვა | 3 | 0,6 | 0 |
| სულ | 100 | 100 | 100 |

ასევე არსებობს დასავლეთ ევროპის გაზსადენებზე ინცინდენტების ანალიზის შედეგად მიღებული ავარიების წილობრივი განაწილებაც, რომელიც კარდინალურად განსხვავდება რუსეთის გაზსადენებზე ავარიების მიზეზების წილობრივი განაწილებისაგან (ცხრილი 23).

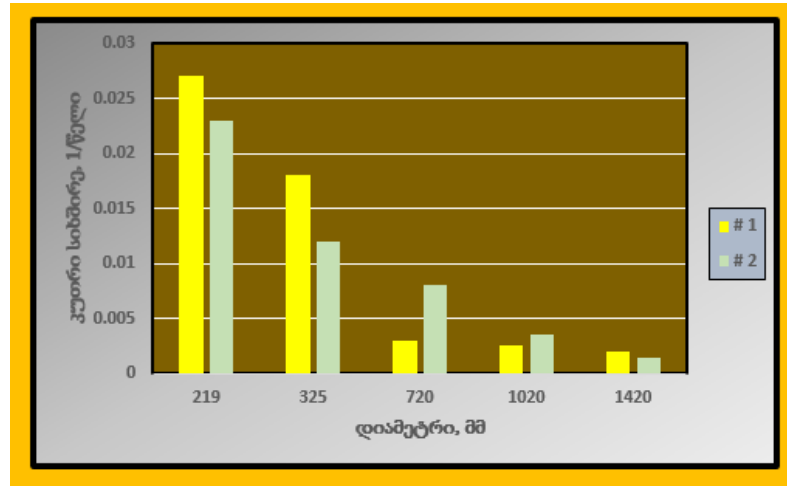
ცხრილი 23

რუსეთის გაზსადენების ავარიების მიზეზების წილური განაწილება

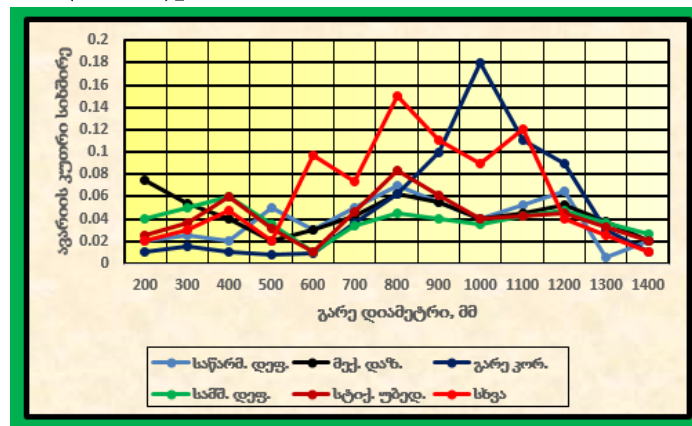
| მიზეზის ავარია | ავარიების მიზეზების განაწილება, % | | |
|--|---|---|--------------------------|
| | დასავლეთი ევროპის სახაზო ნაწილის მაგ.ნავთ-ები 1970-2007 წწ [1,11] | მაგ.ნავთ-ების სახაზო ნაწილი, შპს "Газпром" 1996-2009 წწ | |
| | | ყველა დაზიანება | გაგლეჯა (არასრული კვეთი) |
| კოროზია | 15,4 | 0 | 49,9 |
| სამშენებლო და ქარხნული დეფექტები | 16,5 | 8,5 | 35,7 |
| გარე ზემოქმედა (მექანიკური დაზიანებები მესამე პირებით) | 49,5 | 68,3 | 11,8 |
| პერსონალის შეცდომა | 4,6 | 0 | 1,6 |
| ბუნებრივი მოვლენები (გრუნტის მოძრაობა და ა.შ.) | 7,3 | 23,2 | 1,0 |
| სხვა | 6,7 | 0 | 0 |
| სულ | 100 | 100 | 100 |

ამ მთავარი არაკორექტული წინამძღვრების გამო, ძირითადად მიმდინარეობს [17,18]-ში გადმოცემული მეთოდის დანარჩენი დაუხვეწაობა. ასე, მასში ფიგურირებული შემასწორებელი $k_{GZ}(D)$, $K_{GM}(D)$, $K_{OS}(D)$ -ს კოეფიციენტების ექსპონენციალური დამოკიდებულებები ავარიების წილებთან ისეთი მიზეზებით, როგორცაა "გარე ზემოქმედება", "გრუნტის მოძრაობა", "ოპერატორის შეცდომა" მისადენის კედლის d სისქეზე ან D დიამეტრზე, არის სხვა, თუ არა ავარიების რაოდენობრივი სტატისტიკური მონაცემების რეგრესიული ანალიზის შედეგები, რომლებიც შესაბამისი მიზეზით მომხდარა სხვადასხვა დიამეტრისა და სისქის დასავლეთევროპულ გაზსადენებზე. მაგალითად, ნახ. 18-ზე ყვითელი ფერით ნაჩვენებია დასავლეთევროპულ გაზსადენებზე "ოპერატორის შეცდომით" მომხდარი ავარიების კუთრი სიხშირის საანგარიშო დამოკიდებულება მეთოდულად [53,58,59]-ში მოყვანილ გაზსადენის დიამეტრზე, ხოლო მწვანე -

ანალოგიური დამოკიდებულება, რომელიც აგებულია რუსეთის გაზსადენებზე 1996-2005 წლებში მომხდარი ავარიების შესახებ სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით [51]. ნახ. 19-ზე ნაჩვენებია 1996-2005 წლებში “გაზპრომის” გაზსადენებზე სხვადასხვა მიზეზით მომხდარი ავარიების კუთრი სიხშირის დამოკიდებულება მაგისტრალური გაზსადენის დიამეტრზე.



ნახ. 18. „პერსონალის შეცდომის“ გამო, ევროპული და რუსეთის მაგისტრალური გაზსადენების ავარიების კუთრი სიხშირის დამოკიდებულება დიამეტრზე: 1. არსებული მეთოდიკა $k_{OS} = \exp[-0,004(D - 264)]$; 2. შპს “Газпром газнадзор”-ი (1996-2005)



ნახ. 19. 1996-2005 წწ-ში ავარიების კუთრი სიხშირის დამოკიდებულება მაგისტრალური გაზსადენების დამოკიდებულება დიამეტრზე (შპს “Газпром газнадзор”-ის მონაცემები): 1. საწარმოო დეფექტები; 2. დაზიანება ექსპლუატაციისას (დივერსია); 3. გარე კოროზია; 4. სამშენებლო დეფექტები; 5. სტიქიური უბედურება; 6. სხვა

მიზეზში “გარეშე ზემოქმედება” გავალისწინებულია მხოლოდ სამი ფაქტორი: მაგისტრალური მილსადენების კედლის სისქე, მაგისტრალური

მილსადენების ჩალაგების სიღრმე და მაგისტრალური მილსადენების მიერ გზებისა და საინჟინრო კომუნიკაციების გადაკვეთა. ამასთან, იგნორირებულია ისეთი მნიშვნელოვანი ფაქტორები, როგორცაა მოსახლეობის სიმჭიდროვე, მაგისტრალური მილსადენების სიახლოვეს სამეურნეო საქმიანობის აქტიურობა, მისი დაცვის ზონის მდგომარეობა, ტრასის პატრულირების სიხშირე და სხვ.

მიზეზში “სამშენებლო წუნი და მასალების დეფექტები” გათვალისწინებულია მხოლოდ ერთი ფაქტორი და შესაბამისად მოცემულია ერთი შემასწორებელი k_{wd} კოეფიციენტი, რომელიც ერთის ტოლია იმ შემთხვევაში, თუ მაგისტრალური მილსადენები აგებულია ნორმატიული დოკუმენტების მოთხოვნებთანა (“თანამედროვე მასალების, კონტროლის საშუალებების მშენებლობისას და გაუმჯობესებული ლითონის გამოყენება, მაგრამ ექსპლუატაცია ხდება ძველი წესებით”) შესაბამისად და შეიძლება დაინიშნოს ექსპერტის მიერ. იმის შესახებ, თუ ამა თუ იმ პირობებში რამდენად უნდა შემცირდეს კოეფიციენტის მნიშვნელობა, სამუშაოში [51] არაფერია ნათქვამი, ხოლო ოფიციალურ დოკუმენტში [52] მოყვანილია ერთი მნიშვნელობა $k_{wd} = 0,07$ ცხოვრების ყველა შემთხვევისთვის, რაც გვაყარაულებს.

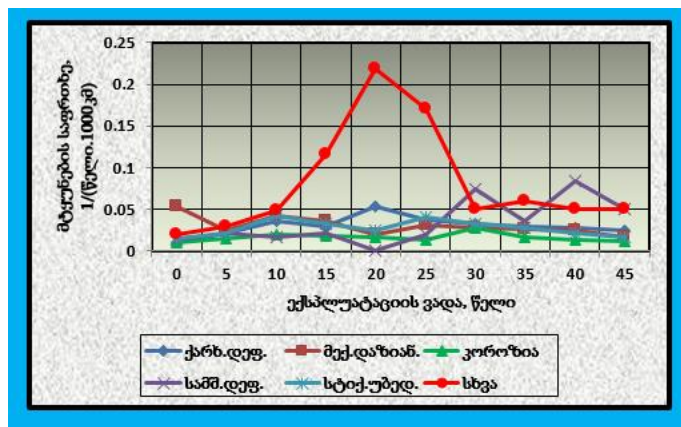
განზოგადებული მიზეზის “კოროზიის” განხილვისას გათვალისწინებულია ორი ფაქტორი: მაგისტრალური მილსადენების კედლის სისქე და მაგისტრალური მილსადენების დაცვის მისაღები სისტემა. მაგრამ სინამდვილეში მოცემულ ფაქტორს შეესაბამება ძალზე ლაკონური k_s კოეფიციენტი რომელიც აღებულია ერთის ტოლად მილსადენებისთვის, რომლებიც აგებულია ნორმატიული დოკუმენტების შესაბამისად.

მიზეზში “გრუნტის მოძრაობა” ასევე გათვალისწინებულია მხოლოდ ორი ფაქტორი: მაგისტრალური მილსადენების დიამეტრი (შემასწორებელი კოეფიციენტი გამოსახულია ექსპონენციალური დამოკიდებულებით $k_{os}(D) = \exp[-0,0015(D - 274)]$) და მაგისტრალური მილსადენების

გატარება წყლის წინაღობებისა და დაჭაობებული მონაკვეთების გავლით. ისეთი მნიშვნელოვანესი ფაქტორები, როგორცაა მაგისტრალური მილსადენების გატარება სახიფათო ზონების გავლით არ არის გათვალისწინებული და შესაბამისი კოეფიციენტები არ არის შეყვანილი.

მიზეზში “ოპერატორის შეცდომა” გათვალისწინებულია ერთი ფაქტორი - გაზსადენის დიამეტრი, რომელიც ფიგურირებს ექსპონენტული ფუნქციის $k_{os}(D) = \exp[-0,004(D - 264)]$ შემასწორებელი კოეფიციენტის არგუმენტად (ნახ. 20).

განსაკუთრებულად უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ განხილულ მეთოდიკებში [53,57,58] არ არის გათვალისწინებული ისეთი გავლენის უმნიშვნელოვანი ფაქტორი, როგორცაა მაგისტრალური მილსადენების ექსპლუატაციის ვადა (ნახ. 20).



ნახ. 20. მაგისტრალური გაზსადენების შპს “Газпром”-ის ავარიების კუთრი სიხშირის დამოკიდებულება სხვადასხვა მიზეზებისას 1996-2005 წწ-ში: 1. საწარმოო დეფექტები; 2. დაზიანება ექსპლუატაციისას (დივერსია); 3. გარე კოროზია; 4. სამშენებლო დეფექტები; 5. სტიქიური უბედურება; 6. სხვა

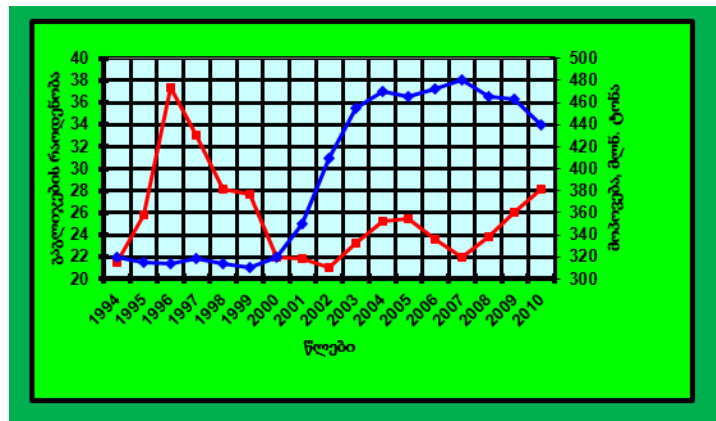
[52] მეთოდიკისაგან განსხვავებით სტანდარტში [56] ავარიად განიხლება რღვევები “სრულ კვეთაზე” გაზის გარემოში გამოდინებით. ისინი შეიძლება განვითარდეს სხვადასხვა სცენარით, რომელიც ჯდება ოთხ ტიპურ ჯგუფად: “ხანძარი ქვაბულში”, გაზის ორი ანთებული ჭავლი”, “ქვაბულიდან გაზის დაბალსიჩქარიანი შლეიფი აალების გარეშე” და “ორი ჭავლი აალების გარეშე” (ცხრილი 23 [54,55,6061]).

ცხრილის 24-ის განხილვისას ცალკე ღირს შევჩერდეთ EGIG-ის მონაცემთა ბაზაში [61] ფიგურირებულ მაგისტრალური მილსადენების გაჰერმეტიზაციის ტიპებზე. უნდა აღინიშნოს, რომ EGIG-ის მონაცემთა ბაზაში შეტანილი გაზსადენების დაახლოებით 20% ექსპლუატაციას გადის შედარებით მცირე მუშა წნევებისას (1,5-დან 4,5 მპა-მდე) და მათი მნიშვნელოვან ნაწილს (52%) აქვს დიამეტრი 430 მმ-მდე, დიდდიამეტრიანი (1000 მმ-ზე მეტი) გაზსადენების წილი კი შეადგენს დაახლოებით 10 %.

ცხრილი 24

მაგისტრალური გაზსადენების რისკი

| დეგერმეტაზიციის ტიპი და ხვრეტის დიამეტრი, მმ | აალების პირობითი ალბათობა დასავლეთ ევროპის მონაცემები EGIG-ის მიხედვით [12,15,16] | | |
|---|---|--------------------|-----------------|
| | 1970 – 2011 წწ. | 1970 – 2004 წწ. | 1970 – 2007 წწ. |
| | <20 მმ (ნახვრეტი, სვიშები) | 0,032 | 0,03 |
| ≥ 20 მმ, მაგრამ არა უმეტეს გაზსადენის დიამეტრის (საშუალო გაჟონვები) | 0,021 | 0,02 | 0,02 |
| სრული გარღვევა (ყველა დიამეტრის გაზსადენები) | მონაცემები არ არის | მონაცემები არ არის | 0,13 |
| სრული გარღვევა (16 დიუმზე ნაკლები დიამეტრი (406 მმ)) | 0,095 | 0,10 | 0,10 |
| სრული გარღვევა (16 დიუმზე მეტი დიამეტრი (406 მმ)) | 0,250 | 0,25 | 0,33 |



ნახ. 21. 1. მილსადენების გაგლეჯების რაოდენობა (ათასი); 2. ნედლი ნავთობის მოპოვება (მლნ. ტონა)

ნახ. 21-ზე წარმოდგენილია მილსადენების გაგლეჯების რაოდენობისა (ათასი) და ნედლი ნავთობის მოპოვების (მლნ. ტონა) (გაზის კონდენსატის ჩათვლით) დროში შერწყმული გრაფიკების დინამიკა.

რუსეთში გაგლეჯების რაოდენობამ შეადგინა არა ნაკლებ 0,22-0,3 - 1000 კმ-ზე [62]. თუმცა ჩვენი ანალიზი აჩვენებს, რომ 10 წლის განმავლობაში ავარიულობამ ნავთობსადენებზე შეადგინა დაახლოებით 0,36 გაგლეჯების 1000 კმ-ზე.

თავი 2. მაგისტრალური ნავთობსადენებისა და ნავთობპროდუქტებ სადენების ავარიების დროს ჰიდროგაზოდინამიკური მოვლენების გამოკვლევა

2.1. მაგისტრალური ნავთობსადენებისა და ნავთობპროდუქტების სადენების ავარიების რიცხვითი მეთოდის დამუშავება

ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების დაღვრის მოცულობათა რაოდენობრივი შეფასება აუცილებელია ავარიებების გამოძიებისას, საპროექტო დოკუმენტაციის, საწარმოო უსაფრთხოების დეკლარაციის, ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების დაღვრის ლიკვიდაციის გეგმის შეფასებისას, დაზღვევისა და სხვა სამილსადენე ტრანსპორტის ობიექტების უსაფრთხოებასთან დაკავშირებული დოკუმენტების დასაბუთებისას.

მიუხედავად დეჰერმეტიზებული მილსადენებიდან სითხეების დაღვრის მოცულობათა ანგარიშის შესახებ თეორიულ სამუშაოთა საკმაოდ დიდი რიცხვისა [63-70], პრაქტიკაში ხშირად დაშვებულია გამარტივება და უხეში შეცდომებიც კი, რომლებსაც მივყევართ ავარიების შედეგების მასშტაბის დამახინჯებამდე და მიღებული შედეგების აბსურდულებამდეც კი. საწარმოო უსაფრთხოების დეკლარაციების ანალიზმა გამოავლინა ტიპიური შეცდომების შემდეგი ჯგუფები სამილსადენე ტრანსპორტის ობიექტებზე ავარიის შემთხვევაში სახიფათო სითხეების შესაძლო დანაკარგების ანგარიშის დროს: 1) გრძელი მაგისტრალური მილსადენის ავარიული გაჰერმეტიზაციის რამდენიმე წუთის განმავლობაში თანმხლები არსებითი არასტაციონარული გარდამავალი პროცესების იგნორირება,

სახელდობრ იმ დროის განმავლობაში, როდესაც ჩერდება ტუმბოები, ამუშავდება ჩამკეტი არმატურა; 2) ჰიდროსტატიკის ბერნულის ფორმულის გამოყენება ჰიდროსტატიკური პროცესის კვაზისტატიკური მიახლოებისთვის მიღების "სრული" გარღვევების დროს (ან დეფექტური ნახვრეტის წარმოქმნისას დიამეტრით $d > (0,05 \div 0,1)D$, სადაც D - მილსადენის შიგა დიამეტრია); 3) განტვირთვის ტალღის მოქმედების პირობებში სითხეში ორთქლგაზოვანი ღრუს წარმოქმნის შესაძლებლობის გაუთვალისწინებლობა, მაგალითად ტრასის პროფილის გადასავლელზე ("საუღელტეხილო წერტილებში"); 4) პირველადი სითხის პროდუქტის დინებაში გაზ-სითხის ნაკადების წარმომნის პროცესის იგნორირება ან შეცდომები გათვალისწინებისას ანგარიშის დროს; 5) დაღვრის მოცულობების წამატება მილსადენის კვეთის ნაკადის მიერ არასრული გადაფარვის შემთხვევაში.

ამასთან დაკავშირებით დაწვრილებით განვიხილოთ მილსადენის ავარიული დეჰერმეტიზაციის დროს ნავთობის გამოდინებისა და მოცულობის ანგარიშის ალგორითმი. განვიხილოთ [63] ავარიული გამოტყორცნის ჯამური მოცულობა, რომელიც შედგება სამი მდგენელისგან: V_1, V_2, V_3 - დაწნევითი რეჟიმით გამოდენილი ნავთობის მოცულობებისგან, ე.ი. დაზიანების მომენტიდან გადატუმბვის გაჩერებამდე; უდაწნეო რეჟიმით - გადატუმბვის შეჩერების მომენტიდან ჩამკეტი არმატურის დაკეტვამდე; ურდულის დაკეტვის მომენტიდან გაჟონვის შეწყვეტამდე.

ნავთობის ავარიული გამოფრქვევის პროცესის სტადიებად განხილულ დაყოფას გააჩნია არსებითი ღირსებები, როგორც ანგარიშის შედეგების პრაქტიკული გამოყენებისთვის, ისე ანგარიშის ჩასატარებელი მოდელის არჩევის მიზნისათვის. პრაქტიკულობის თვალსაზრისით სტადიებად დაყოფა იძლევა საშუალებას, რათა განისაზღვროს მოქმედებათა ეფექტურობა ნავთობის გადატუმბვის შეჩერებისას. ნავთობის დაღვრის მოცულობის ანგარიშისადმი მიდგომის არჩევისას ზემოხსენებული სტადიებად დაყოფა ნებას გვრთავს თითოეული

მათგანისათვის გამოვავლინოთ უპირატესი პროცესები, გამოვიყენოთ ოპტიმალური მიდგომები. სამი სტადიიდან თითოეულისთვის გამოფრქვევის სიჩქარე და მოცულობა, აგრეთვე მილსადენზე ნავთობის დინების მახასიათებლები განისაზღვრება რიგი ფაქტორებით. ამასთან, ავარიული სიტუაციის განვითარების სხვადასხვა ეტაპზე პირველ პლანზე შეუძლია გამოვიდეს და გააკეთოს განმსაზღვრელი როლი სხვადასხვა ფიზიკურმა პროცესმა.

ჩამოვთვალოთ მილსადენში ნავთობის დინებაზე ამა თუ იმ ხარისხით გავლენის მომხდენი ფაქტორები და პროცესები: რეალური მახასიათებლების მქონე და სხვადასხვა რეჟიმში მომუშავე ტუმბოების მიერ მილსადენში ნავთობის გადაქაჩვა; მილსადენის შიგნით ნავთობის გადაადგილება სიმაღლეთა სხვაობის პირობებში, მათ შორის მილსადენის განიკვეთის ნავთობის მიერ არასრული გადაფარვისას; დარღვეული მილსადენიდან ნავთობის გადმოდენა, მათ შორის გრუნტსა და წყალში; მილსადენის კედლებზე ხახუნით დანაკარგები; ტალღური პროცესები ნავთობსადენში; სხვადასხვა ტიპის სხვადასხვა დროს და განსხვავებული სიჩქარით ამუშავებული ჩამკეტი არმატურის მეშვეობით ნავთობის ნაკადის გადაკეტვა; ნავთობსადენში გაზოვანი ღრუების წარმოქმნა და მათი ურთიერთქმედება ნავთობის ნაკადთან; მილსადენზე დამცავი სარქველების ამუშავება, ვანტუზების გაღება, სხვადასხვა მარეგულირებელი მოწყობილობების მოქმედება; ტრასაზე მილსადენის დიამეტრის ცვლილება; ნებისმიერი ტოპოლოგიის განშტოების არსებობა; მილსადენში სხვადასხვა თვისების ნავთობის ტრანსპორტირება.

უპირობოდ, ჩამოთვლილი ფაქტორების ნაწილს აქვს პირველხარისხოვანი მნიშვნელობა დაღვრების მოცულობის მოდელირებისათვის. მაგალითად, ადგილის რელიეფის გათვალისწინება, რომელზეც გადის ნავთობსადენი ან ხახუნზე დანაკარგების გათვალისწინება მილსადენში ნავთობის დინების მნიშვნელოვანი სიჩქარის დროს.

შეიძლება მოგვეჩვენოს, რომ ჩამოთვლილი პროცესების გათვალისწინება წარმოადგენს რთულ ამოცანას და მილსადენში ნავთობის დინების (და გამოდინების) აღწერა განცხადებული სსრულით საერთოდ შეუძლებელია. სინამდვილეში კი თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიები ამ ამოცანის გადაწყვეტის საშუალებას იძლევა. მაგალითად ნავთობის ერთგანზომილებიან დინებასთან მიყენებლი ერთ-ერთი რიცხვითი მეთოდი [69].

განვიხილოთ მოდელის აღწერა, რომელიც ითვალისწინებს ნავთობის მილსადენში დეჰერმეტიზაციის მომენტიდან დაღვრის დამთავრებამდე განსაზღვრულ მოძრაობას. მოცულობის და გამოფრქვევის სიჩქარის კორექტული ანგარიშისთვის პირველ რიგში აუცილებელია ძირითადი ფაქტორების გათვალისწინება. თუ მათ არ გავითვალისწინებთ, მაშინ შეიძლება მივიღოთ დინების არსებითად დამახინჯებული სურათი და, როგორც შედეგი, გაჟონვის მოცულობათა არასწორი შეფასებები, და რადგანაც ისინი ამოსავალი წერტილია ყველა შემდგომი შეცდომისა, მან მათ განსაზღვრაში შეიძლება მიგვიყვანოს დამახინჯებამდე რისკისა და ზარალის მაჩვენებლების გაანგარიშების დროსაც.

თუმცა, დღეისთვის შეიქმნა სიტუაცია, როდესაც მაგისტრალური ნავთობგაზსადენების რისკის ანალიზის დროს ყოველთვის კორექტულად არ გამოიყენება [63]-ში ჩამოყალიბებული პრინციპები. გაჟონვის მოცულობათა განსაზღვრისას ერთ-ერთი ტიპური შეცდომათგანია ის, რომ გაწეილ მილებში დინამიურად ცვალებადი ნაკადების საანგარიშოდ ხახუნის არსებითი ზეგავლენით გამოიყენება ჰიდროსტატიკის ფორმულები. მაგალითად იყენებენ გამოდინების სიჩქარის განსაზღვრისას მოცულობიდან, რომელშიც იმყოფება უძრავი სითხე. გამოდინება ხდება სითხის დეჰერმეტიზაციის ნახვრეტის დონის ზემოთ ΔH სიმაღლის სვეტის არსებობის ხარჯზე:

$$Q = \mu S \sqrt{2g\Delta H}, \quad (2.1)$$

სადაც Q - არის დეფექტური ნახვრეტის ნავთობის ხარჯია; $\mu = 0,6$ - ხარჯის კოეფიციენტი; S - დეჰერმეტიზაციის ნახვრეტის ფართობია; g - თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაა.

ფორმულა (2.1) გამოდგება გამოდინების ყველა სტადიისათვის. მოცულობები W_1 და W_2 განისაზღვრება შესაბამისი ხარჯების Q_1 და Q_2 ტუმბოს გამორთვისთვის აუცლებელ τ_1 დროის, და იმ დროის τ_2 ხარჯზე, რომელიც გადაითვლება ტუმბოს გაჩერებიდან ჩამკეტი არმატურის მიერ მილსადენის სრულ გადაკეტვამდე.

$$W_1 = \tau_1 Q_1 \text{ და } W_2 = \tau_2 Q_2. \quad (2.2)$$

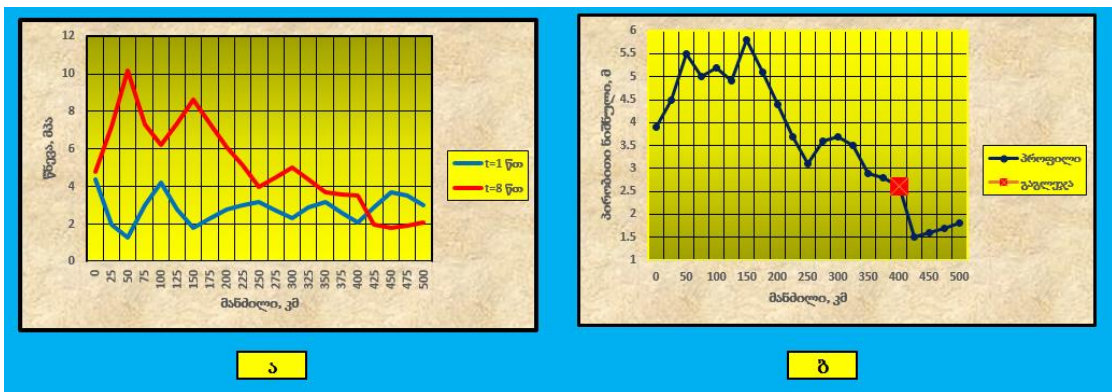
სიდიდე ΔH შეირჩევა სიმაღლეთა მაქსიმალური ვარდნილისაგან, ვინაიდან ივარაუდება, რომ გამოტყორცნის განმსაზღვრელი ფაქტორი არის ნავთობის სვეტის ჰიდროსტატიკური წნევა დეჰერმეტიზაციის ნახვრეტის დონიდან.

განვიხილოთ მაგისტრალური მილსადენის ტრასის რომელიღაც პროფილი, რომელიც დამახასიათებელია რეალური პროექტირებად ნავთობსადენისთვის (ნახ. 22 [70]). მილსადენს დიამეტრია 1220 მმ, ტუმბოების გამორთვის დრო $\tau_1 = 2$ წთ, დროის ინტერვალი ტუმბოების გაჩერებდა ურდულების სრულ დაკეტვამდე - კიდევ $\tau_2 = 7$ წთ.

ნახ. 22-დან გამომდინარეობს, რომ სიმაღლეთა ვარდნილებმა (აღნიშვნები პირობითია) ტრასაზე შეიძლება შეადგინოს დაახლოებით 1200 მ. (2.1) და (2.2) ფორმულებით მიღებულ იქნა გაჟონვს მოცულობები. მაგალითად, 661 კმ-თვის, სადაც სამაღლეთა ვარდნილია 1050 მ, მათ შეადგინეს გილიოტინური გარღვევისათვის ($S = 1,17 \text{ მ}^2$) $W_1 = 12074 \text{ მ}^3$ და $W_2 = 42260 \text{ მ}^3$ ნავთობის ხარჯებისას Q_1 და Q_2 მიახლოებით $100 \text{ მ}^3/\text{წმ}$.

დაწვრილებით განვიხილოთ მიღებული შედეგები. ნავთობის გამოფრქვევა სრული კვეთით გარღვეული მილსადენიდან $100 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ იშნავს, რომ, რღვევის ადგილიდან რაც უნდა დიდი ხნის განმავლობაში მილსადენში უნდა მიდიოდეს ნავთობი იგივე ხარჯთ, რაც შეესაბამება გადაქაჩვის სიჩქარეს - $85 \text{ მ}/\text{წმ}$. მილსადენში ნავთობის დინების ასეთი

სიჩქარის მიღწევა რეგლამენტირებული წნევების ჩარჩოებში, რა თქმა უნდა შეუძლებელია. განხილული ნავთობსადენითვის მიღებული შედეგების მცდარობა შეიძლება შემდეგნაირადაც აიხსნას. განვიხილოთ გილიოტინური რღვევა ტრასის სულ ბოლოში და განვსაზღვროთ ნავთობის ხარჯი ასეთ საავარიო სიტუაციაში. ის შეადგენს იმავე 100 მ³/წმ: ნავთობსადენის ბოლოში მაღალი ნიშნული იგივეა. ცხადია, რომ მოცემული სიტუაცია გილიოტინური რღვევით ტრასის სულ ბოლოში ფიზიკურად შეესაბამება საწყისი პუნქტიდან საბოლოო პუნქტამდე ნავთობის გადაქაჩვის ნავთობსადენის მუშაობის რეგლამენტირებულ რეჟიმს. როგორც ადრე აღინიშნა, გადატუმბვის სიჩქარე 85 მ/წმ სიდიდეა, რომელიც ბევრად ამეტებს მაგისტრალური მილსადენის ნავთობის გადაქაჩვის ფაქტიურ სიჩქარეს (3 მ/წმ-მდე).



ნახ. 22. ა) წნევის ეპიურები სხვადასხვა დროის გაგლეჯისას (ნაშრომი [70]-ის მიხედვით): 1. $t=60$ წმ; 2. $t=480$ წმ. ბ) მილსადენის პროფილი

სხვა სიტყვებით, შესრულებული გაანგარიშებების თანახმად, განხილულ ნავთობსადენს შეუძლია გადაქაჩოს ნავთობი ფიზიკურად არარეალური სიჩქარით, რომელიც 50-100-ჯერ აღემატება სიჩქარეს არსებულ ნავთობსადენებზე. ამასთან, გადატუმბვის ამგვარი სიჩქარე მიიღწევა მილის თავში დაყენებულ ტუმბოებთან არავითარ კავშირში, და შეუძლია იარსებოს ნებისმიერ ხანგრძლივი დროით. ნათელი ხდება, რომ მოცემული გაანგარიშებანი შეცდომითია და შეცდომის სიდიდე შეადგენს ათასობით პროცენტს.

ასევე ცხადია, რომ შეცდომა ანგარიშებში განპირობებულია მოდელის არასწორი შერჩევით. განტოლებები (2.1) და (2.2) არ შეიძლება გამოდგეს ნავთობსადენების გილიოტინური რღვევის დროს გაჟონვების განსაზღვრისათვის, ვინაიდან ისინი ვარაუდობენ, რომ არე გამოდინების ადგილთან სიახლოვეს იმყოფება უძრავ მდგომარეობაში, ხოლო წნევა გამოფრქვევის ადგილას რჩება მუდმივი და ტოლია ნავთობის მოცემული სიმაღლის სვეტის მიერ შექმნილი ჰიდროსტატიკური წნევისა. სინამდვილეში ამგვარი სიტუაცია არსებობს მხოლოდ საწყის, დეფექტური ნახვრეტის წარმოქმნის შემდგომ მომენტებში: ამ დროს გარღვევის ადგილზე და მილსადენში ერთნაირი წნევა შეინიშნება. თუმცა შემდგომ გარღვევის ადგილიდან ვრცელდება გაიშვიათების ტალღები, რომლებიც იწვევს გარღვევის ადგილას წნევის ვარდნას. იმ სიტუაციაში, როდესაც გარღვევის ადგილას წნევის ვარდნა ეცემა ატმოსფერულამდე, გამოფრქვევის სიჩქარე სრულად განისაზღვრება ნავთობის მილსადენით მიწოდების სიჩქარით გარღვევის ადგილას. ეს სიდიდე კი უკვე დამოკიდებული იქნება მრავალი, (2.1) და (2.2) ფორმულებში გაუთვალისწინებულ ფაქტორზე, ისეთებზე, როგორცაა ტუმბოების მახასიათებლები, ადგილის რელიეფი, ურდულების ჩაკეტვის ხარისხი, ხახუნის ძალების მოქმედება. ამასთან, ეს "ფაქტები" იმუშავებს არა მხოლოდ გამოტყორცნის ადგილზე, არამედ ტრასის მთელ სიგრძეზე. მათი და პირველ რიგში ხახუნზე დანაკარგების გათვალისწინება მიიყვანს საქმეს იქამდე, რომ გამოფრქვევის სიჩქარე მნიშვნელოვნად დაეცემა, ვინაიდან იმავე ხახუნის გავლენა იზრდება სიჩქარის კვადრატის პროპორციულად.

შედარებისათვის მოვიყვანოთ ჩვენ მიერ დამუშავებული მეთოდის მიხედვით შესრულებული, და მილსადენებში ნავთობისა და გაზის დინების მოდელირებისათვის განკუთვნილი გაანგარიშებანი.[64].

ნახ. 22-ზე მოყვანილია მაღლობრივი ნიშნულები და წნევის პროფილები მილსადენის ტრასაზე გილიოტინური რღვევის შემთხვევაში. წნევის პროფილები დაფიქსირებულია გარღვევის შემდგომ დროის 1,3

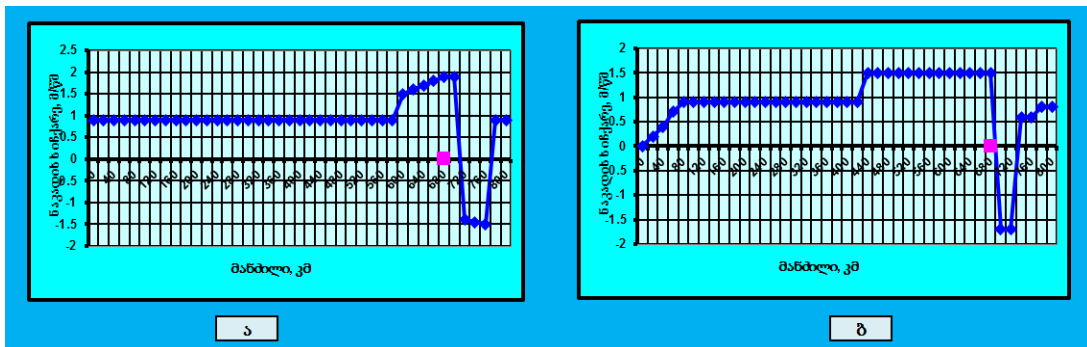
(ნახ. 23 ა, ბ) და 8 (ნახ. 24) წუთიან მონაკვეთებში. განტვირთვის ტალღების გავრცელების შედეგად მაგისტრალურ ნავთობსადენში წნევა ეცემა.

ყველაზე კარგად ჩანს დინების სურათი სიჩქარის პროფილებზე (ნახ. 24). მილსადენის გარღვევისას ავარიის ადგილიდან იწყებს გავრცელებას განტვირთვის ტალღები დაახლოებით 1300 მ/წმ სიჩქარით. რღვევის ადგილიდან მილსადენის თავისკენ გავრცელებულ ტალღაში ნავთობის დინება ჩქარდება და შეადგენს 1,5-2 მ/წმ, ხოლო რღვევის ადგილიდან მილსადენის რღვევის ბოლოსკენ მოძრავ ტალღაში ნავთობის დინების სიჩქარე, პირიქით, მუხრუჭდება, და ის იწყებს მოძრაობას უკუ მხარეს, ხდება ე.წ. უკუდინება, რომლის სიჩქარე ასევე შეადგენს 1,5-2 მ/წმ.

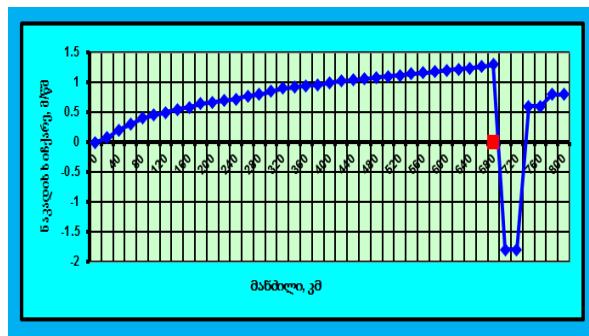
გარღვევამდე, რეგლამენტირებული რეჟიმით ნავთობის ტრანსპორტირების სიჩქარე შეადგენს 1 მ/წმ. გარღვევის ადგილიდან გავრცელებული გაიშვიათების გარდა, კარგად ჩანს დინების სხვა თავისებურებები: ტუმბოს გაჩერების შემდეგ მილსადენის თავიდან განტვირთვის ტალღის 3 წთ-ით გავრცელება (ნახ. 24); ტრასაზე წერტილების (ტრასის პროფილის ლოკალური მაქსიმუმების) გაჩენა, რომლებიც იმით ხასიათდება, რომ დინება ამ წერტილებიდან ხდება სხვადასხვა სიჩქარით და სხვადასხვა მიმართულებით; მილში გადაქაჩვის უქონლობა ნავთობს არ შეუძლია გადალახოს ეს სიმაღლე, ამიტომ ის ჩამოედინება რღვევის ადგილას (უკუდინება), და მის შემდეგ - მილსადენის ბოლოსკენ; დროისგან დამოუკიდებელი ნავთობის დინების სიჩქარის უარყოფითი მნიშვნელობების არის სიგანე, დამახასიათებელი ლოკალური მაქსიმუმიდან ხანგრძლივი უკუჩადინებით.

დაზიანებული მილსადენის ორივე ბოლოდან ნავთობის ხარჯი პრაქტიკულად მუდმივია (გარდა რამდენიმე წამიანი დროის მონაკვეთისა მილსადენის გარღვევის შემდეგ) და შეადგენს 3,8-3,9 მ³/წმ ანუ ერთი ბოლოდან ხარჯი ან მოცულობითი ჩამოდინება 2 მ³/წმ-ზე ნაკლები სიდიდისა. ჰიდროსტატიკის ფორმულებით მიღებული ნავთობის 100 მ³/წმ-იანი ხარჯები, უპირობოდ, არ იქნება მიღწეული. გამოფრქვევის ადგილას

დინების პარამეტრების შესახებ საკითხის საბოლოოდ გასაშუქებლად ნახ. 25-ზე წარმოდგენილია წნევაზე დამოკიდებულება მილსადენში გარღვევის ადგილის სიახლოვეს. ნახაზიდან ჩანს, რომ ავარიის ადგილის სიახლოვეს პირველი მომენტებისას გაიშვიათების ტალღების გავრცელების ხარჯზე, მკვეთრად, თითქმის 2,5 მპა-ით ეცემა წნევა, შემდგომ ნელ-ნელა, მილსადენიდან ნავთობის გამოდინების კვალ-დაკვალ მიდის მისი მდორე დაცემა. ავღნიშნავთ, რომ ჰიდროსტატიკურ 10 მპა წნევა ჩამოდინების ადგილზე არ არსებობს.



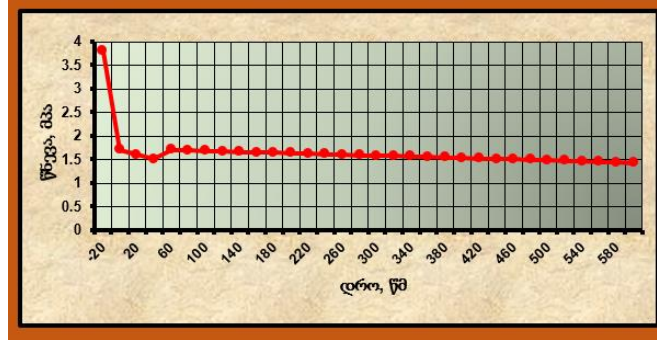
ნახ. 23. მაგისტრალურ ნავთობსადენში ნავთობის სიჩქარის ცვლილების რღვევის დამოკიდებულება მანძილისაგან, სხვადასხვა დროისათვის: ა. $t = 1$ წთ; ბ. $t = 3$ წთ



ნახ. 24. მაგისტრალურ ნავთობსადენში ნავთობის სიჩქარის ცვლილების რღვევის დამოკიდებულება მანძილისაგან $t = 8$ წთ

ამგვარად, განხილულმა მაგალითმა აჩვენა მაგისტრალურ ნავთობსადენზე გაჟონვის მოცულობების ანგარიშისას გამარტივებული მოდელების გამოყენების დაუშვებლობა. მაგისტრალურ ნავთობსადენის რისკის ანალიზისათვის საჭიროა მეთოდების გამოყენება, რომლების ითვალისწინებს ძირითად ფიზიკურ პროცესებს, კერძოდ რიცხვითი მოდელირების მეთოდებს.

ზემოთქმული აუცილებელია გამოყენებულ იქნეს პრაქტიკული მუშაობისას, დეკლარაციების ექსპერტიზისას და სამილსადენე ტრანსპორტის ობიექტების რისკის ანალიზის ნორმატიულ-მეთოდური უზრუნველყოფის სრულყოფისას.



ნახ. 25. მაგისტრალურ ნავთობსადენში ახლოს მყოფი ავარიისას წნევის დამოკიდებულება დროზე ([71])

2.2. მაგისტრალური ნავთობსადენების ავარიების სცენარების რიცხვითი მეთოდის შემუშავება

უკანასკნელ წლებში მსოფლიოში განხორციელებულია ან ჯერ კიდევ იმყოფება რეალიზაციის სტადიაში სამილსადენე სისტემებით ნახშირწყალბადოვანი სათბობების ტრანსპორტირების გაფართოების მთელი რიგი პროექტებისა. ასეთი პროექტები, როგორც წესი, გამოირჩევა არა მარტო მასშტაბურობით და ექსპლუატაციის სირთულით, არამედ ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების ავარიული დაღვრის შესაძლებლობასთან დაკავშირებული გაზრდილი საფრთხით ადამიანებისა და გარემოს მიმართ, [70].

სამწუხაროდ, პრაქტიკაში ასეთ რთულ სამილსადენე სისტემებისათვის ავარიების რისკის შეფასებისას, მათ შორის საწარმო უსაფრთხოების დეკლარაციებისა და ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების ავარიული დაღვრის ლიკვიდაციის გეგმების დამუშავებისას, ყოველთვის არ გამოიყენება კორექტული მეთოდები. ჩვენი აზრით, მსგავსი ობიექტების პროექტირებისას და მაგალითად ნავთობსადენებზე ავარიის შედეგების შეფასებისას, უნდა გამოიყენებოდეს რეალური ფაქტორების სრული

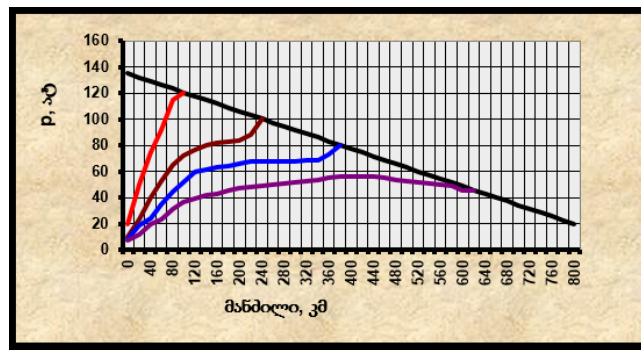
სისავსით გამათვალისწინებელი მეთოდები [71-74]. ასეთ მეთოდებს მიეკუთვნება, უპირველესად, ჰიდროგაზოდინამიკის განტოლებათა რიცხვით ამოხსნაზე დაფუძნებული “პირდაპირი რიცხვითი მოდელირების” მეთოდები.

არსებობს საწარმოო უსაფრხოების ხარისხის ანალიზისას გამოვლენილი და ავარიების შედეგების შეფასებისთვის გამოყენებული მეთოდებში შეცდომები [72]. კერძოდ ცხადია მილსადენებზე ავარიული სიტუაციების მოდელირებისას ხახუნზე დანაკარგების უგულველყოფის დაუშვებლობა. ხახუნის გავლენის გაუთვალისწინებლობამ, განსაკუთრებით მაგისტრალური მილსადენებისათვის შეიძლება გამოწვიოს არსებითი, რამდენიმე ასეულ პროცენტამდე შეცდომები გაჟონვის მოცულობების ანგარიშის დროს.

სრულ კვეთაზე მილსადენის გარღვევისას ნავთობის დაღვრის მოცულობათა ანგარიშის გამარტივებული მეთოდის წარმოდგენის მცდელობა იყო ნაშრომი [75]. შემოვიფარგლებით მხოლოდ პრინციპული შეცდომებით [66]-ში და მისი შემოწმებით შემდეგ ჰიპოთეტურ მაგალითზე [75]. ნაშრომის [75] ფორმულების მეშვეობით ჩავატაროთ მარტივ სამილსადენე სისტემაში (ჰორიზონტალურად გაყვანილ მილსადენში) გილიოტინური გარღვევის შედეგების ანგარიში. ნავთობსადენის ყველა მახასიათებელი აღებულია ნაშრომში [75] განხილულის ანალოგიურად: მილსადენის სიგრძე - 820 კმ, დიამეტრი - 1220 მმ, გადატუმბვის სიჩქარე სტაციონარულ რეჟიმში - 0,92 მ/წმ. მილსადენზე გილიოტინური გარღვევა ხდება 10 კილომეტრიან ტრასაზე. სტაციონარული რეჟიმით გადატუმბვისას წნევა მილსადენის ამ ნიშნულზე შეადგენს 130 ატმ. სიმარტისათვის დინების სურათს განვიხილავთ მხოლოდ რღვევის ადგილის შემდგომ უბანზე, 10-დან 820 კმ-მდე.

რიცხვითი მოდელის ანგარიშების თანახმად, გარღვევის შემდეგ მილსადენზე გაირბენს განტვირთვის ტალღა 129,1 ატმ-ს ამპლიტუდით. ამ მოდელით განტვირთვის ტალღის გავლის შემდეგ წნევა მილსადენის

უბანზე რღვევის ადგილიდან ტალღის ფრონტამდე ეცემა გარემოს წნევამდე, ე.ი. 1 ატმოსფერომდე. ამასთან, ნავთობის გამოტყორცნის სიჩქარე შეადგენს 11 მ/წმ. მილში წნევის პროფილები [75] მოდელის თანახმად გარღვევის შემდგომი დროის ოთხი 60, 180, 300 და 480 წმ მომენტისათვის ნაჩვენებია ნახ. 26-ზე. ამგვარად, 620 წამში მთელ მილსადენზე წნევა ეცემა 1 ატმ-მდე, ხოლო ნავთობი მთელ მილსადენში მოძრაობს ავარიის ადგილისკენ 11 მ/წმ სიჩქარით. უცნობია, ასეთ სიტუაციას თუ ექნება ადგილი ნებისმიერი სიბლანტის მქონე ნავთობის გადატუმბვისას, რაც ნათელია ამგვარი შედეგის არადამაჯერებლობა - შეუძლებელია, რომ 800 კმ სიგრძის სრულად შევსებულ მილსადენში ჭარბი წნევის არსებობის გარეშე ნავთობი მოძრაობდეს 11 მ/წმ სიჩქარით.

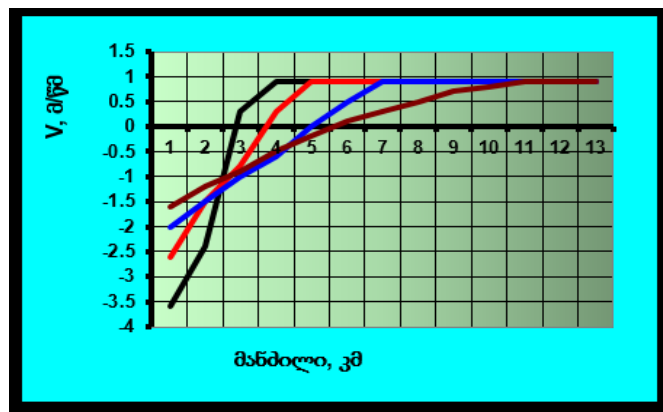


ნახ. 26. ნავთობსადენში წნევის განაწილება ტრასის გასწვრივ, სხვადასხვა დროისათვის (0, 60 წმ; 180 წმ; 300 წმ; 480 წმ) ([71,75])

ასეთი შედეგი განპირობებულია პირველ ყოვლისა იმით, რომ [75]-ის დამოკიდებულებებში არ არის გათვალისწინებული მილის კედლებზე ნავთობის ხახუნი. შედარებისთვის მოვიყვანოთ ამ სიტუაციის დეტალური რიცხვითი მოდელირების საშუალებით მიღებული შედეგები (ბუნებრივია, ხახუნის ძალის გათვალისწინებით), გამოვიყენოთ რა სხვაობითი მეთოდი [76]. ნახ. 26-ზე დროის იმავე ოთხი მომენტისთვის წარმოდგენილია წნევის პროფილები. ნახ. 26-დან ჩანს, რომ გილიოტინური გარღვევის შემდეგ მილში მართლაც გარბის განტვირთვის ტალღა, თუმცა მისი ამპლიტუდა სწრაფად მცირდება: 60 წამის შემდეგ წნევის ვარდნა ფრონტზე შეადგენს დაახლოებით 20 ატმ, 180 წამის შემდეგ - 10 ატმ., ხოლო 300 წამის შემდეგ

განტვირთვის ტალღა პრაქტიკულად სრულიად ქრება. გაანგარიშებული წნევის პროფილებიდან ასევე კარგად მოჩანს, რომ მილსადენში განტვირთვის ტალღის გავლისას წნევის არავითარი სრული ვარდნა (1 ატმ) არ ხდება. განტვირთვის ტალღის შესუსტებისა და გაქრობის მიზეზი - ეს მილსადენის კედლებზე ნავთობის ხახუნია. კედლებზე დამუხრუჭება იწვევს სუსტი აკუსტიკური შეშფოთებების გენერაციას, რომლებიც ელობებიან წნევის სწრაფ დაცემას. ეს მილსადენში ნაკადის თავისებური "ჩაკეტვა".

მილსადენში ნავთობის თანდათანობითი დამუხრუჭების შედეგი განტვირთვის ტალღის გავრცელების კვალდაკვალ კარგად ჩანს სიჩქარის განაწილებებზე (ნახ. 27). ნახ. 27-ზე მოყვანილია გარღვევის შემდეგ სიჩქარის განაწილებები უკვე ნახსენები დროის ოთხი 60, 180, 300 და 420 წამიანი მომენტისათვის.



ნახ. 27. ნავთობსადენში ნავთობის სიჩქარე ტრასის გასწვრივ (10-812 კმ), სხვადასხვა დროისათვის (60 წმ; 180 წმ; 300 წმ; 480 წმ) ([67,68])

ნახ. 27-დან ჩანს, რომ განტვირთვის ტალღის შემდგომ არეში მილსადენში ნავთობის მოძრაობის სიჩქარე დროში მცირდება. ამასთან მოდულის მიხედვით სიჩქარის მაქსიმალური მნიშვნელობა აღწევს გილიოტინური გარღვევის ადგილს. ამ სიჩქარით გამოედინება ნავთობი მილსადენიდან. დროთა განმავლობაში გამოედინების ეს სიჩქარე ასევე ეცემა: გარღვევიდან 60 წამის შემდეგ ის შეადგენს დაახლოებით 3,5 მ/წმ, 180 წამის შემდეგ - 2,5 მ/წმ, 300 წამის შემდეგ - 2 მ/წმ, 480 წამის შემდეგ - 1,5 მ/წმ.

გარღვევის ადგილზე 11 მ/წმ ტოლი გამოდინების სიჩქარეები, როგორც ეს [75] სამუშაოს დამოკიდებულებით ივარაუდება, არ არის. უფრო ზუსტად რომ ითქვას, ასეთმა სიჩქარემ შეიძლება იარსებოს მხოლოდ გარღვევის შემდეგ პირველი გაელვებისას, ხოლო შემდეგ ის მცირდება. მილსადენში ნავთობის მოძრაობის სიჩქარის დაცემა, და ნავთობის გამოდინების სიჩქარე სწორედაც რომ განპირობებულია მილსადენის კედლებზე დამუხრუჭებით.

როგორც ზემოთქმულიდან გამომდინარეობს, [75]-ში გამოყენებული მიდგომა მიგვიყვანს გამოფრქვევის მოცულობის მნიშველოვან წმატებასთან დაწნევითი გამოდინების სტადიაზე.

ამგვარად, მაგისტრალურ ნავთობსადენებში წნევის ტალღების გავრცელების მოდელირებისთვის ხახუნის ეფექტების გათვალისწინება პრინციპული საკითხია. ეს გათვალისწინება მით უფრო მნიშველოვანია, ვინაიდან ხახუნის როლი ბევრად იზრდება სიტუაციაში, როდესაც განიხილება არასტაციონარული ტალღური პროცესები.

ამიტომაც განვიხილოთ სამუშაოს ზოგიერთი ხარვეზი: 1. ნაშრომში [75] ცხადად არ არის დათქმული მათემატიკურ დამოკიდებულებებში ჩადებული დაშვებები. აგრეთვე გაუგებარია, თუ როგორ არის გათვალისწინებული ტრასის სიგრძეზე წნევისა და სიმკვრივის ცვლილებები, [12] სამუშაოს ფორმულები, როგორც ჩანს, ამ ცვლილებებს არ თვალისწინებს. ძირითად დამოკიდებულებებში არ არის რელიეფი გათვალისწინებული, შემდგომში მაინც, მოდელური ამოცანის ანგარიშის შედეგების აღწერისას, რაღაც მანიპულაციები მოყვანილ მაგალითში რელიეფის შესახებ გაკეთებულია. უხეში გამარტივებით, ე.ი. ხახუნის გაუთვალისწინებლად განიხილება მხოლოდ ტუმბოს მყისიერი გაჩერების სიტუაცია. 2. [75]-ში გამოყვანილი წნევის ნახტომზე სიმკვრივის ცვლილების არაკორექტული გარდაქმნით წარმოქმნილი საბოლოო ფორმულა შეიცავს შეცდომას. ფორმულა აკავშირებს გარემოს სიჩქარის ცვლილებას გაიშვიათების ნახტომის ფრონტზე წნევის ცვლილებასთან. ის შეიცავს არის მახასიათებელს - ბგერის სიჩქარეს (C). გაზოდინამიკაში

სიჩქარის ცვლილება რაღაც სიჩქარით გადაადგილებული თავისუფალი ნახტომის ფრონტზე, წნევის ცვლილების მიხედვით, არ არის დამოკიდებული გარემოს თვისებებზე, იგი დამოკიდებულია მხოლოდ ამოსავალი გარემოს სიმკვრივეზე და ნახტომის გადაადგილების სიჩქარეზე. [75]-ის ფორმულა ასე უნდა გამოიყურებოდეს:

$$\Delta P = -\rho_0(C_w + w_0)(w_* - w_0). \quad (2.3)$$

შეცდომა ფორმულის გამოყვანისას არის ის, რომ სიმკვრივის ცვლილებისთვის გამოყენებული იყო დამოკიდებულება ბგერით ტალღაში, იმ დროს როდესაც [75]-ში სიმკვრივისა და წნევის ცვლილება ხდება არა ბგერით ტალღაში, (მისი სიჩქარეა C), არამედ სხვა C_w სიჩქარით გადაადგილებულ ტალღაში. შეცდომები აღინიშნება სხვა ფორმულებშიც, მაგ., C_w -ის ადგილას სწორი იქნებოდა $(C_w - w_0)$ -ის დაწერა.

განვიხილოთ დეტალური ანალიზი. მართლაც ერთეული ფართობის საკონტროლო მოცულობისთვის და Δx სიგრძისთვის ტალღის C_w გარემოს w_0 სიჩქარით მოძრაობისას, სამართლიანია მასისა და იმპულსის შენახვის შემდეგი კანონები:

- მასის

$$\rho_{\text{ნეტ}} \Delta x = \rho_0(C_w + w_0)\Delta t - w_{\text{ნეტ}}\rho_{\text{ნეტ}}\Delta t; \quad (2.4)$$

- იმპულსის

$$w_{\text{ნეტ}}\rho_{\text{ნეტ}}\Delta t = [P_0 + \rho_0 w_0(C_w + w_0)]\Delta t - (P_{\text{ნეტ}} + w_{\text{ნეტ}}^2\rho_{\text{ნეტ}})\Delta t. \quad (2.5)$$

თანაფარდობის $\Delta x / \Delta t = C_w - w_0$ გათვალისწინებით, (2.4) და (2.5)

გარდაიქმნება შემდეგნაირად:

$$\rho_{\text{ნეტ}}(C_w - w_0) = \rho_0(C_w + w_0) - w_{\text{ნეტ}}\rho_{\text{ნეტ}}; \quad (2.6)$$

$$w_{\text{ნეტ}}\rho_{\text{ნეტ}}(C_w - w_0) = [P_0 + \rho_0 w_0(C_w + w_0)] - (P_{\text{ნეტ}} + w_{\text{ნეტ}}^2\rho_{\text{ნეტ}}) \quad (2.7)$$

ან გარკვეულად სხვაგვარი ფორმით:

$$\rho_{\text{ნეტ}}(C_w - w_0 + w_{\text{ნეტ}}) = \rho_0(C_w + w_0); \quad (2.8)$$

$$P_0 - P_{\text{ნეტ}} = w_{\text{ნეტ}}\rho_{\text{ნეტ}}(C_w - w_0 + w_{\text{ნეტ}}) - \rho_0 w_0(C_w + w_0). \quad (2.9)$$

ჩავსვათ (2.8)-ში თანამამრავლად (2.9)-ს მარცხენა ნაწილის პირველ მდგენელში, მივიღებთ:

$$P_0 - P_{\text{нсг}} = w_{\text{нсг}} \rho_0 (C_w + w_0) - \rho_0 w_0 (C_w + w_0). \quad (2.10)$$

მარტივი (2.10) გარდაქმნების შემდეგ, კვლავ მივიღებთ:

$$\Delta P = -\rho_0 (C_w + w_0) (w_{\text{нсг}} - w_0). \quad (2.11)$$

3. ნაშრომი [75] იძლევა წნევის და ხარჯის ვარდნილების პროცესების არასწორ განსჯას. თუ მოკლედ შევაჯამებთ მათ პოზიციას, მაშინ [75]-ის თანახმად, ფიზიკურად აუხსნელია მოწყობილობაში ჭარბი წნევის არსებობა, რომელმაც განიცადა დეჰერმეტიზაცია. ასეთი დებულების უარყოფა შეუძლია შემდეგ უმარტივეს მაგალითს. წნევის ქვეშ მყოფი მოცულობიდან გამოდინებისას, თუ ნახვრეტის ზომა მცირეა, ჭარბი წნევა მოცულობაში შენარჩუნდება გამოტყორცნის დაწყების შემდეგაც, და განტვირთვის ტალღების ჭურჭელში ცირკულაციის დამთავრების შემდეგაც გამოდინების ნახვრეტის წარმოქმნისას.

2.3. მაგისტრალურ ნავთობადენებზე ავარიული მოვლენების დროს რიცხვითი მეთოდის ანალიზი

გამვიხილოთ ერთგანზომილებიანი მათემატიკური მოდელის ძირითადი დიფერენციალური განტოლებები: უწყვეტობის განტოლება -

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\frac{\partial(\rho w)}{\partial x}. \quad (2.12)$$

და იმპულსის შენახვის კანონი:

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} (\rho w^2 + P) - \lambda(\text{Re}) \frac{\rho w^2}{2d} + \rho g \beta. \quad (2.13)$$

სადაც t არის დრო; x - მანძილი მილსადენის დასაწყისიდან; P, ρ, w - შესაბამისად წნევის, სიმკვრივისა და ნავთობის მოძრაობის სიჩქარის კვეთაში გასაშუალოებული მნიშვნელობები; $\lambda(\text{Re})$ - მილში დინების რეჟიმზე (რეინოლდსის რიცხვზე) დამოკიდებული ჰიდრავლიკური წინაღობის კოეფიციენტი სიგრძის მიხედვით; d - მილის შიგა დიამეტრი;

\mathbf{g} - სიმძიმის ძალის აჩქარება; β - ნავთობსადენის ტრასის ლოკალური კუთხური კოეფიციენტი, $\beta = d\mathbf{z}/d\mathbf{x}$; \mathbf{z} - ნავთობსადენის ტრასის კვეთების ნიშნულები; $\mathbf{v} = \mu/\rho$ - ნავთობის კინემატიკური სიბლანტე; μ - ნავთობის დინამიკური (მოლევულური) სიბლანტე. (2.12) და (2.13) განტოლებებს აუცილებელია დაემატოს საწყისი და სასაზღვრო პირობები.

ნავთობსადენის გილიოტინური გარღვევის ამოცანებში ფიგურირებს ტალღის ფრონტი, რომელიც წარმოადგენს დინების შეშფოთებული და შეუშფოთავი არეების გაყოფის საზღვარს. ამასთან, ფრონტი გადაადგილდება მილსადენის დაზიანებული უბნების გასწვრივ. ტალღის ფრონტის არსებობა ქმნის გარკვეულ პრობლემებს ამოცანის რიცხვითი გადაწყვეტისას. იყენებენ მეთოდს [77], რომელიც დამუშავებულია გაზოდინამიკის განსაზღვრული წრის ამოცანების გადასაწყვეტად, უფრო ზუსტად, ზებგერითიდან ზებგერითამდე გადასვლისას წარმოქმნილი წყვეტადი დინებების საანგარიშოდ. ცხადია, რომ უკვე განსაზღვრულია გამოყენებადობის საზღვრები.

სითხეებისა და გაზების მოძრაობის კანონზომიერებანი არსებითად განსხვავდება [78]. გაზის მოძრაობა შეიძლება განხორციელდეს როგორც ზებგერითი, ისე ზებგერითამდე სიჩქარეებით, ამასთან გაზის ზებგერით და ზებგერითამდე დინებებს აქვთ სრულიად განსხვავებული კანონზომიერებები. ასე მაგალითად, ზებგერითამდე დინებისას, ნაკადის კვეთში ფართობის შემცირება იწვევს მოძრაობის სიჩქარის გაზრდას, ხოლო ზებგერითი დინებისას, პირიქით, სიჩქარის შემცირებას. ზებგერითი ნაკადის გაქანება (მოძრაობის სიჩქარის გაზრდა) შესაძლებელია ბგერის სიჩქარემდე მიღწევით მხოლოდ გაზის ნაკადის კვეთის ფართობის შემცირების ხარჯზე.

ნავთობსადენის გილიოტინური გარღვევისას წვეთოვანი სითხის დინების შემთხვევაში, ტალღის ფრონტი გადაადგილდება მოძრავ სითხეში. გარდა ამისა, არსებითი განსხვავება არის ის, რომ თუ გაზოდინამიკაში ადგილი აქვს თვით მატერიალური სუბსტანციის (გაზის) მოძრაობას

ზებგერითთან მიახლოებული სიჩქარეებით, მაშინ გილიოტინური გარღვევისას სითხის მოძრაობის სიჩქარე განუზომლად მცირეა, ვიდრე ტალღის ფრონტის გავრცელების სიჩქარე. ტალღის ფრონტის გადაადგილებაზე სითხის მოძრაობას პრაქტიკულად არ ახდენს გავლენას. ასეთივე წარმატებით ტალღის ფრონტი გადაადგილდება უძრავ სითხეშიც.

ჩვენ მიერ მოყვანილი მიმოხილვას ეჭვის ქვეშ აყენებს აღნიშნული მეთოდის მილსადენებში გილიოტინური გარღვევით გამოწვეული დინებების ამოცანების მექანიკური გადატანის შესაძლებლობას [72,77].

გადავიდეთ თვით მათემატიკური მოდელის დაწვრილებით ანალიზზე და მილსადენის გილიოტინური გარღვევისას წარმოქმნილი ამოცანების გადასაწყვეტად მისი გამოყენების შესაძლებლობაზე. ერთგანზომილებიან მოდელებს გააჩნიათ თავისი უპირატესობანი და ნაკლოვანებანი. დინების ერთგანზომილებიანი მოდელების ერთ-ერთ არსებით ნაკლოვანებას წარმოადგენს ის ფაქტი, რომ განსახილველად შემოდის განივკვეთში ნაკადის საშუალო სიჩქარე w , და ამასთან ერთად თვალსაწიერიდან იკარგება სამგანზომილებიანი დინებების ზოგიერთი თავისებურება. მათ შეუძლია მნიშვნელოვანი ზეავლენა იქონიონ მოდელური დინების ხასიათზე. კერძოდ, მხედველობის არედან ქრება ის ფაქტი, რომ რეალური ნაკადის ცოცხალი კვეთის სხვადასხვა წერტილში სითხის ნაწილების მოძრაობის სიჩქარეები განსხვავებულია. თუ მილის კედლის ზედაპირზე სიჩქარე ნულის ტოლია, მაშინ ნაკადის ღერძზე ადგილობრივი სიჩქარე აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას. ნაკადის ცოცხალი კვეთის ზღვრებში ადგილობრივი სიჩქარე იცვლება რაღაც კანონით. ე.ი. ადგილი აქვს სიჩქარის გრადიენტის არსებობას. სიჩქარის გრადიენტს განმსაზღვრელი მნიშვნელობა გააჩნია ჰიდრავლიკური წინაღობების თეორიაში. დაუმყარებელი დინებების ერთგანზომილებიანი მოდელები ამ ფაქტორს არ ითვალისწინებს.

(2.13) განტოლების მარჯვენა ნაწილში შედის წევრი $\lambda \frac{\rho w^2}{2d}$, რომელიც

ითავალისწინებს ნავთობის ხახუნის ძალებს მყარი კედლის გლუვ

ზედაპირზე და რომელიც მეთოდის შესაბამისად რეკომენდებულია გაანგარიშდეს მილოვანი ჰიდრავლიკის ცნობილი ფორმულებით, რომლებიც სამართლიანია, მკაცრად რომ ვთქვათ, მოძრაობის დამყარებული რეჟიმებისათვის. ზუსტი იქნებოდა (2.13) განტოლებაში $\lambda \frac{\rho w^2}{2d}$ -ის შეცვლა წევრით $\frac{4}{d} \tau_w$ (τ_w - წარმოადგენს მილის კედელზე წარმოქმნილ მხებ ძაბვა. მილის კედელზე წარმოქმნილ მხები ძაბვა უწყვეტად არის დაკავშირებული უშუალოდ სითხეში წარმოქმნილ მხებ ძაბვასთან, და განისაზღვრება სიჩქარის გრადიენტით.

უნდა აღინიშნოს, რომ მყარ ზედაპირზე სითხის “სუფთა” ხახუნის არ არსებობს. მილის ზედაპირზე სითხის ხახუნის ძალა არ უნდა გამოვყოთ ხახუნის ძალებისგან, რომლებიც წარმოიქმნება თითონ შიგ სითხეში. მხები ძაბვა τ_w წარმოიქმნება არა მარტო მაშინ, როდესაც სიჩქარის გრადიენტი არ არის ნულის ტოლი. განმარტებისთვის მივმართოთ ლამინარული მოძრაობის ნიუტონის მოდელს. სითხე ავსებს ორ პარალელურად განლაგებულ ბრტყელ ფირფიტებს შორის სივრცეს. ერთი ფირფიტა უძრავია, მეორე გადაადგილდება მის გასწვრივ მუდმივი სიჩქარით. გადაადგილება ხდება მოდებული გაწევის ძალის ზემოქმედებით. პირველი ფირფიტის ზედაპირზე სითხის ნაწილები “ეწებება” მას და უძრავია, ე.ი. მათი სიჩქარე ნულის ტოლია. სითხის ნაწილები მეორე ფირფიტასთან ასევე “ეწებება” მას, და მაშასადამე აქვთ იგივე სიჩქარე, რაც მეორე ფირფიტას. ფირფიტებს შორის სივრცეში მყოფი სითხის ნაწილები მოძრაობს სხვადასხვა სიჩქარით. მოცემულ შემთხვევაში ადგილობრივი სიციქარე იცვლება ხაზოვანი კანონით (სიჩქარის გრადიენტი ნულისაგან განსხვავებულია). სხვადასხვა სიჩქარით მოძრავი სითხის ცალკეულ ფენებს შორის წარმოიქმნება ხახუნის ძალები. ხახუნის ამ ძალების მარეზულტირებელი წონასწორდება გაწევის ძალით. უძრავ ფირფიტასთან წარმოქმნილი მხები ძაბვა განისაზღვრება ნიუტონის ცნობილი ფორმულით

$\tau_w = \mu \frac{du}{dn}$, ე.ი. დამოკიდებულია უშუალოდ სითხეში სიჩქარის გრადიენტზე.

მოძრაობის დამყარებული ტურბულენტური რეჟიმისათვის, მხები ძაბვა τ_w განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\tau_w = (\mu + A) \frac{du}{dn}, \quad (2.14)$$

სადაც μ არის სითხის დინამიკური სიბლანტის კოეფიციენტი; A - ტურბულენტური დინამიკური სიბლანტის კოეფიციენტი; $\frac{du}{dn}$ - მოძრაობის ადგილობრივი სიჩქარის გრადიენტი. (მიმართულება n ემთხვევა r რადიუსის მიმართულებას). თუ არ არის სითხის ცალკეულ ფენას შორის ფარდობითი მოძრაობა (ამასთან სიჩქარის გრადიენტი ნულის ტოლია), მაშინ ხახუნის ძალები ამ ფენებს შორის არ წარმოიქმნება. ლამინარული მოძრაობის შემთხვევაში $A = 0$, და გამოსახულება (2.14) გადაიქცევა ნიუტონის ცნობილ ფორმულად მხები ძაბვისათვის.

უნდა აღინიშნოს, რომ μ კონკრეტული სითხისათვის დამოკიდებულია ძირითადად ტემპერატურაზე, წნევის გავლენა μ -ზე მნიშვნელობაზე საუგულველმყოფლად მცირეა. ფიქსირებული ტემპერატურისას μ საკმაო სიზუსტით შეიძლება ჩაითვალოს მუდმივ სიდიდედ. ტურბულენტური სიბლანტის კოეფიციენტი A არ წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს, და დამოკიდებულია სიჩქარის გრადიენტზე [79]:

$$A = \rho l^2 \left| \frac{du}{dn} \right|, \quad (2.15)$$

სადაც l -ს ეწოდება ტურბულენტობის მასშტაბი (თავის მხრივ l დამოკიდებულია r რადიუსზე).

სიჩქარის გრადიენტი, რომელიც შედის გამოსახულებებში (2.14) და (2.15), განისაზღვრება ნაკადის ცოცხალ კვეთში ადგილობრივი u სიჩქარის განაწილების კანონით.

მხოლოდ დამყარებული მოძრაობის დროს არსებობს სრულიად განსაზღვრული თანაფარდობა ადგილობრივი სიჩქარის გრადიენტ $\frac{du}{dn}$ -სა და მოძრაობის w საშუალო სიჩქარეს შორის, რაც მხეხი დაძაბულობების მნიშვნელობის ნაკადის საშუალო w სიჩქარით გამოსახვის და მამასადამე საშუალო სიჩქარეზე წნევის დანაკარგების დამოიდებულების მიღების საშუალებას იძლევა. სწორედ ამ დამოკიდებულებას წარმოადგენს დარსი-ვეიბახის ფორმულა, რომელიც სამართლიანია დამყარებული მოძრაობებისთვის.

დაუმყარებელი მოძრაობისთვის მხეხი ძაბვები წარმოადგენს სამი ცვლადის $\tau_w = f(t, r, x)$ ფუნქციას (r ნაკადის ცოცხალ კვეთში მიმდინარე წერტილის რადიუსია, ხოლო x - წრფივი კოორდინატაა მილსადენის ღერძის გასწვრივ). ამგვარი დამოკიდებულება შეიძლება განისაზღვროს მხოლოდ ექსპერიმენტული გზით. ამჟამად არსებული ხელსაწყოების ჩვენებათა ინერციულობა არ იძლევა τ_w -ს დამოკიდებულების დადგენა ექსპერიმენტული გზით.

ტურბულენტური მოძრაობა თავისი ბუნებით წარმოადგენს დაუმყარებელ მოძრაობას. ნებისმიერ ფიქსირებულ წერტილში სიჩქარე, როგორც ვექტორული სიდიდე დროში ცვალებადია. დროის ფიქსირებულ მომენტში და სივრცის ფიქსირებულ წერტილში უწოდებენ მყისიერ ადგილობრივ სიჩქარეს. იგი მხოლოდ გარკვეულ პირობებში მოახდენს პულსირებას რომელიღაც მუდმივი მნიშვნელობის ირგვლივ, რომელსაც ეწოდება გასაშუალებული ადგილობრივი სიჩქარე. ამგვარ პირობებს წარმოადგენს: სითხის მოცულობითი ხარჯი ნაკადის ნებისმიერ ფიქსირებულ კვეთში არ იცვლება დროის მიხედვით, ე.ი. მუდმივი სიდიდეა. მსგავს შემთხვევაში ტურბულენტურ დინებას უწოდებენ კვაზისტაციონარულს.

დაუმყარებელი ტურბულენტური მოძრაობისას კვეთის ყოველ წერტილში შეუძლებელია გასაშუალებული (დროის მიხედვით) სიჩქარის მნიშვნელობის დადგენა, და მამასადამე, აიგოს გასაშუალებული

სიჩქარეების ველი, და როგორც ასეთი, ადგილობრივი სიჩქარის გრადიენტის ცნება ქრება. ამიტომ ერთგანზომილებიანი მოდელის გამოყენებადობა, ყოველ შემთხვევაში, მაგისტრალური ნავთობსადენის გილიოტინური გარღვევით გამოწვეული ნავთობის დაუმყერებელი გამოდინებისათვის, დაუსაბუთებელია.

განვიხილოთ ნავთობსადენის გილიოტინური გარღვევის დროს ნავთობის გამოდინების არასტაციონარული მოვლენის ფიზიკური არსი. კვეთის ყველა წერტილში, სადაც მოხდა გილიოტინური გარღვევა, წნევა ეცემა პრაქტიკულად მყისიერად (კვეთის ზომების სიმცირის გამო) $\Delta P = P_{a0} - P_n$ სიდიდით (სადაც P_{a0} - წნევაა მილსადენის x_a კოორდინატთან კვეთში ავარიამდე, P_n - უკუწნევაა არეში, სადაც ხდება ნავთობის გამოდინება). ავარიის ადგილიდან მილსადენის ორივე უბნისკენ წავა წნევის დაწევის ტალღები ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით. ტალღის ფრონტი ყოფს შეშფოთებულ არეს შეუშფოთავისაგან. შეუშფოთავ არეში ნავთობსადენმა ჯერ კიდევ "ვერ იგრძნო", რომ მოხდა ავარია. ამიტომ შეუშფოთავ არეში წნევის ცვლილება მილსადენის სიგრძეზე განისაზღვრება ისევე, როგორც გადატუმბვის დამყარებულ რეჟიმის დროს ანუ ცნობილი ფორმულით

$$P_0(x) = P_{x0} = P_H - \rho g \Delta z - \frac{\lambda x}{d} \frac{w_0^2}{2} \rho, \quad (2.16)$$

სადაც $P_0(x)$ არის ნავთობსადენში წნევაა x მანძილზე დასაწყისიდან გადაქაჩვის სტაციონარული რეჟიმისას; P_H - წნევაა ნავთობსადენის დასაწყისში; Δz - სხვაობა გეოდეზურ ნიშნულებს შორის მიკსადენის დასაწყისისა და კვეთისა, რომელიც ხასიათდება კოორდინატით x ; w_0 - კვეთის მიხედვით ნავთობის ოძრაობის საშუალო სიჩქარეა გატაუმბვის სტაციონარულ რეჟიმში, ე.ი. ავარიამდე.

ტალღის ფრონტზე წნევის ნახტომისებური ცვლილება იწვევს ნავთობის სიმკვრივის ნახტომისებური ცვლილებას, რის შედეგადაც ხდება ნავთობის მოცულობითი გაფართოება. უკანასკნელის გამო ადგილობრივი

სიჩქარე ამ კვეთის ყველა წერტილში პირველი ავარიული უბნისათვის იცვლება ერთსა და იგივე სიდიდით. ამ დროს სიჩქარის გრადიენტი უცვლელია. მაშასადამე დასაშვებია, რომ ნავთობსადენის პირველ ავარიულ უბანზე ჰიდრაულიკური წინაღობები დარჩება იგივე, რაც გადატუმბვის სტაციონარული რეჟიმისას. მეორე ავარიულ შემფოთებულ უბანზე ჰიდრაულიკური წინაღობები საერთოდ არ არის, რადგან სიჩქარე მილსადენის კვეთის ყველა წერტილში ერთნაირია, და მაშასადამე, ხახუნი მის ცალკეულ ფენას შორის არ წარმოიქმნება. ეს შეიძლება აიხსნას სხვა პოზიციიდანაც. ცნობილია, რომ ნავთობი, ისევე როგორც ნებისმიერი წვეთოვანი სითხე. მყარი სხეულებისაგან განსხვავებით ფლობს არა მარტო მდებარეობის პოტენციურ ენერგიას, არამედ წნევის პოტენციურ ენერგიასაც, ამასთან ნავთობის მასის თითოეული კილოგრამი ფლობს $\frac{P}{\rho}$ -

ის ტოლ ენერგიას. პოტენციურ ენერგიას, გარკვეულ პირობებში შეუძლია მუშაობის შესრულება. წნევის პოტენციურ ენერგია შეიძლება შენარჩუნდეს მხოლოდ ჩაკეტილ თხევად სისტემებში. ნავთობსადენის გილიოტინური გარღვევისას ხდება ნავთობის პოტენციური ენერგიის გამონთავისუფლება. სრულდება ნავთობის მოცულობითი გაფართოების მუშაობა, ე.ი. ნავთობის მიერ დაკავებული მოცულობის გაზრდა. შედეგად ხდება მილსადენიდან ნავთობის გამოწნევა, ისე როგორც პასტის ტუბიდან გამოწნევისას და ნავთობი განსახილველ შემთხვევაში "მოქმედებს" შეკუმშული ზამბარის მსგავსად, რომლის ერთი ბოლო თავისუფლდება შეზღუდვისაგან.

წნევა ორივე ავარიული უბნის შემფოთებულ ნაწილში ისაზღვრება ფორმულით:

$$P_x = P_{x0} - \Delta P, \quad (2.17)$$

სადაც P_x არის წნევა შემფოთებულ ნაწილში x კოორდინატაზე კვეთში.

თანაც ნავთობსადენის როგორც პირველი ისევე მეორე ავარიული უბნის შემფოთებული ნაწილისთვის უნდა შესრულდეს პირობა

$$P_x \geq P_N, \quad (2.18)$$

სადაც P_N არის ნავთობის ნაჯერი წნევა.

წნევის პროფილი ტალღის ფრონტის გარეთ წარმოადგენს (2.16) გამოსახულებით განსაზღვრული მრუდის პარალელურ და ქვემოთა მრუდს, იმ უბნებისთვის, რომლებისთვისაც სრულდება პირობა $P_x > P_N$. წნევის პროფილი შემფოთებული არის უბნებზე, რომელზეც სრულდება უტოლობა $P_x \leq P_N$, წარმოადგენს ჰორიზონტალურ წრფეს $P_x = P_N$.

ზემოთგადმოცემული ფიზიკური წარმოდგენებიდან გამომდინარე, სამუშაოში [80] წარმოდგენილი იყო მათემატიკური მოდელი საბოლოო სხვაობების სახით, რომელიც მაგისტრალური ნავთობსადენიდან ნავთობის გამოდინების გაანგარიშების საშუალებას იძლევა არასტაციონარული პროცესის პერიოდში გილიოტინური გარღვევისას, ე.ი დროის იმ პერიოდში, რომელიც იწყება ავარიის დაწყების მომენტოდან და მთავრდება წნევის შემცირების ტალღის მოსვლით ნავთოსადენის თავში - პირველი საავარიო უბნისთვის და ნავთობსადენის ბოლოში - მეორე საავარიო უბნისთვის. ნავთობსადენის პირველი უბნიდან (მოძრაობის სვლის მიმართულებით) ნავთობის გამოდინების სიჩქარის საანგარიშოდ მიღებულია განტოლება

$$w_{G.1} = w_0 \frac{P_0}{P_a} + \frac{\Delta P}{c\rho_a} \left[1 + \frac{dE_{*}}{E_T \delta} \right]^{-0.5}. \quad (2.19)$$

ნავთობსადენის მეორე უბნიდან ნავთობის ავარიული გამოდინების სიჩქარის საანგარიშოდ მიღებულია განტოლების შემდეგი სახე:

$$w_{G.1} = \frac{\Delta P}{c\rho_a} \left[1 + \frac{dE_{*}}{E_T \delta} \right]^{-0.5} - w_0 \frac{P_0}{P_a}. \quad (2.20)$$

გამოსახულებებში (2.19) და (2.20) მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები: E_{*} - სითხის დრეკადობის მოდული; E_T - მილის კედლის მასალის დრეკადობის მოდული; δ - d დიამეტრის მქონე მილის კედლის სისქე; c - ბგერის გავრცელების სიჩქარე თხევად არეში (ნავთობში).

$$c = \sqrt{\frac{E_{*}}{\rho}}, \quad (2.21)$$

$\frac{\rho_0}{\rho_a}$ - მნიშვნელობა საკმარისი სიზუსტით შეგვიძლია მივიღოთ

ერთის ტოლად. გამოყვანისას ნავარაუდები იყო, რომ ტალღის ფრონტის გავრცელების სიჩქარე განისაზღვრება ჟუკოვსკის ფორმულით

$$C_a = \left(\frac{\rho_0}{E_{\text{æ}}} + \frac{\rho_0 d}{E_T \delta} \right)^{-0,5}, \quad (2.22)$$

რომელიც მიღებულ იქნა მილსადენებში ჰიდრავლიკური დარტყმისთვის. ამის დასასაბუთებლად არსებობს ანალოგია ჰიდრავლიკურ დარტყმასა მილსადენის გილიოტინურ გარღვევას შორის. ამ მოლენეისთვის საერთო არის სითხეში წნევის ტალღების გაჩენა და გავრცელება. გილიოტინური გარღვევისას ხდება უკუპრცესი. გარღვევის შედეგად სისტემა ხდება ღია (ე.ი. უერთდება ატმოსფეროს), რასაც მივყავართ წნევის მყისიერი დაცემისკენ და სითხის მოცულობითი გაფართოებისკენ (სითხე-კუმშვადი გარემო). სახელდობრ ნავთობის მოცულობის გაზრდა სიმკვრივის შემცირების ხარჯზე უზრუნველყოფს მის გამოდინებას მილსადენიდან.

წნევის დაცემა ტალღების გავრცელების სიჩქარე გილიოტინური გარღვევისას, მკაცრად რომ ვთქვათ, უნდა ისაზღვრებოდეს, როგორც $(C_{\text{გ}} + w_0)$ - პირველი საავარიო უზნისთვის და $(C_{\text{გ}} - w_0)$ - მეორე საავარიო უზნისთვის. თუმცა, თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ $C_{\text{გ}}$ -ს მნიშვნელობა შეადგენს w_0 -ის მნიშვნელობის არა უმეტეს 0,1%, მაშინ მათი უგუვებელიყოფა შეიძლება, როგორც უსასრულოდ მცირე სიდიდისა. მით უმეტეს, რომ მნიშვნელობა w_0 იმყოფება $C_{\text{გ}}$ -ს ცდომილებათა გამოთვლის ზღვრებში. $C_{\text{გ}}$ -ს მნიშვნელობის გამოთვლისათვის გამოიყენება სიდიდეების $E_{\text{æ}}$ და $E_{\text{ფ}}$ -ს საშუალო მნიშვნელობა.

ტალღის ფრონტზე წნევის ვარდნა, მის მოძრაობასთან ერთად იცვლება. ამიტომაც ნავთობის (2.19) და (2.20) გამოსახულებებით განსაზღვრული გამოდინების სიჩქარეებიც შეიცვლება ΔP სიდიდის ცვლილების შესაბამისად, რომელიც განსაზღვრულია (2.17) გამოსახულების შესაბამისად და (2.18) პირობის გათვალისწინებით.

ნავთობსადენის პირველი საავარიო უბნიდან არასტაციონარული გამოდინების პერიოდში გადმოღვრილი ნავთობის რაოდენობა M_1 განისაზღვრება ფორმულით

$$M_1 = \rho_0 S \int_0^{t_{x1}} w_{\text{წი01}} dt . \quad (2.23)$$

ნავთობსადენის მეორე საავარიო უბნიდან არასტაციონარული გამოდინების პერიოდში გადმოღვრილი ნავთობის რაოდენობა M_2 განისაზღვრება ფორმულით

$$M_2 = \rho_0 S \int_0^{t_{x2}} w_{\text{წი02}} dt . \quad (2.24)$$

(2.23) და (2.24) ფორმულებში გამოიყენება შემდეგი აღნიშვნები: S - მილსადენის კვეთის ფართობი; t_{x1} , t_{x2} - წნევის ტალღის მოსვლის დრო შესაბამისად ნავთობსადენის თავსა და ბოლოში.

t_{x1} , t_{x2} მნიშვნელობები განისაზღვრება ფორმულებით

$$t_{x1} = \frac{x_a}{C_8} \text{ და } t_{x2} = \frac{L - x_a}{C_8} . \quad (2.25)$$

გადავიდეთ ჰორიზონტალური ნავთობსადენის მე-10-ე კმ-ზე გილიოტინური გარღვევის მაგალითზე შესრულებლი ანგარიშების შედეგების ანალიზზე. ეს შედეგები გრაფიკულად წარმოდგენილია ნახ. 28-ზე და [81]-ის ნახ. 6-ზე. ანალიზს თან ეახლება [80]-ში შემოთავაზებულ მოდელში მიღებულ შედეგებთან, აგრეთვე შედეგების ფიზიკური თვალსაზრისით განმარტებებთან შედარება. ამოცანის პირობები შევავსოთ ანგარიშებისთვის ნაკლები საწყისი მონაცემებით. ნავთობის სიმკვრივედ სტანდარტული პირობებისათვის მივიღოთ 860 კგ/მ^3 -ის ტოლად, ნავთობის კუმშვის მოდულად $E_H = 1,3 \cdot 10^9$ პა, მილის კედლის სისქე 20 მმ, მილის მასალის იუნგის მოდული $E_0 = 2 \cdot 10^{11}$ პა, ნავთოსადენის ბოლოში წნევა 2 მპა (20 ატმ).

[81] სამუშაოს ნახ. 28-დან ჩანს, რომ ავარიის ადგილზე შეიმჩნევა წნევის ნახტომი. ამასთან, ან ნახტომის სიდიდე დროის სხვადასხვა მომენტში განსხვავებულია. ასე, გარღვევის ადგილას წნევა შეადგენს 28 ატმ

60 წამი დროის მომენტისათვის, 15 ატმ - დროის 180 წმ მომენტისათვის, 10 ატმ - დროი 300 წმ მომენტისათვის და 8 ატმ. დროის 480 წმ მომენტისათვის.

შეიძლება დავამტკიცოდ, რომ წნევის შემცირების ტალღა არ შეძლება ჩაქრეს მანამ, სანამ არ მივა ნავთობსადენიდან მეორე საავარო უბნის ბოლომდე. დამტკიცება მოვახდინოთ საწინააღმდეგოდან. დავუშვათ $x_3 (x_3 \neq x_k)$ - მილსადენის კვეთია, რომელთან მიახლოვებისას ტალღა ქრება. რადგანაც ამ კვეთში არსებობს გადატუმბვის სტაციონარული რეჟიმის წნევის შესაბამისი წნევა, ამ კვეთიდან უნდა დაიწყოს დინების ახალი ეტაპი - დინების ეტაპი მოპირდაპირე მიმართობლებებით ნულისაგან განსხვავებული ხარჯებით. ასეთი კვეთის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია იყოს კვეთში x_3 ნავთობის წყარო. მაშასადამე, მიღებული დაშვება წნევის ტალღის ჩაქრობის შესახებ ეწინააღმდეგება ფიზიკურ არსს.



ნახ. 28. მილსადენში, სხვადასხვა დროისათვის, წნევი პროფილები მსხვილი ბზარისას, 40 კმ მანძილზე ([69]): ◆ - 0 წმ; ■ - 10 წმ; ▲ - 1 წთ; * - 10 წთ

განვიხილოთ ნაკადის “ჩაკეტვის” მოვლენა მხოლოდ წნევის წვეშ მყოფი ჭურჭლიდან გამოდინების შემთხვევისათვის [78]. ამ მოვლენის ფიზიკური არსი საბოლოოდ აიხსნება ზებგერითი და ზებგერითამდე დინებების თავისებურებებით. დამოდინებული გაზის ხარჯი დამოკიდებულია წნევის ვარდნაზე ჭურჭელში და გამოდინების არის წნევაზე. წნევის ვარდნის გაზრდასთან ერთად ხარჯი იზრდება, მაგრამ გარკვეულ მომენტამდე. ადგილობრივი ბგერის სიჩქარის ტოლი გაზის სიჩქარის მნიშვნელობის მიღწევისას პატარა ნახვრეტში, წნევის ვარდნის

შემდგომი ზრდა არ ახდენს გავლენას გამოდინების პროცესზე ანუ გაზის ხარჯი რჩება მუდმივი. ამ მოვლენას უწლებენ გაზის ნაკადის “ჩაკეტვას”. ნახვრეტის კვეთში გაზის ნაკადის ყველა პარამეტრი: სიჩარე, წნევა, სიმკვრივე, ტემპერატურა - დეზულობენ მუდმივ კრიტიკულ მნიშვნელობებს და არ არის დამოკიდებული შექმნილი წნევის ვარდნაზე. ნავთობის ნაკადის “ჩაკეტვის” მოვლენა გილიოტინური გარღვევის დროს არ უნდა არსებობდეს.

[80,81] მოვლენის შესაბამისად ნავთობსადენების გარღვევის მომენტში პირველი უბნიდან გამოდინებული ნავთობის გაანგარიშებული სიჩქარე შეადგენს 15,3 მ/წმ. ჩვენი მეთოდიკა საშუალებას იძლევა მივიღოთ საკმარისად ზუსტი შედეგები. ამაში დასარწმუნებლად, საკმარისია ჩავატაროდ შემდეგი შეფასება. ავარიული ნახვრეტიდან გადმოღვრილი ნავთობის რაოდენობა, რომელიც გაანგარიშებულია ფორმულით (2.13) ნახსენები მაგალითისთვის (2.9)-ის გათვალისწინებით, შეადგენს 5375,2 ტ. 778 წამი დროის პერიოდში ნავთობსადენიდან წარმოებს ნავთობის ამოტუმბვა $w_0=0,92$ მ/წმ სიჩქარით 726,3 ტ. რაოდენობით. ნავთობსადენიდან გადმოდენილი ნავთობის ჯამური რაოდენობა შეადგენს 6101,5 ტ. ნავთობის ეს მასა უნდა იყოს უზრუველყოფილი ნავთობის მოცულობითი გაფართოებითა და მილსადენის მოცულობის შემცირებით ნავთობსადენში წნევის ატმოსფერულამდე დაგდებისას. ნავთობის

მოცულობის გაზრდა მოცულობითი გაფართოების ხარჯზე წნევის ΔP სიდიდით შემცირებისას ისაზღვრება ფორმულით $\Delta V_i = \frac{V \Delta P}{E_x}$. მილსადენის

შიგა მოცულობის შემცირება წნევის ΔP სიდიდით შემცირების ხარჯზე

განისაზღვრება [73] ფორმულით $\Delta V_T = \frac{\pi d^3 L \Delta P}{4 E_T \delta}$. ვინაიდან ნავთობსადენში

წნევა იცვლება 13 მპა-დან (ნავთობსადენის თავში) 2 მპა-მდე (ნავთობსადენის ბოლოში), მაშინ წნევის ვარდნის საშუალო მნიშვნელობა შეადგენს $\Delta P = 7,5$ მპა. განხილული მაგალითისთვის ნავთობის გამონთავისუფლებული მოცულობა განისაზღვრება, როგორც

მოცულობების ჯამი $\Delta V_i + \Delta V_T = 5113,9 \text{ მ}^3 + 1958,8 \text{ მ}^3 = 7072,7 \text{ მ}^3$. ნავთობის ამ მოცულობის შესაბამისი მასა ტოლია 6082,5 ტ. ნავთობის მასებს შორის სხვაობა მისი მოცულობის ზრდისა და ნავთობსადენიდან ნავთობის გადმოღვრის ხარჯზე შეადგენს მხოლოდ 19 ტ., რაც შეესაბამება 0,3% (მასურ) ცდომილებას. მატერიალური ბალანსი იკვრება საკმაოდ მაღალი სიზუსტით.

2.4. მაგისტრალური ნავთობ-და ნავთობპროდუქტების მილსადენების ავარიების დროს ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების დაღვრის ლიკვიდაციის გეგმა

ჩვენ ნაშრომში არის ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების დაღვრის ლიკვიდაციისა და გამაფრთხილებელი გეგმის დამუშავებისა და შეთანხმების პრობლემის გაანალიზების მცდელობა.

ტექნოგენური ხასიათის საგანგებო სიტუაციის წარმოქმნის ერთ-ერთი მიზეზს წარმოადგენს ნავთობის (ნავთობპროდუქტის) დაღვრა, რომელსაც შეიძლება თან ერთოდეს ადამიანთა მსხვერპლი, ადამიანებისა ჯანმრთელობის შერყევა და ბუნებრივი გარემოს დაზიანება, მნიშვნელოვანი მატერიალური და ფინანსური დანაკარგები, ადამიანების საყოფაცხოვრებო და საწარმოთა მუშაობის პირობების დარღვევა.

მაგალითად, ამჟამად მოქმედებს [82-84], რომელთა თანახმად ხორციელდება საგანგებო სიტუაციების კლასიფიკაცია. ცხრილებში 24 და 25-ში წარმოდგენილია საგანგებო სიტუაციათა კატეგორიების შეფასებათა კრიტერიუმები.

ცხრილი 25

შიგა მტკნარი წყალსაცავებში და ხმელეთზე, საგანგებო სიტუაციის კლასიფიკაცია

| საგანგებო სიტუაციის კატეგორია | დარღვის მასა, ტონა | საგანგებო სიტუაციის ზონის ზომა |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| ლოკალური მნიშვნელობა | 100-დან ქვედა დონიდან | გამოდის ტერიტორიის საზღვრიდან |
| მუნიციპალური მნიშვნელობა | до 100 | გამოდის ტერიტორიის საზღვრიდან |

| | | |
|---------------------------|-------------|---|
| ტერიტორიალური მნიშვნელობა | 100 - 500 | არ გამოდის ადმინისტრაციული საზღვრიდან (მუნიციპალური) |
| | 500 - 1000 | არ გამოდის ადმინისტრაციული სუბიექტის საზღვრიდან (ქვეყანა) |
| რეგიონალური მნიშვნელობა | 1000 - 5000 | ადმინისტრაციული საზღვრის ზღვრებში (ქვეყნის სუბიექტი) |
| ფედერალური მნიშვნელობა | >5000 | გამოდის ქვეყნის საზღვრიდან |

ცხრილი 26

საგანგებო სიტუაციის კრიტერიუმები[84]

| | დაზიანებული ადამიანების რაოდენობა | |
|------------------|-----------------------------------|---------------|
| ლოკალური | <10 | <100 |
| მუნიციპალური | <50 | <5000 |
| მუნიციპალურშორის | <50 | <5000 |
| რეგიონალური | 50 – 500 | 5000 – 500000 |
| რეგიონალურშორისი | 50 – 500 | 5000 – 500000 |
| ფედერალური | >500 | >500000 |

მაგალითად, 100 ტონამდე მასის მქონე ნავთობია დაღვრა, რომელიც არ ცდება სარეზერვო პარკის ჩამოქცევას, და არ არიან დაზარალებულები, [83]-ის თანახმად კლასიფიცირდება როგორც ლოკალური მნიშვნელობის საგანგებო სიტუაციას. თუმცა, 100 ტონა ნავთობის დაღვრისას მატერიალური ზარალის შეფასება მოწმობს იმას, რომ ის შეადგენს 100 ათას დოლარზე მეტს, რაც [84]-ის თანახმად კლასიფიცირდება, როგორც მუნიციპალური მასშტაბის საგანგებო სიტუაციას.

საგანგებო სიტუაციის ზონების საზღვრის დადგენის დროს (ნავთობსადენები) აუცილებლობის შემთხვევაში უნდა გათვალისწინებული იქნეს ისეთი ძირითადი დაღვრით გამოწვეული მავნე ფაქტორები, როგორიცაა: ჰაერის დარტყმითი ტალღა, დაღვრილი სითხის წვისა და ცეცხლოვანი სფეროების თბური გამოსხივება, მოწყობილობათა ნატეხები და ნამსხვრევები.

ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების დაღვრის სტატისტიკური მონაცემების ანალიზი ადასტურებს იმას, რომ რიგ შემთხვევებში [81,82]-ში განსაზღვრული დაღვრების მოცულობები დაუსაბუთებლად მრავალჯერ გადამეტებულია. მაგალითოდ ქვემოთ მოყვანილია მილსადენიდან

გადმოღვრილი ნავთობის მაქსიმალურად შესაძლებელი რაოდენობის შედეგების ანალიზი. ცხრილ 26-ში მოყვანილია გადმოღვრილი ნავთობის (ნავთობპროდუქტის) მოცულობის ანგარიშის შედეგები მილსადენებისთვის დიამეტრით 300-დან 1200 მმ-მდე [81,82] რეკომენდაციების თანახმად. ანგარიშში მიღებული იყო ავარიული უბნის ხაზოვანი ურდულებით წასაკვეთი მონაცემები: 1, 10, 20, 30 კმ. უკანასკნელი მონაცემები მიღებული იყო იმის გათვალისწინებით, რომ მაგისტრალური ნავთობსადენისათვის ხაზოვანი წასაკვეთ ურდულებს შორის მანძილი არ უნდა აჭარბებდეს 30 კმ.

ცხრილი 27

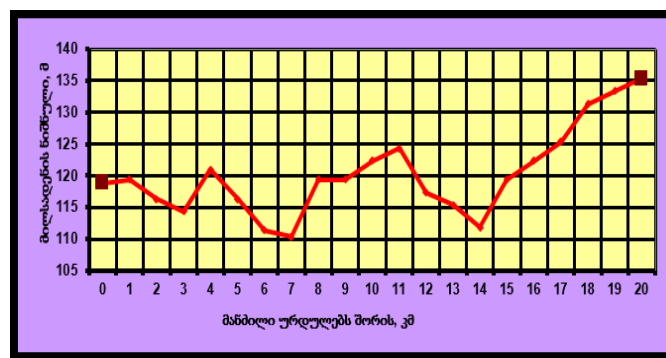
სხვადასხვა დიამეტრის მქონე ნავთობსადენის დაზიანებული უბნიდან ნავთობის დაღვრილი საანგარიშო მოცულობები

| დიამეტრი, მმ | ხარჯი, მ ³ /წმ | დაღვრილი ნავთობის მოცულობა, მ ³ როდესაც: | | | | |
|-----------------|------------------------------|---|-----------------------------|-------|-------|-------|
| | | “გარღვევა” | “გარღვევა”, ცალკე უბნით, კმ | | | |
| | | | 1 | 10 | 20 | 30 |
| 300 | 500 | 3360 | 820 | 1460 | 2150 | 2870 |
| 500 | 1000 | 7190 | 1800 | 3570 | 5530 | 7490 |
| 800 | 4030 | 27080 | 6550 | 11070 | 16100 | 21120 |
| 1000 | 6700 | 45020 | 10840 | 1790 | 25750 | 33600 |
| 1200 | 10470 | 70360 | 16840 | 27010 | 38310 | 49620 |

განვსაზღვროთ მაგისტრალური ნავთოსადენიდან გადმოღვრილი ნავთობის რაოდენობა, რომლის ტრასის პროფილი წარმოგენილია ნახ. 29-ზე (აღებულია „ბაქო-სუფსა“ ნავთობსადენის რეალური მონაკვეთი პირობითი აღნიშვნებით).

ანგარიშისთვის საწყისი მონაცემებია: მილსადენის დიამეტრი $D = 531$ მმ; ნავთობსადენში ნავთობის ხარჯი $Q = 530$ მ³/სთ (ფაქტიური დატვირთვა 2011 წ. – 3,9 მლნ ტ/წელი). მეზობელ ხაზოვან ურდულებს შორის მანძილი $L = 20$ კმ, ნავთობის სიმკვრივე $\rho = 0,84$ ტ/მ³. გაანგარიშების დროს გამოვიყენოთ ჩვენი და მეთოდიკა [85]. მილსადენიდან გადმოღვრილი ნავთობის რაოდენობის ანგარიში, [85]-ის თანახმად წარმოებს 3 ეტაპად, რომლებიც განისაზღვრება გამოდინების სხვადასხვა რეჟიმით: ნავთობის გადმოდინება დაზიანების მომენტიდან გადატუმბვის გაჩერებამდე; მილსადენიდან ნავთობის გადმოდინება გადატუმბვის გაჩერების

მომენტიდან ურდულების დაკეტვამდე; მილსადენიდან ნავთობის გადმოღინება ურდულების დაკეტვის მომენტიდან გაჟონვის შეწყვეტამდე. ნავთობსადენის დეჰერმეტიზაციის უცუდესი ვარიანტისთვის (14 კმ მარცხენა ურდულიდან) ნავთობის M_1 რაოდენობა, რომელიც გამოედინება ნავთობსადენიდან გადატუმბვის გაჩერების τ_a მომენტიდან, განისაზღვრება თანაფარდობით $M_1 = Q_1 \tau_1 = Q_1 (\tau_0 - \tau_a) = (530/3600) \cdot 300 = 44,2 \text{ მ}^3$. დაზიანების τ_0 დრო და გადატუმბვის გაჩერების τ_a დრო ფიქსირდება გადატუმბვის რეჟიმების ავტომატური კონტროლის სისტემით.



ნახ. 29. „ბაქო-სუფსა“ მაგისტრალური ნავთობსადენის ტრასის უბნის პროფილი

ავილთ დრო დაზიანების მომენტიდან ტუმბოს გაჩერებამდე 300 წამის ტოლად ($\tau_1 = 300$ წამი). სინამდვილეში გილიოტინური გარღვევისას სატუმბი სადგურის გათიშვა ხდება უფრო ნაკლები დროის მანძილზე, რადგანაც ნავთობგადასატუმბი სადგურების დაცვის არსებული სისტემები ამუშავდება მნიშვნელოვნად სწრაფად, იმის გამო, რომ დაწეული წნევის ტალღის ფრონტი ასეთი გარღვევის დროს აღწევს ავარიის ადგილის და მიხედვით [86] რაღაც წამებში, მაგრამ არა უმეტეს 2 წუთისა.

მილსადენიდან გამოდინებული ნავთობის რაოდენობა გადატუმბვის გაჩერების მომენტიდან ურდულების დაკეტვამდე შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$M_2 = \mu \omega \sqrt{2gH} = 0,6 \left(\frac{3,14 \cdot 0,531^2}{4} \right) (2 \cdot 9,81 \cdot 24)^{0,5} = 0,6 \cdot 0,22134 \cdot 21,7 = 2,88 \text{ მ}^3,$$

სადაც $\mu = 0,6$ არის ხარჯის კოეფიციენტი; $\omega = \pi D^2 / 4$ -დეფექტური ნახვრეტის (მილის განივკვეთის) ფართობი; $g = 9,81$ მ/წმ² - თავისფალი ვარდნის აჩქარება; $H = 24$ მ- ნავთობსადენის უბანზე სიმაღლეთა მაქსიმალური ვარდნილი. ურდულების დაკეტვის შემდეგ გამოდინებული ნავთობის რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$M_1 = (\pi D^2 / 4) L_1 = (3,14 \cdot 0,531^2 \cdot 9000) / 4 = 1992,05 \text{ მ}^3,$$

სადაც $L_1 = 9000$ მ არის დაზიანების ადგილის მომიჯნავე უბნების სიგრძეთა ჯამი, რომლებიც დაზიანების ადგილიდან ამალელებულია და მისკენ მიმართულია (უარესი შემთხვევისათვის).

გადმოღვრილი ნავთობის ჯამური რაოდენობა შეადგენს:

$$M = M_1 + M_2 + M_3 = 44,2 + 2,88 + 1992,05 = 2039,13 \text{ მ}^3.$$

შერჩეული უბანზე ნავთობსადენის დეჰერმეტიზაციის ყველაზე ცუდი ვარიანტისთვის ანგარიშის შედეგები ჩვენი მეთოდით [85] და დოკუმენტებით [82,83] განსხვავდება 7-ჯერ.

2.5. მაგისტრალურ ნავთობსადენებზე ავარიების რისკებისა და შედეგების განსაზღვრის მეთოდური რეკომენდაციები

მაგისტრალურ ნავთობსადენებზე ავარიების რისკებისა და შედეგების განსაზღვრის მეთოდური რეკომენდაციები დამუშავებულია ბუნებრივი და ტექნოლოგიური ხასიათის სიტუაციების უსაფთხოების სფეროში რისკებისა და კონტროლის შეფასების დამოუკიდებელი სისტემის შესაქმნელი ღონისძიებების შესასრულებლად. რეკომენდაციების დამუშავების საფუძველში ჩადებულია შეფასების სიზუსტესა და ანგარიშის სიმარტივეს შორის კომპრომისის პრინციპი.

რეკომენდაციებში გათვალისწინებულია შედეგები, განპირობებული: ხანძრებით, აფეთქებებით, მაგისტრალური ნავთობსადენების ფარგლებს გარეთ ტოქსიკური ნივთიერებების გამოტყორცნით.

დაზიანებულთა და ბუნებისთვის მიყენებული მავნეობის რაოდენობის შეფასების პირველ ეტაპზე აუცილებელია ობიექტის იდენტიფიცირება მაგისტრალური ნავთობსადენების სახიფათო ნივთიერების სახის მიხედვით. ამისათვის ცხრილი 27-დან შემდგომი შეფასებისათვის საჭიროა განისაზღვროს კონკრეტული სახიფათო ნივთიერების შესაბამისი ციფრული კოდი.

ცხრილი 28

ნავთობგაზსადენების საშიში ნივთიერების ნუსხა და ციფრული კოდი

| ნივთიერების ტიპი | თვისება | ნივთიერება | | კოდი |
|------------------|--|---------------------------|--------------------------------|------|
| საწვავი სითხეები | ნაჯერი ორთქლის წნევა 20°C და 0,3 ბარზე ნაკლები | დიზელის საწვავი, ნავთობი | | 1* |
| | ნაჯერი ორთქლის წნევა 20°C და 0,3 ბარზე ნაკლები | ბენზინი, ნავთი | | 2* |
| აალებადი აირები | გათხევადებული წნევით | ბუტანი, პროპანი | | 3* |
| | წნევის ქვეშ | წყალბადი, მეთანი, ეთილენი | მეთილაცეტილენი, ბუნებრივი გაზი | 4* |

ცხრილი 28-ს მიხედვით მეორე ეტაპზე უნდა შეფასდეს დაზიანებულთა რაოდენობა სახიფათო ნივთიერების იდენტიფიცირებული ობიექტისა და მოცულობის (მასის) მიხედვით.

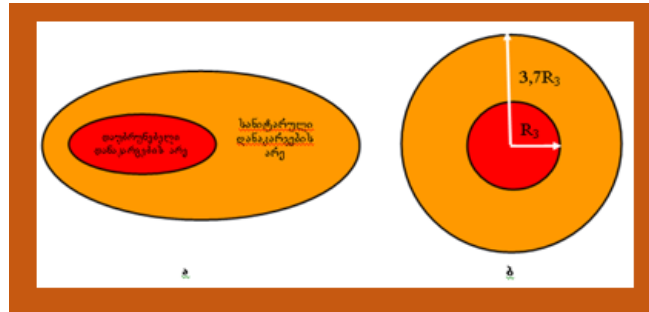
ცხრილი 29

მაგისტრალური მილსადენების ობიექტზე ზემოქმედების კლასის დადგენა

| ციფრული კოდი | მილსადენის მაქსიმალური დიამეტრი, მ | | | | | | |
|--------------|------------------------------------|-----------|----------|---------|---------|---------|------|
| | < 0,02 | 0,02-0,04 | 0,04-0,1 | 0,1-0,2 | 0,2-0,4 | 0,4=1,0 | >1,0 |
| 1* | - | - | - | - | A I | A I | A I |
| 2* | - | - | - | - | A I | B II | B II |
| 3* | C I | C I | C I | D I | E I | E I | E I |
| 4* | - | - | - | - | A I | A I | B I |
| 5* | E III | E III | E III | F III | - | - | - |
| 6* | F III | F III | F III | G III | - | - | - |
| 7* | D III | E III | F III | - | - | - | - |

შეფასების მესამე ეტაპზე ისაზღვრება სავნები ზონის პარამეტრები (ნახ. 30ა), შემდგარი: 1) დაკარგული დანაკარგების არედ ითვლება ის, რომ საგაგებო სიტუაციის შედეგად ამ არეში მოხვედრილი ყველა ადამიანი უნდა დაიღუპოს და გარემოს უნდა მიაღვს დიდი ზარალი, 2)

სანიტარული დანაკარგების არედ ითვლება ის, რომ საგანგებო სიტუაციის შედეგად ადამიანების ჯანმრთელობას და ბუნებას მიაღწება ამა თუ იმ ზომის ზიანი.



ნახ. 30. ა) დაზიანების ზონა; ბ) დაზიანების ზონა - ტიპი I (წრე) - დამახასიათებელია აფეთებისას

მეორე ეტაპზე განსაზღვრული მილსადენის ზემოქმედების კლასის კოდს გააჩნია ასოებისა (A-H) და ციფრული (I-III) კომპონენტები. ცხრილ 29-ში წარმოდგენილი ასოების კომპონენტი მავნეობის R_3 ზონის მაქსიმალური ხაზოვანი მასშტაბის შეფასების საშუალებას იძლევა.

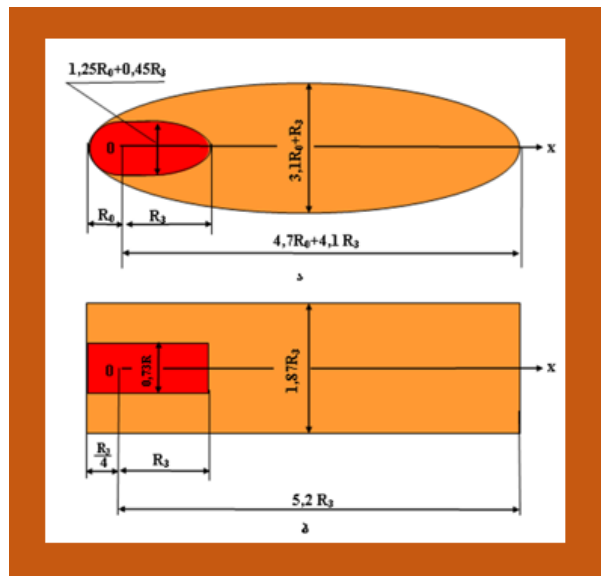
მილსადენის ზემოქმედების კლასის კოდის ციფრული კომპონენტი განსაზღვრავს სავენები ზონების ტიპს, რომლებიც სქემატურად გამოსახულია ნახ. 30ბ, ნახ. 31,ა და ბ-ზე. ამ ნახაზებზე ჩვენ მიერ ნაჩვენებია ნატურული სტატისტიკური მონაცემების თანახმად გეომეტრიული მახასიათებლების შეფასება.

ცხრილი 30
დაზიანების ზონის მაქსიმალური წრფივი მასშტაბი R_3

| ასოთი კომპონენტი | R_3 , მ |
|------------------|-----------|
| A | 25 |
| B | 50 |
| C | 100 |
| D | 200 |
| E | 500 |
| F | 1 000 |
| G | 3 000 |
| H | 10 000 |

ცხრილი 30-დან ზემოქმედების კლასის კოდის მიხედვით შეიძლება განისაზღვროს დაკარგული და სანიტარული დანაკარგების არეების მაქსიმალური ფართობები.

დაზიანებულთა რაოდენობის შეფასების მეოთხე ეტაპზე განისაზღვრება ადამიანთა რაოდენობა, რომლებიც მოჰყვნენ საგანგებო სიტუაციის შედეგად დაუბრუნებელი (N_B) და სანიტარული (N_S) დანაკარგების არეში. ეს შეიძლება გაკეთდეს დაუბრუნებელი და (ან) სანიტარული დანაკარგების არეების გამრავლებით ამ ფართობების შესაბამის წილებზე (S_B, S_S), რომლებიც მოხვედრილია ადამიანების მუდმივი ადგლსამყოფელის ზონებში, და ხალხის განაწილების სიმკვრივეზე (N).



ნახ. 31. ა) დაზიანების ზონა - ტიპი II (განიერი ზოლი) - დამახასიათებელია აალეზადი გაზის ღრუბლის წვისას; ბ) დაზიანების ზონა - ტიპი III (ვიწრო ზოლი) - დამახასიათებელია გაზის ღრუბლის დრეიფი

ცხრილი 31

მაქსიმალური ფართობების გამოუხმობი (S_B) და სანიტარული (S_S) დანაკარგები

| კოდის ასოთი კომპონენტა | კოდის ციფრული კომპონენტა | | | | | |
|------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | I | | II | | III | |
| | S_B | S_S | S_B | S_S | S_B | S_S |
| A | 0,20 | 1,94 | 0,05 | 0,44 | 0,01 | 0,08 |
| B | 0,79 | 7,77 | 0,19 | 1,75 | 0,03 | 0,34 |
| C | 3,14 | 31,1 | 1,75 | 7,01 | 0,14 | 1,35 |
| D | 12,6 | 124,0 | 3,0 | 28,0 | 0,54 | 5,40 |

| | | | | | | |
|----------|------|-------|------|-------|--------|---------|
| E | 78,5 | 777,0 | 18,8 | 175,0 | 3,38 | 33,8 |
| F | - | - | - | - | 13,5 | 135,0 |
| G | - | - | - | - | 122,0 | 1215,0 |
| H | - | - | - | - | 1350,0 | 13500,0 |

$$\begin{cases} \mathbf{N}_B = \mathbf{Nk}_B \mathbf{S}_B; \\ \mathbf{N}_S = \mathbf{Nk}_S \mathbf{S}_S. \end{cases} \quad (2.26)$$

$(\mathbf{k}_B, \mathbf{k}_S)$ ფართობების აღნიშნული წილები და (ან) თვით ეს ფართობები $(\mathbf{k}_B, \mathbf{S}_B, \mathbf{k}_S, \mathbf{S}_S)$ შეიძლება შეფასდეს მიახლოებით, გამოყენებულ იქნება რა გეოინფორმაციული ტექნოლოგიები ან იანგარიშება პლანიმეტრიის ტრადიციული მეთოდების დახმარებით რუკაზე შაბლონების შესაბამისი მასშტაბით დატანით (ნახ. 31, 1,2). ადამიანების განაწილების სიმკვრივე \mathbf{N} , თუ ის უცნობია და მისი განსაზღვრა შეუძლებელია, შეიძლება აღებულ იქნეს [87]-დან.

დაზარალებულთა შესაძლო რაოდენობის შეფასების კორექტირება შედეგების შემამცირებელ შესაძლო მოქმედებებზე, აუცილებელია, იმის გამო: ავარიის დამაზიანებელი ფაქტორის ზემოქმედების დაწყებამდე ადამიანების გადასარჩენად გადაწყვეტილებების მიღების შესაძლებლობის გამო; დაცვის ინდივიდუალური საშუალებებისა და თავშესაფრების არსებობის გამო და ა.შ. მთელ რიგ შემთხვევებში შესაძლებელია მნიშვნელოვნად შემცირდეს შეასწორებელი \mathbf{f} კოეფიციენტის რაოდენობა, რომელიც განისაზღვრება ნივთიერების ციფრული კოდის საფუძველზე ცხრილი 32-ის მიხედვით.

ცხრილი 32

ავარიის შედეგების შემარბილებელი შემასწორებელი \mathbf{f} კოეფიციენტი

| ნივთიერება | ციფრული კოდი | შესწორება \mathbf{f} |
|------------------------|-------------------|------------------------|
| ფეთქებადი ნივთიერებები | (1-2) | 1 |
| საწვავი სითხეები | (3-6), (1* - 2*) | 1 |
| აალებადი აირები | (7-10), (3* - 4*) | 1 |
| აალებადი სითხეები | (11) | 0,1 |

თავი 3. ნავთობგაზსადენების ეკოლოგიურ-ეკონომიკური მოდელები

3.1. ნავთობგაზსადენების ეკოლოგიურ-ეკონომიკური მოდელები გარემოსდამცავი ღონისძიებების სისტემისათვის

ამჟამად ცხადი გახდა, რომ გარემოს დაცვის უზრუნველყოფაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ეკონომიკური რეგულაციების მეთოდები. გარემოს რაციონალური გამოყენებისა და გარემოს დაცვის ეკონომიკური მექანიზმის შემოღების ობიექტური აუცილებლობა შეიქმნა მეოცე საუკუნის 80-იანი წლების დასასრულს. ამიტომ ეკოლოგიური რეგულირების სამართლის წინაშე დადგა ეკოლოგიურ-ეკონომიკური ურთიერთქმედების პრობლემა, რომელიც შედის გარემოსდამცავი ღონისძიებების მართვის საერთო სისტემაში ნავთობგაზსადენებისათვის.

განვიხილოთ ეკოლოგიურ-ეკონომიკური ურთიერთქმედება გარემოსდამცავი ღონისძიებების სისტემაში. პრობლემათა წრის, რომელიც მოიცავს ეკოლოგიურ-ეკონომიკურ ურთიერთქმედებას, მილსადენებისათვის მიზანია მეცნიერული საფუძვლებისა და პრინციპების დამუშავება, რომლებიც ხელს შეუწყობს ეკონომიკის მდგრად განვითარებას გარემოს შენარჩუნებით (Environmental Economics) [88]. ეკოლოგიურ-ეკონომიკური ურთიერთქმედება წარმოადგენს ისეთი გლობალური პრინციპების მეთოდოლოგიურ საფუძველს, როგორცაა გარემოსა და საზოგადოების მდგრადი განვითარება და ევოლუცია. ამიტომაც ეკოლოგიურ-ეკონომიკური ურთიერთქმედებები პირველად იქნა განხილული მსოფლიო დინამიკის მოდელების დონეზე. ეკოლოგიურ-ეკონომიკური ურთიერთქმედებების პრაქტიკული რეალიზაცია მიდგება წარმოების ეკოლოგიური ხარჯების მინიმიზაციამდე. ეკოლოგიური ხარჯები - არის გარემოს დარღვევისთან დაკავშირებული დამატებითი დანახარჯები ეკონომიკაში.

ეკოლოგიური ხარჯები W იყოფა ორ ნაწილად - გარემოსდამცავი ხარჯები - U და ეკოლოგიური დარღვევებით გამოწვეული ეკონომიკური ზარალი V .

$$W = U + V. \quad (3.1)$$

გარემოსდამცავი ხარჯები - ეს არის ხარჯები ეკოლოგიური დარღვევების გაფრთხილებაზე გარემოსდამცავი ღონისძიებების დახმარებით. ეკოლოგიური დარღვევებით V გამოწვეული ეკონომიკური ზარალი (იურიდიულად - ეს არის დანაკარგები, ე.ი. ზარალი და მიუღებელი შემოსავლები) მოიცავს დანახარჯებს შესაბამისად გაფრთხილებაზე V_1 და V_2 არის დარღვევების ზემოქმედებაზე რეციპიენტებზე (ცხრილი 32).

$$V = V_1 + V_2. \quad (3.2)$$

ცხრილი 33

ეკოლოგიური დანახარჯების სტრუქტურა

| გარემოსდაცვითი U | ეკოლოგიური დარღვევების ეკოლოგიური ზარალი V | |
|--|--|---|
| | დანახარჯების გაფრთხილება გარემოზე დარღვევა რეციპიენტენტებს V_1 | დანახარჯების გარემოზე კომპენსაციის დარღვევა რეციპიენტენტებს V_2 |
| გარემოსდაცვითი ღონისძიების ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთების შექმნა | ჰაერის დაბინძურების შემცირება | საფასური რესურსებისათვის (წიაღისეული, მიწა, წყალი) |
| გარემოზე ზემოქმედის შეფასების შემუშავება | სამელი წყლის გაწმენდა | გარემოს დაბინძურების გადასახადები |
| შენობების და ტექნიკური ობიექტების საინჟინრო დაცვა | დარღვეული მიწების რეკულტივაცია | საფასურის კომპენსაციის ანაზღაურები სასოფლო-სამეურნეო მიწისათვის |
| გარემოს დაცვითი სუფთა ტექნოლოგიები | წყლის მოხმარების გაუმჯობესების გამოყენება | შრომის პირობების კონტროლი და პროფილაქტიკა |
| გარემოს დაცვის დანახარჯები სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების დანახარჯები | | |
| ეკოაუდიტი | | |
| ეკოლოგიური დაზღვევა | | |

რეციპიენტებს მიეკუთვნება მოსახლეობა, მრეწველობის ძირითადი ფონდები, რეკრეაციულ მოცულობები, საყოფაცხოვრებო-კომუნალური

მეურნეობის ობიექტები, სასოფლო-სამეურნეო ნათესები, ტყეები, ცხოველთა სამყარო, წყლის რესურსები, საჰაერო არე.

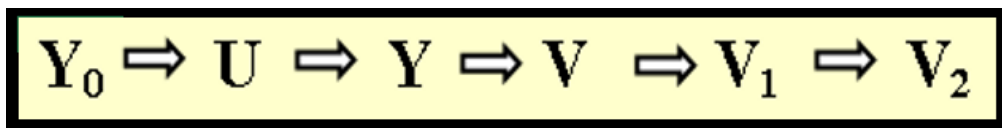
ეკონომიკური ზარალი V წარმოიქმნება გარემოსდამცავი ღონისძიებების არარსებობის, მათი მასშტაბების არასაკმარისობისა და მათი სუსტი ეფექტურობის გამო. ცხადია, რომ ეკონომიკური ზარალი V და გარემოსდამცავი ღონისძიებები U ურთიეთკავშირშია: რაც უფრო მეტია ბუნებისდამცავი ხარჯები, მით აკლებია მიყენებლი ზარალი.

$$\begin{cases} \frac{dV}{dt} < 0; & V = 0, & W = U; \\ & U = 0, & W = V. \end{cases} \quad (3.3)$$

ეკოლოგიური ხარჯების სტრუქტურა გაოხატავს გარემოსდამცავი ხარჯებს ეკოლოგიური დარღვევების გაფრთხილებაზე ნავთობგაზსადენების სფეროს საწაროებისათვის და ეკოლოგიური დარღვევებით გამოწვეული ეკონომიკურ ზარალს.

ეკოლოგიური დარღვევების არარსებობისას ეკოლოგიური ხარჯები W მთლიანად შედგება გარემოსდამცავი U ხარჯებისგან, ამასთან, სრულად გამოირიცხება ტექნოგენური ზემოქმედება გარემოზე. თუ გარემოსდამცავი ღონისძიებები არ ტარდება, მაშინ ეკოლოგიური ხარჯები W ემთხვევა ეკონომიკურ ზარალ V -ს. რეალური სიტუაცია განსხვავდება ამ ორ კიდურა შემთხვევებისგან, და დგება წარმოების პროცესში ეკოლოგიური დარღვევების ეკონომიკური ოპტიუმის მიღწევის პრობლემა. საუბარია გარემოს ხარისხის შენარჩუნებაზე პირობისთვის, რომ ეკოლოგიური ხარჯები W მინიმალურია.

ეკოლოგიური ხარჯები ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტისა და გარემოს ხარისხის შენარჩუნების მიზნით განვიხილოთ წარმოების ეკოლოგიური ხარჯების სისტემის ფორმირების სქემა (ნახ. 32).



ნახ. 32. სისტემის ეკოლოგიური დანახარჯების ფორმირების სქემა

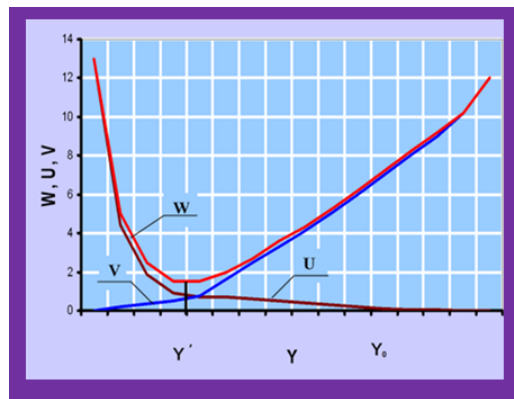
აქ მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები: Y_0 წარმოების პროცესის ტექნოგენური დატვირთვა; X - გარემოსდამცავი ღონისძიებები; W - გარემოზე ტექნოგენური დატვირთვა; U - გარემოსთვის მიყენებული ზარალი; V_1 - ღონისძიებები, მიმართული გამაფრთხილებელ დარღვევების ზემოქმედებაზე რეციპიენტებზე; V_2 - ამ ზემოქმედების საკომპენსაციო ღონისძიებები.

ეს სიდიდეები ვექტორულია და შეიცავს კომპონენტებს, რომლებიც განისაზღვრება განხილული საწარმოო პროცესის ხასიათით X და მისი ზემოქმედებით გარემოზე. საწარმოო X პროცესსა და გარემოს შორის იმყოფება გარემოსდამცავი ღონისძიებების კომპლექსი, რომლის შინაარსს საბოლოოდ განსაზღვრავს გარემოზე ტექნოგენური დატვირთვები. ნათელია, რომ გარემოსდამცავი ღონისძიებების X ჩატარებისას და გარემოზე ტექნოგენური დატვირთვა ტოლია სხვაობისა მაგისტრალური მილსადენის ტექნოგენური დატვირთვის პროცესსა და აცილებულ დარღვევებს $Y_1 : Y = Y_0 - Y_1$ შორის. მაგალითად, გარემოში გამოფრქვეული მოცულობა უფრო მცირეა, ვიდრე წარმოქმნილი დამაბიბძურებელი მოცულობა დაჭერილი დაბინძურების სიდიდით (“მილის ბოლოს” ეფექტი). ამგვარად, გამაფრთხილებელი ხარჯებისა და ეკოლოგიური ზარალის ზღვრული მნიშვნელობები დამოკიდებულია გარემოზე ტექნოგენური დატვირთვის ინტენსიურობაზე.

ნახ. 33-დან ჩანს, რომ $\frac{dV}{dY} > 0$, ე.ი. ეკოლოგიური ზარალი იზრდება გარემოზე ტექნოგენური Y დატვირთვის ზრდასთან ერთად. როდესაც $\frac{dU}{dY} < 0$, გარემოსდამცავი ხარჯები U იზრდება გარემოზე ტექნოგენური დატვირთვის შემცირებასთან ერთად, ამასთან ეს ზრდა ყველაზე შეშამჩნევია $Y \rightarrow 0$. მრუდის $U(Y)$ ასეთი ხასიათი გამოსახავს, მაგალითად ცნობილ ფაქტს იმის შესახებ, რომ რაღაც დონიდან დაწყებული პოლუპანტების თითოეული გაუვნებელი ერთეული ჯდება სულ უფრო

ძვირი, ე.ი. ადგილი აქვს არაწრფივ დამოკიდებულებას გარემოსდამცავ ხარჯებსა და მის შედეგს შორის.

გარემოსდამცავი საქმიანობის სამეცნიერო-ტექნიკური და ეკონომიკური დასაბუთება უნდა განხორციელდეს გარემოს მდგომარეობის ეკონომიკური ოპტიმუმის კრიტერიუმიდან გამომდინარე. ამ ეკონომიკური ოპტიმუმის ქვეშ იგულისხმება ეკოლოგიური დარღვევების ისეთი დონე, რომლის დროსაც მიიღწევა ეკოლოგიური ხარჯების მინიმუმი. ცხადია, რომ ეს მინიმუმი მიიღწევა, როდესაც გარემოსდამცავი ხარჯების ნამატი ეკოლოგიური დარღვევების ცოტათი შემცირებისას ტოლი ხდება ეკოლოგიური ზარალისა: $dU = dV$. ამ პირობას შეესაბამება ტექნოგენური დატვირთვის ოპტიმალური მნიშვნელობა $Y = Y'$ (ნახ. 33), რომლის დროსაც ეკოლოგიური ხარჯების მინიმალურია $W(Y') = \min$.



ნახ. 33. ეკოლოგიური დანახარჯების დამოკიდებულება W , გარემოსდაცვითი დანახარჯები U და ეკოლოგიური დარღვევების ეკონომიკური დანახარჯი V , ტექნოგენური დატვირთვის დატვირთვებზე Y

განვიხილოთ ეკოლოგიურ-ეკონომიკურ ურთიერთქმედებას პრაქტიკული რეალიზაციის მაგალითები. გარემოს გამოყენების ეკოლოგიური ხარჯების ძირითად მუხლებს გამსხილებული ასპექტებით წარმოადგენს: მიმდინარე (საექსპლუატაციო) გარემოსდამცავი ხარჯები; კაპიტალური დაბანდებანი ძირითად საწარმოო გარემოსდამცავი დანიშნულების ფონდებში; საფასურის გადახდები გარემოს დაბინძურებისა

და მავნე ზემოქმედებისათვის; საფასურის გადახდა ბუნებრივი რესურსების გამოყენებისათვის.

ამჟამად საფასურის სტრუქტურა გარემოს დაბინძურებაზე შეიცავს შემდეგ მდგენელებს: დაბინძურებული ნივთიერებების გამოფრქვევაზე და ჩადენაზე საფასური ფასის ზღვრულად დასაშვებ ნორმატივების ჩარჩოებში S_n ; საფასური ნივთიერებების გამოფრქვევაზე და ჩადენაზე, ნარჩენების განთავსება დროებით შეთანხმებული ნორმატიულ ფასთან S_i ლიმიტების ზღვრებში; საფასური ზელიმიტიტურ გამოფრქვევაზე და ჩადენაზე, ნარჩენების განთავსებაფასის S_c ნორმატივით.

თითოეული სახის დაბინძურებული ნივთიერებისთვის ჯამური ფასი განისაზღვრება ფორმულით:

$$S = M_n S_n + M_i S_i + M_c S_c. \quad (3.4)$$

აქ M_n, M_i და M_c არის დაბინძურებული ნივთიერებების მასები; $S_i = K_i S_n$, $S_c = K_c S_n$ სადაც K_i და K_c - ანაზღაურების გაზრდის კოეფიციენტებია დროებით შეთანხმებული და ზელიმიტიტური გარემოზე ტექნოგენური დატვირთვისთვის.

ამგვარად, ჩანს, რომ გამოფრქვეული დაბინძურებისა და განთავსებადი ნარჩენების კატეგორიათა ცვლილება $M_c \rightarrow M_i \rightarrow M_n$ მიმართულებით იძლევა საშუალებას, რათა მნიშვნელოვნად შემცირდეს დაბინძურებაზე საფასური. დაბინძურების მთელი ზელიმიტიტური მოცულობის გადაყვანა ფასის შემცირების დროებით შეთანხმებული ლიმიტების კატეგორიაში შეადგენს:

$$\Delta S = (K_c - K_i) M_c S_n. \quad (3.5)$$

თუ კი ზელიმიტიტური გამოფრქვევები გადადის ზღვრულად დასაშვებ ნორმატივების კატეგორიაში, მაშინ დაბინძურებაზე ფასის შემცირება შეადგენს

$$\Delta S = (K_c - 1) M_c S_n. \quad (3.6)$$

საბოლოო ეკონომიკური ეფექტი განისაზღვრება ფორმულიათ $\dot{Y} = \Delta S - U$, აქ U - გამოფრქვევების კატეგორიების ცვლილებაზე დანახარჯებია.

გარემოს დაბინძურებაზე საფასურის სიდიდე განისაზღვრება შემდეგი ფაქტორებით: ორგანიზაციულ-სამართლებრივი (დამტკიცებული ნორმატივების, სხვადასხვა სახის ნარჩენების განთავსების, ნარჩენების უტილიზაციის ლიმიტების არსებობა და სხ.); ეკონომიკური (გარემოს დაბინძურებაზე ფასის ბაზური ნორმატივების სიდიდე, ფასების ინდექსაციის კოეფიციენტები და სხვ.); ტექნიკურ-ტექნოლოგიური (გამოყენებული ტექნოლოგიებისა და მოწყობილობების ეფექტიანობა, ენერგოგადამტანების ხარჯი, ტექნოლოგიური აგენტების რაოდენობა და ა.შ.).

ამგვარად, ეკოლოგიური ხარჯების შემცირებისა და გარემოსდამცავი ღონისძიებების ეფექტურობის გაზრდის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მექანიზმს წარმოადგენს გარემოს დაბინძურებაზე და მავნე ზეგავლენის მოხდენაზე ზენორმატიული საფასურის წილის შემცირება. ეკოლოგიურად სუფთა და მცირენარჩენიანი ტექნოლოგიების დანერგვა არსებითად ცვლის საწარმოთა გარემოზე ტექნოგენური ზემოქმედების სტრუქტურას. უკანასკნელ წლებში ზელიმიტური გარემოს დაბინძურება მრავალჯერ შემცირდა შეთანხმებული ნორმატივების ჩარჩოებში. ეს ნიშნავს, რომ ტექნოგენური დატვირთვის შემცირებასთან ერთად მიღწეულია წარმოების ეკოლოგიური ხარჯების მნიშვნელოვანი შემცირება.

ზენორმატიული საფასურის წილის შემცირება მიღწეულია შემდეგი გარემოსდამცავი ღონისძიებების საზოგადოების ქვეგანყოფილებებში რეალიზაციის გზით: წყლის მოხმარების ნორმების დაცვა, ჩამდინარე წყლების გაწმენდის ეფექტურობის გაზრდა, ჩამდინარე წყლებსა და წყალსატევარებში ჩანადენ წყლებში მავნე ნივთიერებათა კონცენტრაციის შემცირება; დაბინძურებული ნივთიერებათა გამოფრქვევების განხორციელება გარემოში ზღვრულად დასაშვებ და დროებით

შეთანხმებული ნივთიერებების ფარგლებში; ენერიის დამზოგი ტექნოლოგიების დანერგვა და გაზის ხარჯის შემცირება საკუთარი მოხმარებისთვის; წარმოების და მოხმარებული ნარჩენების განთავსება ეკოლოგიური ექსპერტიზაგავლილ სპეციალურ პოლიგონებზე.

განვიხილოთ საინვესტიო პროექტების ეფექტურობის განსაზღვრა. ნებისმიერი საწარმოო საქმიანობა წარმოადგენს სივრცესა და დროში ლოკალიზებულ ღია სისტემას, რომელიც გარემოსთან ცვლის ნივთიერებას, ენერგიას და ინფორმაციას. წარმოების პროცესის პოზიტიური შედეგი არის გარკვეული A მოცულობის შექმნა. წარმოების პროცესის ნეგატიურ მხარეებს მიეკუთვნება: სასარგებლო B_1 პროდუქტის ნაწილის დაკარგვა; თანხლები პროდუქტების - წარმოების ნარჩენების $\sum B_{2i}$ წარმოქმნა; გარემოზე ტექნოგენური ზემოქმედება და მისი დეტერიორაცია $\sum D_{3i}$; რესურსების $\sum B_{4i}$ გამოფიტვა.

აპრიორი ცხადია, რომ წარმოების პროცესი იქნება უფრო ეფექტური ტექნიკურ-ეკონომიკური თვალსაზრისით, როცა წარმოების ნეგატიური კომპონენტების პოზიტიურთან შეფარდება იქნება მინიმალური.

$$\left(\frac{B_1}{A}, \frac{\sum B_{2i}}{A}, \frac{\sum B_{3i}}{A}, \frac{\sum B_{4i}}{A} \right) = \min. \quad (3.7)$$

ამ თანაფარდობის მინიმიზაცია წარმოადგენს ეკონომიკის ეკოლოგიზაციის არსს, რომელიც ვარაუდობს ბუნებრივი რესურსების ეფექტურ გამოყენებას და გარემოს დაცვას. სიდიდე $\sum B_{2i}/A$, $\sum B_{3i}/A$, არსებითად, წარმოადგენს გარემოზე წარმოების პროცესის ზემოქმედების განმსაზღვრელ დაყვანილ (კუთრ) მაჩვენებლებს. აქ დგება გარემოს დაცვაში ინვესტიციების ეკონომიური ეფექტურობის განსაზღვრის პრობლემა. მეთოდოლოგიურად ეს პრობლემა საკმაოდ რთულია, რაც განპირობებულია გარემოსდამცავი ღონისძიებების სპეციფიკურობით [89]. პირველ ყოვლისა ამ ღონისძიებებს აქვს როგორც ეკონომიკური, ისე სოციალური მიმართულება, თან სოციალური ეფექტების რაოდენობრივი შეფასება ზოგჯერ პრობლემატურს წარმოადგენს. მეორე

განსაკუთრებულება ის არის, რომ გარემოსდამცავი ხარჯების გარკვეული ნაწილი "ერწყმის" კაპიტალურ დაბანდებებს წარმოების პროცესში. ასეთი სიტუაცია ამჟამად ეწყობა სულ უფრო ხშირად, რაც დაკავშირებულია გარემოს ხარისხის ნორმატივების განვითარებულთან და ტექნოლოგიური პროცესებისადმი მოთხოვნების გამკაცრებასთან ეკოლოგიური უსაფრთხოების თვალსაზრისით.

გარემოზე წარმოების პროცესის ზემოქმედება აჩენს რიგ საპასუხო რეაქციებს გარემოსგან (უკუკავშირები), რომელთა არსი დამოკიდებულია როგორც ეკოსისტემის მდგომარეობაზე, ისე ტექნოგენური დატვირთვების სახესა და ინტენსიურობაზე. ამიტომ ეკოლოგიურ-ეკონომიკური ურთიერთქმედების მოდელების ერთობლიობაში მიზანშეწონილია ჩაერთოს ურთიერთდაკავშირებული მოდელების სახეები: წარმოების პროცესი; პროცესის ტექნოგენური ზემოქმედება და ა.შ. მაგისტრალური მილსადენების მდგომარეობის დარღვევაზე; ეკოლოგიური დარღვევებით გამოწვეული ეკონომიკური ზარალის ანგარიში.

სქემატურ-ფორმალიზებული ეს მოდელები შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს შემდეგი დინამიკური სისტემის სახით [89,90]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dX}{dt} = f[X(t), Z(t), W(t), t]; \\ \frac{dY}{dt} = f_1[X(t), U(t), t]; \\ \frac{dW}{dt} = f_2[U(t), V(t), Z(t), N(t), t]; \\ \frac{dZ}{dt} = f_3[Z(t), Y(t), V(t), t]; \\ W(t) = U(t) + V(t); \\ V(t) = V_1(t) + V_2(t); \\ V_1(t) = f_4[V_1(t), Z(t), t]; \\ V_3(t) = f_5[V_2(t), V_1(t), Z(t), t]; \\ N(t) = f_6[Y(t), Z(t), U(t), t]. \end{array} \right. \quad (3.8)$$

აქ პირველი სამი განტოლება შესაბამისად აღწერს წარმოების ქვესისტემებს, ტექნოგენურ ზემოქმედებებს და რეციპიენტებს, t - დრო, ვექტორ-ფუნქციას, რომელსაც აქვს კომპონენტური შემადგენლობა,

საზღვრავენ: **X** - წარმოების პროცესი, **Y** - გარემოზე ტექნოგენური ზემოქმედება, **Z** - რეციპიენტების მდგომარეობა, **U** - გარემოსდამცავი ხარჯები, **V₁** და **V₂** - რეციპიენტებზე გაფრთხილებისა და დაზანებული არის ზემოქმედების კომპენსაციის ეკონომიკური ზარალის მდგენელები, **W** - წარმოების პროცესის ეკოლოგიური ხარჯები, **N** - ბუნების დამცავი ღონისძიებების ჩაარებაზე საგადასახადო შეღავათები.

ეს მოდელები უნდა ემსახურებოდეს გარემოსდამცავი მართვის ეკოლოგიური მექანიზმებისა და სისტემაში საინვესტიციო პროექტების ეფექტურობის განსაზღვრის მეთოდოლოგიურ საფუძველას.

3.2. მაგისტრალური ნვეთობგაზსადენების მდგომარეობის “ვირტუალური” კონტროლის ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასების მოდელი

XXI საუკუნის პირველ ათწლეულში სატრანსპორტო მაგისტრალების 30% -მდე გადავლენ ექსპლუატაციის ნორმატიულ ვადაში დამამთავრებელ რანგში. სატრანსპორტო მაგისტრალების ადრე შექმნილი ინფრასტრუქტურა გაანგარიშებულია უფრო მძლავრ ეკონომიკაზე. ეკონომიკის ნებისმიერი სექტორის მდგომარეობის სისტემური კანონების შესაბამისად განისაზღვრება რესურსებით, რომლებიც მიმართულია მისი მახარდაჭერისაკენ. პრობლემები მისი ტრანსპორტირებისას მოახდენს გავლენას რელიზებული პროდუქციის მოცულობაზე, შემცირდება ინვესტიციები სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის შენარჩუნებასა და განვითარებაზე.

ჩამოყალიბდა აზრი, რომ მილსადენებზე ავარიებისაგან მიყენებული მასშტაბური ზარალის თავიდან ასაცილებლად და მათი მუშაობის ვადის გასახანგრძლივლებლად შესაძლებელია არსებითი დანახარჯების გარეშე, ვიპოვოთ სატრანსპორტო კომუნიკაციების მდგომარეობისას და ექსპლუატაციის სხვადასხვა რეჟიმით მომუშავე მილების საიმედოობის ცვლილების პროგნოზირების “ვირტუალური” კონტროლის ხერხი. გასული

საუკუნის ოთხმოცდაათიანი წლები ძირითადად დაიხარჯა ამ ხერხის მოძებნაზე. მიუხედავად ამ თემის კვლევის ჩარჩოებში გაჩენილი პუბლიკაციების დიდი რაოდენობისა, დადებითი პასუხი დასმულ შეკითვაზე არ იქნა მიღებული.

ვცადეთ რა ინფორმაციის მიღება "ვირტუალური" მიმართულების პროდუქტიულობაზე, ამ ნაშრომისათვის მიგვაჩნდა გადაწყვეტილად საკითხი მოქმედი მილსადენების საექსპლუატაციო პარამეტრების ცვლილებათა პრაქტიკაში გამოყენებადი მოდელების შესახებ. აღმოჩნდა, რომ გადაწყვეტილია ცალკეული საკითხი: მილის კოროზიის შესახებ, კათოდური დაცვის ტენოლოგიის შესახებ და ა.შ. სხვადასხვა საკითხის მთლიანობაში მოყვანის სისტემური გადაწყვეტა არ არსებობს [91].

მილების მდგომარეობის საანგარიშო შეფასებისა და პროგნოზირებისვის პროგრამულ-ანალიტიკური კომპლექსის შექმნის ეტაპს წინ უნდა უსწრებეს მათემატიკური მოდელის კონსტრუირების ეტაპი, რეალურ ობიექტებზე მისი ადეკვატურობის შემოწმებით. ჩვენი სამუშაოს ფარგლებში დამუშავებული მოდელი საშუალებას გვაძლევს შეფასდეს მექანიკურ-ქიმიური კოროზიას დაქვემდებარებული მილის ზღვრული მდგომარეობის დრო, ცვლადი დატვირთვებისა და ტემპერატურული ვარდნების ზემოქმედების ქვეშ, აგრეთვე გათვალისწინებული უნდა იქნეს საიზოლაციო დაფარვის, მისი ცვეთისა და კათოდური დაცვის გავლენა კოროზიის სიჩქარეზე.

მაგრამ გაჩნდა კიდევ ერთი პრობლემა, როგორ გავითვალისწინოთ მილის ზღვრული მდგომარეობის დადგომის დროის შეფასებისას ისეთი მოვლენები, როგორცაა, გადაქაჩვის შეჩერება, იზოლაციის შეცვლა, მილში მუშა წნევის ცვლილება, კათოდური დაცვის მუშაობის შეჩერება და სხვ. გაჩნდა ანგარიშის ერთიანი ალგორითმის შექმნის აუცილებლობა, რომელიც ერთი მხრივ მოგვცემდა საშუალებას ანგარიში მოგვეხდინა საწყისი პირობების ნებისმიერი კომბინაციის მიხედვით, მეორე მხრივ, ანგარიშის პროცესში დინამიკურად შეგვეცვალა მისი ცალკეული პარამეტრის

მნიშვნელობები. ამიტომ ჩვენ მიერ წარმოდგენილია ერთიანი ალგორითმი, რომელიც გამოყენებლის მიერ არჩეული საწყისი მონაცემების კომბინაციის (დაძაბული მდგომარეობის, ცვლადი წნევის მოდელის, ტემპერატურული ვარდნების აღრიცხვის ჩართვა/გამორთვის არჩევის) მიხედვით, აგრეთვე გამოყენებლის მიერ განსაზღვრული მოვლენების მიხედვით ახდენს მილის ზღვრული მდგომარეობის დადგომის დროის შეფასებას.

შემოთავაზებულ მიდგომა თავიდან გვაცილებს სირთულეებს რთული მოდელების რეალიზაციის დროს, რომლებიც შეიცავს თავის მხრივ მოდელების ნაკრებისგან შემდგარ პარამეტრებს, და შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სტრუქტურულად დამუშავებული მსაგავსი მათემატიკური მოდელების მოსაყვანად პროგრამული რეალიზაციისთვის გამოსაყენებელ სახედ.

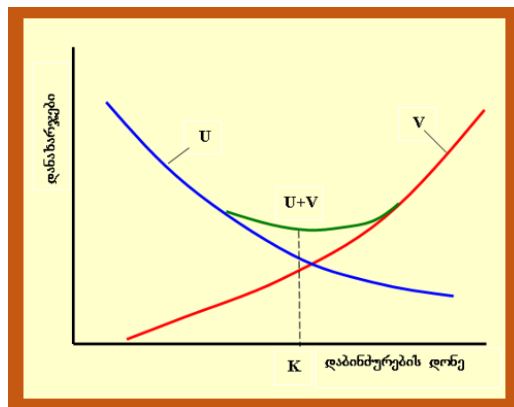
გამოკვლევით მომავალი მიმართულება იკვეთება საკმარისად თვალანთლივ. მილის ზღვრული მდგომარეობის დადგომის დროის პროგნოზირების ცდომილებათა შემცირება პირდაპირ არის დაკავშირებული რესურსების ეკონომიასთან. მაგისტრალური ნავთობგაზსადენების ექსპლუატაციის პროცესში, რომელთა მუშაობის ვადამ გააჭარბა 20-წლიან ზღურბლს, დგება საკითხი მილსადენების მუშაობის საიმედოობის, ავარიების ალბატობის, ამა თუ იმ ახალ უბნებზე სარემონტო სამუშაოების ჩატარების სიჩქარის შესახებ. საკითხის გადაწყვეტისთვის აუცილებელია მილსადენების სისტემის მართვის სტრატეგიის შერჩევა.

ჩვენთვის უცნობია, ზუსტად როდის მოხდება ავარია. თუ სარემონტო ავარიები არ შესრულდება, რაც აუცილებლად მიგვიყვანს ავარიამდე, მაშინ მაგისტრალური ნავთობგაზსადენები განიცდის ზარალს ნავთობის ან გაზის დანაკარგების, გადატუმბვის შეჩერების, გარემოს აღსადგენად ზომების მიღების აუცილებლობის და ავარიის შედეგად მიყენებული ზაეალის ასანაზღაურებელი საჯარიმო სანქციების გამო. მეორე მხრივ, თუ თავს დავიზღვევთ და შევცვლით პოტენციურად სახიფათო უბნებს რამოდენიმე

წლით ადრე, მაშინ კომპანია იგებს იმაში, რომ არ კარგავს გადასატუმბ ნედლეულს, არ აქვს დანაკარგები საამორტიზაციო საშუალებათა (მიმართულს ექსპლუატაციის მთელი პერიოდის განალობაში მუშაობის ზღვრული ვადის დადგომამდე მოხდეს საშუალებათა “დაგროვება” მომსახურების უბნის სრულად შესაცვლელად) შეუვსებლობის გამო.

შედეგად, აუცილებელია მოიძებნოს მილსადენებზე სარემონტო სამუშაოთა ჩატარების დროის განსაზღვრის ხერხი მინიმალურად შესაძლებელი ხარჯებით, აგრეთვე მოიძებნოს მაგისრალური მილსადენის ხაზოვანი ნაწილის მდგომარეობის “ვირტუალური” კონტროლის გამოყენების ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასების ხერხი. სხვა სიტყვებით, საჭიროა დროის იმ ინტერვალის განსაზღვრის ხერხი, რომლის განმავლობაში უნდა მოესწროს მილსადენის შეკეთება, არ დაიყვანოს ავარიულ მდგომარეობამდე, არ დაიკარგოს საშუალებები მილის გამოყენებლობის გამო. ასეთი ხერხის დამუშავებას ეძღვნება ეს პარაგრაფი.

ამოცანის გადასაწყვეტად მივმართოთ ხარჯების ოპტიმიზაციის იდეას. ზოგიერთ სამუშაოში ჩვეულებრივ მოჰყავთ სქემა, საზღვრავს “ოპტიმუმს” საშუალებათა ჩადებაში ეკოლოგიურ ღონისძიებებში (ნახ. 34).



ნახ. 34. დანახარჯების და გარემოს ხარისხის ურთიერთკავშირი

მრუდი U გამოსახავს დაბინძურების თავიდან ასაცილებელ ხარჯებს, მრუდი V - ეკონომიკურ ზარალს. გრაფიკი არ არის მათემატიკურად ზუსტი. ფუნქციურ დამოკიდებულებას ადგილი აქვს

მხოლოდ U მრუდისთვის, ხოლო მრუდი V გრაფიკზე თითქმის გადაბრუნებულია, ვინაიდან ჩვეულებრივ დაბინძურების დონის ცვლილება წარმოადგენს "დაბინძურების საწინააღმდეგო" ღონისძიებათა შედეგებს.

გრაფიკზე მრუდები შეთანწყობილია თვალსაჩინოებისათვის. ხარჯის თითოეულ მნიშვნელობას შეესაბამება დაბინძურების გარკვეული დონე, რომელიც თავის მხრივ იწვევს განსაზღვრულ ეკონომიკურ ზარალს. როდესაც დაბინძურების ასარიდებელი ხარჯები არ არსებობს, ეკონომიკური ზარალი მაქსიმალურია. დაბინძურების დაბალი დონეების შემთხვევაში ზარალი ახლოა ნულთან, ხარჯები არის კეთილმყოფელობის შესანარჩუნებლად ყველაზე დიდია. ხარჯების მრუდი ამ ადგილას იზრდება ძალზე მკვეთრად, რაც ნიშნავს არის აბსოლუტურ გაწმენდის სირთულეს ხელთარსებული საშუალებების გამოყენებისას. ეკონომიკური თვალსაზრისით ოპტიმალური დანახარჯები იქნება მაშინ, როდესაც ხარჯების ჯამი (მრუდი $W = U + V$) და ეს შეესაბამება დაბინძურების K დონეს.

ჩვენს შემთხვევაში უნდა მოიძებნოს დამოკიდებულებები, რომლებიც მაგისტრალური მილსადენის ექსპლუატაციის პროცესში დაახასიათებენ მილის გამოუყენებლობით გამოწვეულ ზარალს ავარიის დროს მისი "დროზე ადრე" რემონტის ან შეცვლისას.

"ოპტიუმის" წერტილი, რომელიც აჩვენებს დროის მომენტს, როდესაც მილის რემონტი ან შეცვლა უკვე შესაძლებელია ეკონომიკური მოტივებით, შეიძლება მიღებულ იქნეს ორი მრუდის გადაკვეთაზე: 1. მილის გამოუყენებლობით გამოწვეული ზარალი; 2. ხარჯები მილის მტყუნების შემთხვევაში. მილის გამოუყენებლობით გამოწვეულს ზარალს განვსაზღვრავთ შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$V = \frac{C_z}{t_n}(t_n - t), \quad \text{სადაც } t_n \geq t_{av}; \quad 0 \leq t \leq t_{av}; \quad (3.9)$$

$$V = \frac{C_z}{t_n}(t_n - t), \quad \text{სადაც } t_n < t_{av}; \quad (3.10)$$

$$V = 0, \quad \text{სადაც } t_n > t_{av}; \quad 0 \leq t \leq t_{av}. \quad (3.11)$$

სადაც V - მილსადენის უბნის გამოუყენებლობით გამოწვეული ზარალი, პირობითი ერთეულები; C_z - მილსადენის უბნის სრული შეცვლის ღირებულება, პირობითი ერთეულები; t_n - მუშაობის მოცემული (ნორმატიული) ვადა, წელიწადი; t_{av} - ავარიამდე მაგისტრალური მილსადენის ექსპლუატაციაში შესვლის მომენტიდან დრო, წელიწადი; t - დრო, წელიწადი $0 \leq t \leq t_{av}$.

განვიხილოთ ხარჯების განსაზღვრის ხერხი მტყუნების შემთხვევაში. საიმედოობის თეორიით ნებისმიერ ნაკეთობის მტყუნებების ინტენსიურობა $\lambda(t)$ დროის $(0; t_1)$ პერიოდში, ეცემა რაღაც λ_1 მნიშვნელობიდან λ_0 ($\lambda_1 > \lambda_0$) მიშვნელობამდე, ამ პერიოდს უწოდებენ დამატებითი ნამუშევარს. ნაკეთობის $(0;1)$ ექსპლუატაციის ძირითად პერიოდში მტყუნებების ინტენსიურობა ნარჩუნდება მუდმივი λ_0 , და დროის მომენტიდან $t > t_2$, მტყუნებების ინტენსიურობებს ზრდას, ამ პერიოდს უწოდებენ დაღლილობას. მილსადენის ექსპლუატაციის შემთხვევაში ასევე არსებობს დამატებითი სამუშაოსთვის დამახასიათებელი დროის პერიოდი (ჩვეულებრივ 0-და 5 წლამდე), მტყუნებები ჩვეულებრივ ხდება სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოთა დარღვევების, დახურული საწარმო წუნის გამო, ჩვენ არ განვიხილავ მოცემულ პერიოდს, რადგან მექანიკურ-ქიმიური კოროზიის მიზეზით გამოწვეული მტყუნებები ჩვეულებრივ მჟღავნდება 20-წლიანი ექსპლუატაციის შემდეგ. ჩვენ ასევე არ გვანტერესებს მხოლოდ პირველი მტყუნები (ავარიის) დრო, რადგანაც მილსადენის გარღვევის შემდეგ ავარიული უბანი ექვემდებარება შეცვლას ახლით, რიმელსაც მივყავართ მტყუნებების გამოვლენის დამოუკიდებლობამდე ან შედეგების არქონამდე, და ეს საშუალებას იძლევა ექსპონენციალური დამოკიდებულების გამოყენებას ავარიების თანხის ეკვივალენტობის დაყვანილი ალბათობის შეფასებისთვის.

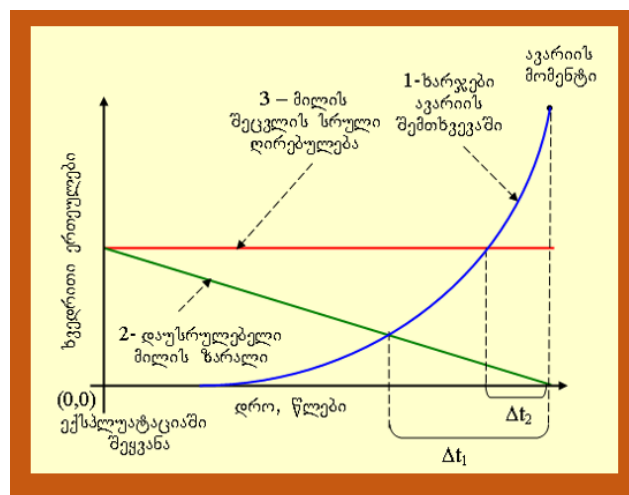
მტყუნების შემთხვევაში შესაძლო ხარჯების სიდიდე ტოლია:

$$I = e^{-\lambda_0 t} - 1, \quad (3.12)$$

სადაც $\lambda_u = -\frac{\ln(V_{sr} + 1)}{t_{av}}$ - მტყუნებათა ინტენსიურობაა, წელი⁻¹; V_{sr} -

გარემოსადმი მიყენებული ზიანია, რომელიც კომპენსაციას ექვემდებარება, პირობითი ერთეულები; t_{av} - წლების რაოდენობა ექსპლუატაციაში შესვლის მომენტიდან ავარიამდე, წელი; t - დრო, წელი $0 \leq t \leq t_{av}$.

მილის უბნის შეცვლის მიზანშეწონილების შეფასების მოდელისა და მილსადენის ხაზოვანი ნაწილის მდგომარეობის „ვირტუალური“ კონტროლის გამოყენების ეკონომიკური ეფექტურობის სქემა წარმოდგენილია ნახ. 35-ზე. ხარჯებისა და ზარალის მრუდების გარდა ამავე ნახაზზე წარმოდგენილია მესამე, მილსადენის მონაკვეთის სრული შეცვლის პირობითი ერთეულში. არსებობს ორი კრიტიკული წერტილი მრუდების გადაკვეთაზე: Δt_2 - მეორე წერტილი აჩვენებს, რომ Δt_2 - წლის მანძილზე ავარიამდე მილის მონაკვეთის შეცვლისას, დანახარჯების ავარიული მონაკვეთის შეცვლაზე უფრო მცირეა, ვიდრე დანახარჯები, რომლებსაც გაიღებს მაგისტრალური მილსადენის კომპანია, ავარიის შედეგად გარემოსადმი მიყენებული ზიანის გამო ზარალის კომენსაციის სახით [90,91].



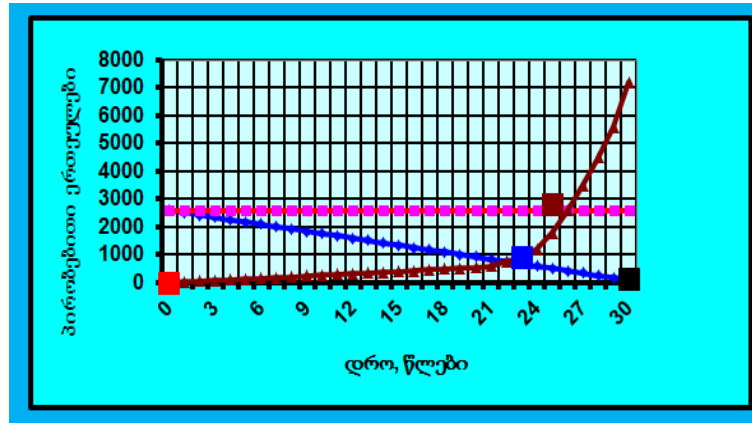
ნახ. 35. მაგისტრალური მილსადენის „ვირტუალური“ კონტროლის მოდელის შეფასების სქემა, როდესაც $t_n = t_{av}$: 1. ფორმულა (3.12); 2. ფორმულები (3.9, 3.10, 3.11)

ამგვარად, მიღებულია მილსადენის უბნის შეცვლის მიზანშეწონილების შეფასების ვარიანტი რეალურ ავარიამდე წლით ადრე. მოდელის მონაცემთა გამოყენებისათვის შესრულებულია ეკონომიკური ზარალის ანგარიში ავარიისა და ერთი ტონა ნავთობის წყალსატევარში, ნიადაგში გაჟონვის შემთხვევაში.

ზარალის ანგარიშის ვარიანტების ანალიზისთვის, მილსადენზე ავარიის შემთხვევაში ხარჯების ანგარიშის მეთოდულად გამოვიყენებთ ჩვენს მეთოდულს. ნახსენები მეთოდების მიხედვით ანგარიშის საფუძვლად განვიხილოთ ჰიპოთეტური ავარია, როცა მოხდა მაგისტრალური ნავთობსადენის გარღვევა და მდინარეში ჩაიღვარა 15 ტონა ნავთობი. განვიხილოთ მილსადენის ხაზოვანი ნაწილის მდგომარეობის "ვირტუალური" კონტროლის გამოყენების ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასების მაგალითი, საწყის მონაცემებად აღებულია შემდეგი სიდიდეები: ავარიის შემთხვევაში 1 ტონა ნავთობის მოხვედრისას წყალსატევაში, ზარალი შეადგენს 7200 \$; 1 კმ მილის გაყვანა შეადგენს დაახლოებით 100-150 ათას \$ (მოცემულ შემთხვევაში წინასწარმეტყველებით ავარიას 10 მეტრიან უბანზე, რომლის შეცვლის ღირებულება მივიღოთ 2500 \$ -ის ტოლად; სტატისტიკის მიხედვით ავარიები ხდება 27-30 წლის ექსპლუატაციის შემდეგ მუშა წნევის 3-5 მპა დროს (მივიღოთ $t_{av} = 30$ წელი).

ნახ. 36-ზე მიღებულია ორი "კრიტიკული" წერტილი: პირველი წერტილი - ავარიის დროს 7,44 წელი, მეორე - ავარიამდე 3,55 წელი. პირველი წერტილი აჩვენებს რომ ავარიის წინასწარმეტყველების შემთხვევაში რეალურ ავარიამდე 7,44 წლით ადრე (ან 24,8 % - ით ავარიის რეალური დროზე ადრე) და უფრო ნაკლები, სარემონტო სამუშაოების ჩატარება, აგრეთვე მილის საკვლევი უბნის შეცვლა ეკონომიკური თვალსაზრისით მიზანშეწონილია, ვინაიდან მილის გამოყენებლობით დანაკარგები დროზე ადრე ნაწინასწარმეტყველები ავარიის შემთხვევაში ნაკლებია ავარიის დროს შესაძლო დანაკარგებზე. მეორე წერტილი აჩვენებს, რომ 3,55 წელში (ან 11,83 % ავარიის რეალურ დრომდე) ავარიამდე და

ნაკლები, მილის უბნის სრული შეცვლის შემთხვევაში კი, ავარიული მონაკვეთის შესაცვლელი ხარჯები უფრო მცირეა, ვიდრე დანახარჯები, რომლებსაც გაიღებს მაგისტრალური მილსადენის კომპანია, ავარიის შედეგად გარემოსადმი მიყენებული ზიანის გამო ზარალის კომენსაციის სახით.



ნახ. 36. მაგისტრალური მილსადენის „ვირტუალური“ კონტროლის ეკონომიკური ეფექტურობის და მილის უბნის შეცვლის მიზნობრივი შეფასების მოდელი: 1. ფორმულა (3.12); 2. ფორმულები (3.9, 3.10, 3.11)

ამგვარად, შემოთავაზებულია მილის უბნის შეცვლის მიზანშეწონილების და მილსადენის ხაზოვანი ნაწილის მდგომარეობის „ვირტუალური“ კონტროლის გამოყენების ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასების მოდელი. ამ მოდელის საფუძველზე მიღებულია სასაზღვრო წერტილი, რომელიც საშუალებას იძლევა განისაზღვროს ავარიამდე დროის ის მონაკვეთი, რომლის განმავლობაში გამოცვლა მიზანშეწონილია (ნაადრევად ნაწინასწარმეტყველები დროის არა ნაკლები პროცენტისა). დამუშავებული მოდელის ადეკვატურობა, რომელიც წინასწარმეტყველებს ავარიას ავარიამდე ექსპლუატაციის მთელი დროიდან უფრო ადრე, დამუშავებული მოდელის გამოყენება მიზანშეწონილია, რადგან ავარიის წინასწარმეტყველების დროიდან გადახრის ზომა ჯდება დროის გარკვეულ ინტერვალში, როდესაც სარემონტო სამუშაოები და მილის გამოცვლა ეკონომიკურად უკვე გამართლებულია [92].

თავი 4. მაღალი ეკოლოგიური რისკ-ფაქტორის მქონე გარემოში გაყვანილი მაგისტრალური ნავთობსადენის ავარიული გაგლეჯის ნავთობის გაჟონვის მოვლენის გამოკვლევა

როგორც ცნობილია, მაგისტრალური ნავთობსადენის გაგლეჯის ალბათობა განსხვავებულია ნულისაგან. მიუხედავად ამისა, ნავთობსადენის, აგებულს თანამედროვე მასალებით და ოპტიმალური ტექნოლოგიით, შესაძლებელია მოხდეს შემთხვევითი მოვლენები - მაგალითად მიწისძვრები, ანტერორისტული აქტები. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მაგისტრალური ნავთობსადენების ისეთი უბნები, რომლებიც გაყვანილნი არიან მაღალი რისკ-ფაქტორების მქონე ტეროტორიაზე, მაგალითად საკურორტო ზონები, მდინარეების გადასავლები, ახლო მდებარე აქვატორიები, გაჯერებული მინერალური წყლები და ა.შ. დადგენილია, რომ ნავთობის გაჟონვის მცირე რაოდენობითაც კი, შესაძლებელია მოხდეს შეუქცევადი ეკოლოგიური პროცესები. მაგალითისათვის, ცხრილ 34,ა-ზე წარმოდგენილია ავარიის გამოწვეულ მიზეზების ყველაზე შესაძლო ალბათობის წილი, რომლებიც დამოკიდებულია ავარიის მიზეზზე და ავარიული ხვრეტის ზომების, ნავთობსადენს დიამეტრებით 1200 მმ.

ცხრილი 34,ა

ავარიების გამოწვეული ყველაზე შესაძლო მიზეზების ალბათობის წილი

| ავარიის მიზეზი | დაზიანების ტიპი | პროცენტული რაოდენობა 1 კმ-ზე | ხვრეტის დიამეტრი, 5 მმ | ხვრეტის დიამეტრი, 50 მმ | სრული გაგლეჯა |
|-------------------------|--|------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------|
| ტექნიკური ავარია | მილსადენის ავარია | 18 | 0,7 | 0,24 | 0,06 |
| ტექნიკური ავარია | სარქველები და დანადგარების ავარია | 11 | 0,7 | 0,24 | 0,06 |
| ოპერაციული გაჟონვები | სისტემის უწყესრივობა და პერსონალის შეცდომა | 10 | 0,9 | 0,1 | - |
| გაჟონვები დაკავშირებული | გარე კოროზია | 12 | 1 | - | - |

| | | | | | |
|-------------------------------------|--|----|------|------|------|
| კოროზიასთან | | | | | |
| გაჟონვები დაკავშირებული კოროზიასთან | გარე კოროზია | 9 | 1 | - | - |
| გარემოს მოვლენები | - | 3 | 0,34 | 0,33 | 0,33 |
| დაზიანები გამოწვეული გარე მხრიდან | ძმემთხვევითი (მეორე ხაროს-ხავენობრივი) | 34 | 0,34 | 0,33 | 0,33 |
| დაზიანები გამოწვეული გარე მხრიდან | განზრახული | 3 | 0,25 | 0,56 | 0,19 |

ცხრილ 34 ბ-ზე ნაჩვენებია ავარიის სავარაუდო ავარიის დამატებითი ზომების საჭირო დროის ნახევრად ეტაპების ღონისძიებები, კონკრეტული მაგისტრალური ნავთობსადენისათვის.

ცხრილი 34,ბ

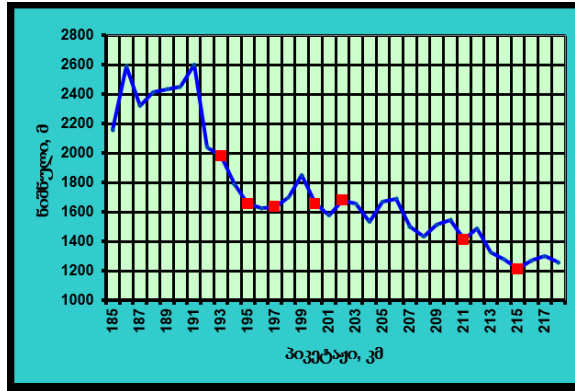
შესაძლო ავარიის ლიკვიდაციის ღონისძიების ნახევრეტაპური დრო

| ღონისძიება | ხვრეტის დიამეტრი - 5 მმ | ხვრეტის დიამეტრი - 50 მმ | სრული გაგლეჯა |
|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|
| დადასტურების გაჟონვის დრო | 48 სთ | 1 სთ | 1 წთ |
| ტუმბოების გამორთვის დრო | 10 სთ | 10 წთ | 10 წთ |
| ბლოკირების სარქველების გახსნების დრო | 10 სთ | 10 წთ | 10 წთ |

ნაშრომში ქვემოთ დასმულია ამოცანა, ხოლო შემდეგ იგი ამოხსნილია. ამოცანა წარმოიქმნა ბორჯომის კანიონში (კოდიანას უბანი) პროექტირებადი მაგისტრალური ნავთობსადენის ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანისათვის. ამ უბნის სქემა მოყვანილია ნახ. 37-ზე (ნიშნულები და პიკეტაჟი - პირობითია).

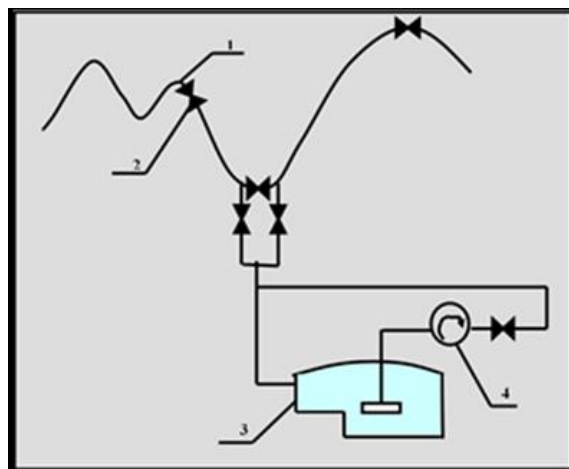
კოდიანს უბანი, გარემოს დაცვითი თვალსაზრისით, წარმოადგენს სენსიტურ ტერიტორიას, ამიტომ, პროექტით გათვალისწინებული იყო სავარაუდო ავარიის ნავთობსადენის შემთხვევაში დაცვითი ობიექტის მშენებლობა. დამცველი ობიექტი მოთავსებულია ნავთობსადენის უბნის ყველაზე ქვედა კვეთში. შესაბამისად, ამ ობიექტის მოწყობილობას გააჩნია გარემოზე ზემოქმედების მიზანის უარყოფითი გავლენის მინიმუმზაციისას,

რადგანაც არ მოხდეს ნავთობის დაღვრა. აღნიშნული ობიექტი შეადგენს სისტემას: დამცლელი მილსადენები, შემკრები რეზერვუარი და სხვა მოწყობილობები. ნავთობსადენის კოდიანას უბნის ქვედა ნაწილში, დადგმულია ურდული (ნახ. 38).



ნახ. 37. ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანი მაგისტრალური ნავთობსადენის უბნის გრძივი პროფილი

კოდიანას უბნის დამცლელი ობიექტის დანიშნულებაა, ისე როგორც შემოსასვლელი უბნის ნავთობის ნაკადის (ზედა ნაკადი), ისევე გამოსასვლელის (ქვედა ნაკადი) დაცლა, ურდულების ჩაკეტვისას. რეზერვუარის დამცლის ტევადობამ, უნდა უზრუნველყოს საკმარისი მოცულობა, რათა უნდა გაუტოლდეს მილსადენში არსებული ნავთობის მოცულობას (ზედა ნიშნულიდან - საკონტროლო ურდულამდე), გარკვეული რეზერვით.



ნახ. 38. ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის მაგისტრალური ნავთობსადენის უბნის მოწყობილობის დაცლის სქემა

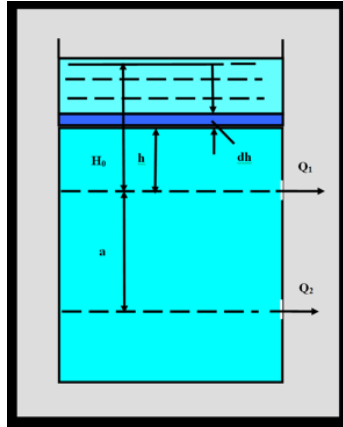
ნავთობის დაცლა ხორციელდება ზედა და ქვედა ურდულის საშუალებით, რამდენიმე დამცლელი მილსადენებით. ამ მილსადენების დიამეტრი ნაკლებია მაგისტრალური მილსადენის დიამეტრზე. რეზერვუარში არსებული ნავთობის და ავარიის ლიკვიდაციის შემდეგ, შესვლა მაგისტრალურ მილსადენში წარმოებს მობილური დაბალ დაწნევიანი ტუმბოებით. რეზერვუარის სრული დაცლისათვის მონტაჟდება დაბალ დაწნევიანი სტაციონარული ტუმბო, რომლის საშუალებით ხდება რეზერვუარის სრული დაცლა ავტოცისტერნებში.

რადგანაც, ავარიისას ნავთობის გარკვეული მოცულობა იწრიტება გრუნტში, ამიტომ მახლობელ ტერიტორიაზე უნდა დაყენდეს ნავთობ-წყლოვანი ნარევის დამჭერები. ასეთი მოწყობილობები, როგორც წესი, დაიდგმება ქვაბულებში, სადაც ხდება ნარევის დაჭერა და მისი გაწმენდა. ასეთი ნაგებობებს გააჩნიათ შესასვლელი და დამცლელი მოწყობილობები, ცისტერნებში დაწრეტისას.

ამგვარად, ურდულის ჩაკეტისას ნავთობის გარკვეული მოცულობა აუილებლად იწრიტება გრუნტში. ეს მოცულობა პირობითად იყოფა ორ შემადგენლად. პირველი - ხვრეტიდან ნავთობის გამოსული მოცულობა, ურდული ჩაკეტისას უნაგირის უბნის უმაღლეს წერტილებში. ეს ამოცანა ფაქტიურად წარმოადგენს თავმოყრილი არინების განსაზღვრას - ტუმბოს მუშა მდგომარეობისას. ეს ამოცანა გადაწყვეტილია და აღნიშნული მოცულობის შეფასება შესაძლებელია. მეორე შემადგენლის შეფასებისათვის, ე.ი. გრუნტში დაწრეტილი ნავთობის მოცულობისათვის (ზედა და ქვედა ურდულების ჩაკეტვისას) - ჯერ დღეისათვის არ არსებობს სამეცნიერო- დასაბუთებული მეთოდიკა.

აღნიშნულ სიტუაციაში, საჭიროა რეზერვუარში ჩაცლილი და გრუნტში ჩაწრეტილი ნავთობის მოცულობების ცოდნა. ეკოლოგიური სიტუაციაიის შესამცირებლად, მნიშვნელოვანია გრუნტში ნავთობის გაჟონვის მეტად ბევრი ფაქტორების გათვალისწინება. ამგვარად გვაქვს იდეალიზირებული სქემის ჰიდრავლიკური სქემა, რაც მოყვანილია ნახ. 39-

ზე. ე.ი. გვაქვს რეზერვუარიდან სითხის ხვრეტიდან გამოდინების ამოცანა (რომლებსაც ზოგადად შესაძლოა აქვთ სხვადასხვა დიამეტრები), ცვლადი დაწნევის ქვეშ.



ნახ. 39. ნავთობის დაცლის ჰიდრავლიკური იდეალიზრებული სქემა

ჩვენი მიზანია განვსაზღვროთ ზედა ხვრეტიდან ნავთობის დაცლის დრო და შესაბამისი მოცულობა (ე.ი. ნავთობის მოცულობა რომელიც ჩადის გრუნტში). პროცესის სქემა და პარამეტრების აღნიშვნები ნაჩვენებია ნახ. 39-ზე. ამოცანის გამართვებისას, ჯერ განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც ხვრეტების ფართობები ერთნაირია და ტოლია ω . აგრეთვე ჩავთვალოთ, რომ ხარჯის კოეფიციენტები ასევე ერთნაირია ($\mu_1 = \mu_2 = \mu$).

ზედა და ქვედა ხვრეტებიდან ხარჯები, შესაბამისად ტოლია [93]:

$$\begin{cases} Q_1 = -\mu\omega\sqrt{2gh}; \\ Q_2 = -\mu\omega\sqrt{2g(h+a)}. \end{cases} \quad (4.1)$$

აქ a არის მანძილი ხვრეტებს შორის, ხოლო μ - ხარჯის კოეფიციენტი. მოცულობის ბალანსის განტოლებას გააჩნია შემდეგი სახე;

$$\Omega dh = -(Q_1 + Q_2) dt, \quad (4.2)$$

სადაც Ω - არის რეზერვუარის ფართობი (მიღებულია, რომ $\Omega = \text{const}$).

(4.2) -დან მივიღებთ;

$$dt = -\frac{\Omega dh}{\sqrt{h} + \sqrt{h+a}}, \quad (4.3)$$

ამგვარად მივიღებთ ჩვეულებრივ დიფერენციალურ განტოლებას, რომელიც იხსნება ცვლადების განცალკევებით:

$$t = \frac{2A}{3a} \left[(H_0 + a)^{3/2} - (h + a)^{3/2} - (H_0^{3/2} - h^{3/2}) \right]. \quad (4.4)$$

თვალსიჩინაობით ნახ. 40-ზე ნაჩვენებია ნავთობსადენის უბნის დაცლის დროის დამოკიდებულების გრაფიკი, აგებული (4.4)-ით, სადაც ნავთობსადენის დიამეტრია $D = 1,0$ მ; ხვრეტის დიამეტრი $d = 0,05$ მ; კოეფიციენტის ხარჯი $\mu = 0,6$; $\Omega = 0,785$ მ²; $\omega = 0,0000785$ მ²; $H_0 = 200$ მ; $a = 100$ მ. გრაფიკიდან ჩანს, რომ დაცლის პროცესი შეადგენს დაახლოებით 22 წთ-ს.

დრო, რომლის განმავლობაში სითხის თავისუფალი ზედაპირი მიაღწევს ქვედა ხვრეტს, როდესაც $h = 0$, მაშინ:

$$T = \frac{2A}{3a} \left[(H_0 + a)^{3/2} - a^{3/2} - H_0^{3/2} \right], \quad (4.5)$$

ანდა

$$T = \frac{2A}{3a} H_0^{3/2} \left[\left(1 + \frac{a}{H_0} \right)^{3/2} - \left[1 + \left(\frac{a}{H_0} \right)^{3/2} \right] \right]. \quad (4.6)$$

თუ $a \ll H_0$, მაშინ ფრჩხილებში მოყვანილი გამოსახულება შესაძლოა გავშალოთ შემდეგი მწკრივით:

$$(1 + x)^{3/2} = 1 + \frac{3}{2}x + \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{4}x^2 - \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{6}x^3 + \dots, \quad (4.7)$$

აქ $x = \frac{a}{H_0}$ და შემოვისაზღვროთ პირველი ორი წევრით. მივიღებთ:

$$T = \frac{2A}{3a} H_0^{3/2} \left[\frac{3a}{2H_0} - \left(\frac{a}{H_0} \right)^{3/2} \right], \quad (4.8)$$

ზღვარში, როდესაც $a \rightarrow 0$, მივიღებთ გამოდინების კლასიკურ ფორმულას, სადაც ორივე ხვრეტი იმყოფება ერთ დონეზე, ე.ი.

$$\lim_{a \rightarrow 0} T = \lim_{a \rightarrow 0} \left[A\sqrt{H_0} - \frac{2A}{3} \sqrt{a} \right] = A\sqrt{H_0}. \quad (4.9)$$

განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც ხვრეტების ფართობები განსხვავებულია ერთმანეთისაგან $\omega_1 \neq \omega_2$ და $\mu_1 \neq \mu_2$. ბუნებრივია, რომ გვექნება ანალოგიური მსვლელობა:

$$\begin{cases} Q_1 = -\mu_1 \omega_1 \sqrt{2gh}; \\ Q_2 = -\mu_2 \omega_2 \sqrt{2g(h+a)}. \end{cases} \quad (4.10)$$

$$\Omega dh = -(Q_1 + Q_2)dt \text{ ი } dt = -\frac{\Omega dh}{\sqrt{2g(\mu_1 \omega_1 \sqrt{h} + \mu_2 \omega_2 \sqrt{h+a})}} \quad (4.11)$$

$$t = -\frac{\Omega}{\mu_1 \omega_1 \sqrt{2g}} \int \frac{dh}{\sqrt{h} + \frac{\mu_2 \omega_2}{\mu_1 \omega_1} \sqrt{h+a}} + C; \quad (4.12)$$

აღვნიშნოთ

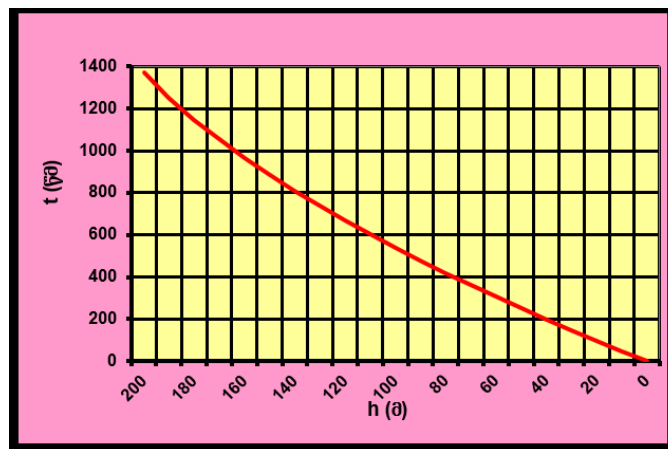
$$\begin{cases} M = \frac{\Omega}{\mu_1 \omega_1 \sqrt{2g}}; \\ N = \frac{\mu_2 \omega_2}{\mu_1 \omega_1}. \end{cases} \quad (4.13)$$

ინტეგრების შემდეგ მივიღებთ $t = -M \int \frac{dh}{\sqrt{h} + N\sqrt{h+a}} + C$, საიდანაც

განვსაზღვროთ მუდმივა C . საბოლოოდ გვექნება:

$$t = \frac{2M\sqrt{h}}{1-N^2} + \frac{N^2Ma}{1-N^2} \frac{2}{\sqrt{-N^2a(1-N^2)}} \operatorname{arctg} \frac{(1-N^2)\sqrt{h}}{\sqrt{-N^2a(1-N^2)}} -$$

$$- \frac{2MN\sqrt{h+a}}{1-N^2} + \frac{aMN}{1-N^2} \frac{2}{\sqrt{-a(1-N^2)}} \operatorname{arctg} \frac{(1-N^2)\sqrt{h+a}}{\sqrt{-a(1-N^2)}} -$$



ნახ. 40. ნავთობსადენის უბნის დაცლის დროის დაწნევაზე დამოკიდებულების გრაფიკი

$$\begin{aligned}
& -\frac{2M\sqrt{H_0}}{1-N^2} - \frac{N^2Ma}{1-N^2} \frac{2}{\sqrt{-N^2a(1-N^2)}} \operatorname{arctg} \frac{(1-N^2)\sqrt{H_0}}{\sqrt{-N^2a(1-N^2)}} + \\
& + \frac{2MN\sqrt{H_0+a}}{1-N^2} - \frac{aMN}{1-N^2} \frac{2}{\sqrt{-a(1-N^2)}} \operatorname{arctg} \frac{(1-N^2)\sqrt{H_0+a}}{\sqrt{-a(1-N^2)}}. \quad (4.14)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t = & \frac{2M\sqrt{h}}{1-N^2} + \frac{N^2Ma}{1-N^2} \frac{1}{\sqrt{N^2a(1-N^2)}} \ln \frac{(1-N^2)\sqrt{h} - \sqrt{N^2a(1-N^2)}}{(1-N^2)\sqrt{h} + \sqrt{N^2a(1-N^2)}} - \\
& - \frac{2MN\sqrt{h+a}}{1-N^2} + \frac{aMN}{1-N^2} \frac{1}{\sqrt{a(1-N^2)}} \ln \frac{(1-N^2)\sqrt{h+a} - \sqrt{a(1-N^2)}}{(1-N^2)\sqrt{h+a} + \sqrt{a(1-N^2)}} - \\
& - \frac{2M\sqrt{H_0}}{1-N^2} - \frac{N^2Ma}{1-N^2} \frac{1}{\sqrt{N^2a(1-N^2)}} \ln \frac{(1-N^2)\sqrt{H_0} - \sqrt{N^2a(1-N^2)}}{(1-N^2)\sqrt{H_0} + \sqrt{N^2a(1-N^2)}} + \\
& + \frac{2MN\sqrt{H_0+a}}{1-N^2} - \frac{aMN}{1-N^2} \frac{1}{\sqrt{a(1-N^2)}} \ln \frac{(1-N^2)\sqrt{H_0+a} - \sqrt{a(1-N^2)}}{(1-N^2)\sqrt{H_0+a} + \sqrt{a(1-N^2)}} \quad (4.15)
\end{aligned}$$

გადავიდეთ ამოცანის მეორე ნაწილის ამოხსნაზე. დაუშვათ, რომ ქვედა ხვრეტი არ მუშაობს. მაშინ კლასიკური ჰიდრავლიკის თანახმად [93], დროის დაცლა სითხის თავისეფული ზედაპირიდან, ქვედა ხვრეტის ნიშნულამდე, ტოლია:

$$t_1 = A_1 \sqrt{H_0}. \quad (4.16)$$

დაუშვათ, რომ მუშაობს მხოლოდ ქვედა ხვრეტი. მაშინ დრო, რომელიც საჭიროა იგივე მოცულობის დაცლა (ე.ი. დრო რომლის განმავლობაში თავისეფული ზედაპირი მიაღწევს ზედა ხვრეტის ნიშნულს):

$$t_2 = A_2 (\sqrt{H_0+a} - \sqrt{a}). \quad (4.17)$$

(4.16) და (4.17)-ში გამოსახულებში შესული) A_1 და A_2 სიდიდეები ტოლია:

$$\begin{cases} A_1 = \frac{\Omega}{\mu_1 \omega_1 \sqrt{2g}}; \\ A_2 = \frac{\Omega}{\mu_2 \omega_2 \sqrt{2g}}. \end{cases} \quad (4.18)$$

აშკარაა, რომ როდესაც მუშაობს ორივე ხვრეტი, მაშინ ხვრეტებიდან გამოსული W_1 და W_2 მოცულობები, უკუპროპორციულია განხილული დროებისათვის, ე.ი.

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{W_2}{W_1}; \quad (4.19)$$

ამათაც, განტოლებას ემატება კიდევ ერთი აშკარა განტოლება;

$$W_1 + W_2 = \Omega(H_0 + a). \quad (4.20)$$

ვიპოვოთ W_1 (4.19) და (4.20) სისტემის მიხედვით. მივიღებთ:

$$W_2 = \Omega(H_0 + a) - W_1; \quad (4.21)$$

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\Omega(H_0 + a) - W_1}{W_1} = \frac{\Omega(H_0 + a)}{W_1} - 1; \quad (4.22)$$

$$W_1 = \frac{\Omega(H_0 + a)}{1 + \frac{t_1}{t_2}}. \quad (4.23)$$

შევიტანოთ t_1 და t_2 მნიშვნელობების გამოსახულებიდან (4.16) და (4.17), და შევიტანოთ (4.13)-ში, მივიღებთ:

$$W_1 = \frac{\Omega(H_0 + a)}{1 + \frac{A_1 \sqrt{H_0}}{A_2 \sqrt{H_0 + a} - \sqrt{a}}}. \quad (4.24)$$

იმ შემთხვევაში, თუ ხვრეტები ერთნაირია და $A_1 = A_2$, მაშინ მივიღებთ:

$$W_1 = \frac{\Omega(H_0 + a)}{1 + \frac{\sqrt{H_0}}{\sqrt{H_0 + a} - \sqrt{a}}}. \quad (4.25)$$

შესაძლოა ამ ამოცანის ამოხსნა სხვა მარტივი მეთოდით. კერძოდ

$$dW = Q_1 dt, \quad (4.26)$$

ამიტომ:

$$W = \int_0^T Q_1 dt = \int_0^T \mu \omega \sqrt{2gh} dt. \quad (4.27)$$

(4.4)-დან მივიღებთ [94]:

$$dt = \frac{2A}{3a} \left[-\frac{3}{2}(h+a)^{1/2} + \frac{3}{2}h^{1/2} \right] dh = \frac{A}{a} (\sqrt{h} - \sqrt{h+a}) dh. \quad (4.28)$$

ამიტომ საბოლოოდ

$$W = \frac{\Omega}{a} \left[\ln(\sqrt{H_0} + \sqrt{H_0+a}) - \ln\sqrt{a} \right] - \frac{\Omega H_0^2}{a} \quad (4.29)$$

თუ ხვრეტების დიამეტრები განსხვავებულია, ე.ი. $\omega_1 \neq \omega_2$, ხოლო $\mu_1 = \mu_2 = \mu$, მაშინ საწყის განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$\Omega dh = -\mu\sqrt{2g}(\omega_1\sqrt{h} + \omega_2\sqrt{h+a})dt, \quad (4.30)$$

თუ, ხარჯის კოეფიციენტები $\mu_1 \neq \mu_2$ განსხვავებულია, ამიტომ

$$\Omega dh = -\sqrt{2g}(\omega_1\mu_1\sqrt{h} + \omega_2\mu_2\sqrt{h+a})dt. \quad (4.31)$$

(4.29) და (4.31) განტოლებების ამოხსნისას ანალოგიურად შესაძლოა აღნიშნული მეთოდით (გრუნტში პროდუქტის დალის დრო), თუმცა უფრო მარტივია, რომ მოხდეს ინტეგრალების განსაზღვრა რიცხვითი მეთოდებით.

მიღებული შედეგები გვაძლევს საშუალებას, რათა მოხდეს ნავთობსადენიდან ნავთობის გაჟონვის ნებისმიერი სცენარის გათამაშდება.

თავი 5. ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების ტრანსპორტირებისათვის მართვის რეჟიმების რეოლოგიური მეთოდების გამოყენება

5.1. არანიუტონური სითხეების (ნავთობი და ნავთობპროდუქტები) რეოლოგიური თვისებები

რეოლოგია - მეცნიერება ნივთიერების დეფორმაციებისა და დენადობის შესახებ, გამოეყო უწყვეტი გარემოს მექანიკას დამოუკიდებელ დარგად. ამ დროის განმავლობაში რეოლოგიურმა მეთოდებმა ფართო გამოყენება ჰპოვეს ტექნოლოგიური ამოცანების გადაწყვეტისას, ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების ტრანსპორტირების გამოყენებისას. ეს იმას ნიშნავს, რომ თუ საბოლოო ძალების ზემოქმედებით სხელის დეფორმაცია იზრდება დროში უწყვეტად და შეუქცევადად, მაშინ მასალა მიედინება. პლასტიკური დინება წარმოიქმება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც

ძალები ამეტებენ რაღაც ზღვარს, რომელსაც მასალის დენადობის ზღვარი გააჩნია. სწორედაც რომ ეს შემთხვევაა მიღებული მილსადენებში ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების მოძრაობისას [95].

დისპერსული სისტემების სტრუქტურასა და სიბლანტეს შორის კავშირი დადგენილია საკმარისად ადრე. სამუშაოებში [96] სუსპენზიების არანიუტონური დინებების თავისებურებანი ახსნილია მათი სტრუქტურის ცვლილებით, კერძოდ ნაწილაკების აგრეგატების წარმოქმნითა და დარღვევით [95], ამიტომ განვიხილოთ თეორიული რეოლოგიისთვის ჩვეულებრივი, უწყვეტი გარემოს რამდენიმე მეთოდი იმის დაშვებით, რომ სიბლანტის ანომალია - სისტემის სტრუქტურის შედეგია. საფუძვლად ავიღოთ მოსაზრება, რომ სტრუქტურა არსებობს იქ, სადაც "სიბლანტე იცვლება ძვრის, სიჩქარის ცვლილებასთან ერთად", აგრეთვე წარმოდგენა სიბლანტის შამცირების შესახებ სისტემის სტრუქტურის თანდათანობითი რღვევის გამო [97,98].

არსებული რეოლოგიური მოდელების მრავალფეროვნება გამოსახავს დენადობის განსხვავებულებას, რომლებიც შეიმჩნევა სხვადასხვა დენად სისტემაში. თუმცა, მოდელების ექსპერიმენტთან შედარების შედეგები იძლევა იმის საშუალებას, რათა დავასკვნათ, რომ ერთნაირი სიზუსტით აღწეროთ ერთი და იგივე რეოლოგიური განტოლებით ბუნებით სხვადასხვა სისტემები, ერთი და იგივე დისპერსული სისტემა - პრინციპულად განსხვავებული რეოლოგიური განტოლებებით. შედეგად შეიძლება შეირჩეს შესაფერისი რეოლოგიური განტოლება ნებისმიერი ექსპერიმენტის აღსაწერად.

ძვრის სიჩქარეთა მაქსიმალურად ფართო ინტერვალში ექსპერიმენტული მონაცემების ნებისმიერ ფასად აპროქსიმაციის მცდელობამ მიგვიყვანა ნახევრადემპირიული გამოსახულებების სიჭარბემდე. ალტერნატიული მიდგომა მდგომარეობს მრუდების ხელოვნურ გაყოფაში ცალკეულ მონაკვეთებად, რომლებიც აღიწერება სხვადასხვა საშუალებით, მაგრამ ჩვეულებრივ ხარისხობრივი კანოით (მაგალითად, სისკოს მოდელი

[99]). სტაციონარული დინების ფენომენოლოგიური მოდელები თავს იყრის შემდეგი სახის რეოლოგიურ განტოლებებში $\tau = \tau(\dot{\gamma})$ ან $\eta = \eta(\dot{\gamma})$ სადაც $\eta = \tau / \dot{\gamma}$ - დისპერსიული სისტემის ეფექტური სიბლანტია.

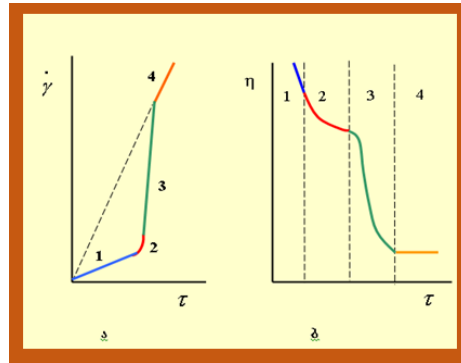
თუ ნაწილაკები დასაწყისში გაერთიანებულია უწყვეტ ბადეში, მაშინ სისტემას გააჩნია მყარი სხეულის ზოგიერთი თვისება და სტაციონარული მოძრაობა იწყება მაშინ, როდესაც ძვრის ძაბვა τ აჭარბებს რაღაც ზღვრულ τ_s ძაბვას, რომელსაც შეესაბამება ბადის დაღვევა. ამ მომენტამდე სისტემაში არსებობს უწყვეტი დეფორმაცია, ე.ი. სისტემა იქცევა ისე, როგორც მყარი სხეული.

ნაშრომში [100] შემოთავაზებულია პლასტიკური სხეულის მოდელი, რომელშიც დინება არ არის τ_s ძაბვამდე, რომელსაც შეიძლება დაერქვას დენადობის ზღვარი ან სტატიკურად ზღვრული ძვრის ძაბვა. შემდგომში ჩნდება პლასტიკური დინება მუდმივი დიფერენციალური სიბლანტით $\eta_B = d\tau / d\dot{\gamma}$ (პლასტიკური სიბლანტი). მოდელი აღიწერება დინების მრუდით, რომელზეც შეიძლება გამოიყოს დინების წრფივი მონაკვეთი; ბინგამის განტოლებას აქვს სახე [97,98]: $\tau = \tau_B + \eta_B \dot{\gamma}$.

კოაგულაციურ სტრუქტურიანი სისტემების რეოლოგიური ქცევის ზოგადი სქემა სტრუქტურირებული სუსპენზიების დინების ინტერპრეტაციისთვის შემოთავაზებულია და ნაჩვენებია ნახ. 41-ზე. მონაკვეთზე 1 სტრუქტურა არა არის დარღვეული და დინებაც არ არის. მონაკვეთზე 2 ხდება დინება შვედოვის მიხედვით (რომელსაც ხშირად უწოდებენ მცოცვადობას) თანდათანობით გადასვლაში ბინგამის დინებაში მონაკვეთზე 3. ვარაუდობენ, რომ სტრუქტურის სრული დარღვევის შემდეგ ჩნდება ნიუტონის დინება ნახ. 41-ზე, თუმცა უკანასკნელის დაფიქსირება ჩვეულებრივ გამძნელებულია.

მოდელები იძლევა საშუალებას პრაქტიკისათვის საკმარისი სიზუსტით აღიწეროს ბლანტი ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების

მოძრაობა მილსადენებში [101,102]. მოდელები გამოსახავს მდგომარეობის სინამდვილეს მხოლოდ მიახლოებით და პარამეტრების ზოგიერთ არეში. ამასთან შესასწავლი პროცესები იყოს როგორც სტაციონარული, ისე არასტაციონარული. არასტაციონარული პროცესების გამოკვლევისას ფართოდ გამოიყენება კვაზისტაციონარულობის პრინციპი [103-105].



ნახ. 41. სრული რეოლოგიური წირი

შემდგომში ჩვენ გთავაზობთ რეოლოგიური განტოლებების პარამეტრების განსაზღვრას ორიგინალური მეთოდით, რომელიც დაფუძნებულია შებრუნებული ამოცანის გადაწყვეტაზე. მეთოდის განხორციელებისათვის აუცილებელია ნავთობის ტრანსპორტირების სარეალიზაციო ცოდნა დროის რაღაც დიაპაზონისთვის. მცირე ნაბიჯის თანახმად კომპიუტერზე რიცხვითი მეთოდით მონაცემთა დამუშავებით განისაზღვრება რეოლოგიური პარამეტრები. ეს პარამეტრები მართვის პულტზე იგზავნება და ავტომატურად ხდება ტრანსპორტირების რეჟიმის ცვლილება და ოპტიმალური რეჟიმის დამყარება.

5.2 რეოლოგიური მოდელების შედგენა

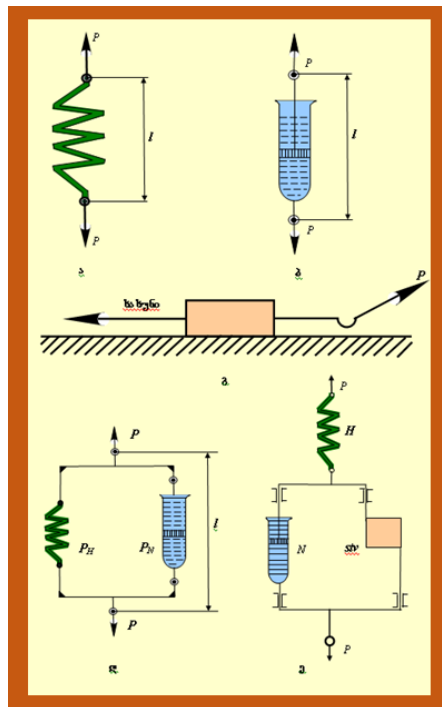
რეოლოგიური მოდელების შედგენისათვის გამოიყენება სამი ძირითადი ტანი: ჰუკის მყარი ტანი (სიმბოლო H), სენ-ვენანის პლატიკური ტანი (სიმბოლო StV) და ნიუტონისებრი სითხე (სიმბოლო N), რომლებიც განიხილება როგორც მარტივი მოდელები. რთული ტანები (მოდელები) შესაძლებელია მივიღოთ მარტივი ტანების კომბინაციით. თუ ძალას

შეცვლით ძაბვით, ხოლო წაგრძელებას - დეფორმაციით, მაშინ მივიღებთ რეოლოგიურ განტოლებას.

ნახ. 42ა-ზე ნაჩვენებია სპირალური ზამბარა, რომელიც ასახავს H -ტანის მოდელს. რეოლოგიური განტოლება შეესაბამება შემდეგ განტოლებას:

$$\tau = 2 \mu \dot{\gamma}^* \quad (5.1)$$

სადაც τ არის ძაბვა; μ - ნანაცვლების მოდული, ანუ მეორე რიგის დრეკადობის მოდული; $\dot{\gamma}^*$ - სიჩქარის დეფორმაცია.



ნახ. 42. რეოლოგიური მოდელები: ა. ჰუკის მოდელი; ბ. ნიუტონის ტანის მოდელი; გ. სენ-ვენანის ტანის მოდელი; დ. კელვინის (ფოიჰტის მოდელი); ე. ბინგამის მოდელი

სითხის ელემენტი წარმოადგენს ცილინდრში ჩასხმულ ზეთს, თავისი დეგუმში, რომელიც ამოდელირებს N -ტანით აღმწერი განტოლებით (ნახ. 42,ბ).

$$\tau = 2 \eta \dot{\gamma}^* \quad (5.2)$$

სადაც η არის ბლანტი ძვრის კოეფიციენტი (2η - დინამიკური სიბლანტის კოეფიციენტი).

მშრალი ხახუნის ელემენტი წარმოადგენს ზედაპირზე მოთავსებულ ტვირთს, როგორც ნაჩვენებია ნახ. 42გ-ზე, რაც არის StV - ტანის შესაბამის მოდელს და განტოლება ტოლია;

$$\tau = \theta, \quad (5.3)$$

სადაც θ არის დენადობის ზღვარი.

ასეთი სამი ელემენტი შეიძლება შეერთდნენ პარალელურად (\parallel), ან მიმდევრობით (-). პარალელური შეერთებით, ტანზე მოდებული დატვირთვა ელემენტები ცალკ-ცალკე იკრიბება, ხოლო დაგრძელებების სიჩქარეები - ერთნაირია. მიმდევრობითი შეერთების, დაგრძელებების სრული სიჩქარე ტოლია შემადგენელი ელემენტების სიჩქარეების ჯამს, თანაც თვითეული ელემენტს გადაეცემა სრული დატვირთვა.

განვიხილოთ რამდენიმე მოდელი. ნახ. 42, დ-ზე ნაჩვენებია კელვინის (ფოიხტის) მოდელის სქემა. ამ შემთხვევაში რეოლოგიურ განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$\tau = 2 \mu \gamma + 2 \eta \dot{\gamma}. \quad (5.4)$$

მოდელი აღინიშნება როგორც $K = H|N$, სადაც H და N ტანი შეერთებულია მიმდევრობით.

ბინგამის რეოლოგიურ განტოლება ამ მოდელისათვის აქვს შემდეგი სახე $B = H - (N|StV)$ და ნაჩვენებია ნახ. 42ე-ზე. მოდელი აღიწერება შემდეგნაირად;

$$\begin{cases} \tau = \theta + 2 \eta_{PL} \dot{\gamma}, & |\tau| \geq |\theta|; \\ \tau = 2 \mu \dot{\gamma}; & |\tau| < |\theta|. \end{cases} \quad (5.5)$$

სადაც θ არის დენადობის ზღვარი; η_{PL} - პლასტიკური სიბლანტე.

ბინგამის ტანის პარამეტრები შესაძლებელია განისაზღვროს პლასტომერის საშუალებით. ვთქვათ ცილინდრულ კაპილარში რადიუსით R და სიგრძით L , გვექნება წნევის გრადიენტი $\Delta P/L$. მაშინ შესაძლებელია გვაჩვენოთ, რომ სითხის ხარჯი Q , დრო t -ში ტილია:

$$\frac{Q}{t} = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8 \eta_{PL} L} \left[1 - \frac{4}{3} \frac{2L\theta}{R \Delta P} + \frac{1}{3} \left(\frac{2L\theta}{R \Delta P} \right)^4 \right]. \quad (5.6)$$

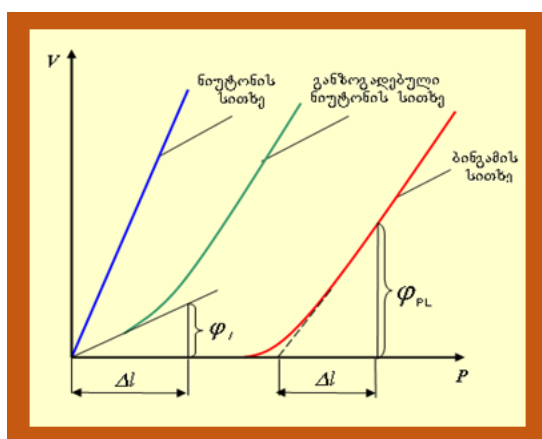
თუ ამ განტოლებაში შევარჩევთ ახალ ცვლადებს

$$\begin{cases} V = \frac{4Q}{\pi R^3 t}; \\ P = \frac{R \Delta P}{2L}. \end{cases} \quad (5.7)$$

მაშინ მივიღებთ;

$$V = \frac{P}{\eta_{PL}} \left[1 - \frac{3\theta}{4P} + \frac{1}{3} \left(\frac{\theta}{P} \right)^4 \right]. \quad (5.8)$$

გრაფიკი $V-P$ არ არის დამოკიდებული ხელსაწყო ზომებზე და ასახავს ნივთიერების გარკვეულ თვისებას, მას კონსისტენცია ეწოდება. ცხადია, რომ P შეესაბამება τ -ს, ხოლო საშუალო V სიჩქარე კედლის მახლოლობაში, შეესაბამება საშუალო გრადიენტს. ნახ. 43-ზე ნაჩვენებია სამი სხვადასხვა ნივთიერების კონსისტენციის წირი:



ნახ. 43. რამდენიმე რეოლოგიური მოდელი, $V-P$ პარამეტრებში

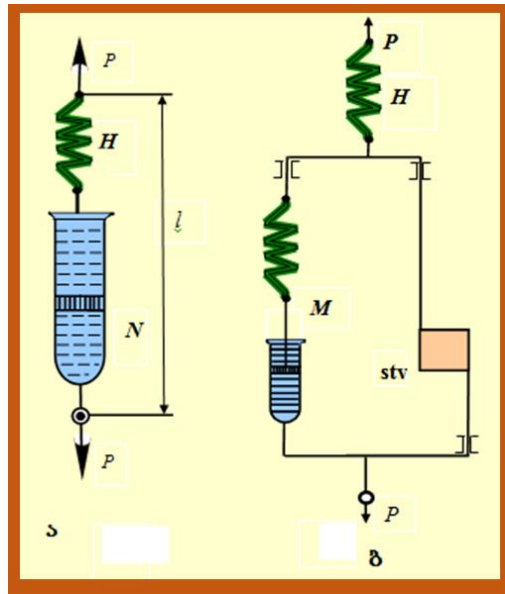
დრეკად-პლასტიკური მაქსველის გარემო $M=H-N$ (ნახ. 44ა), აღიწერება შემდეგი განტოლებით:

$$\gamma^* = \frac{\tau}{2\mu} + \frac{\tau}{2\eta}. \quad (5.9)$$

ნახ. 44ბ-ზე ნაჩვენებია შვედოვ-ბინგამის მოდელის სქემა და აღიწერება შემდეგი განტოლებით:

$$2\gamma^* = \frac{\tau - \theta}{\eta_{pl}} + \frac{\tau}{\mu}, \quad (5.10)$$

სადაც $T = \eta_{pl} / \mu = T_{rel}$ არის რელაქსაციის დრო.



ნახ. 44. რეოლოგიური მოდელები: ა. მაქსველის მოდელი; ბ. შვედოვ-ბინგამის მოდელი

ფენომენოლოგიური თვალსაზრისით შესაძლოა გამოვიყენოთ ორი საწყისი მათემატიკური განტოლება, კერძოდ შემდეგი გამოსახულება,

$$\tau^m = \tau_y^m + \eta_{pl}^n \dot{\gamma}^n \quad (5.11)$$

შეიძლება დავიდეს ცნობილ განტოლებზე, რომელშიც შედის წანაცვლების ძაბვა τ_y^m . ამგვარად, ცნობილი დინების განტოლებები შეიძლება მივიღოთ

(5.11) განტოლებიდან, და შეირჩევა ხარისხის მაჩვენებლები n და m .

შვედოვ-ბინგამის განტოლება [100]:

$$\tau = \tau_B + \eta_B \dot{\gamma}, \quad (5.12)$$

კესონ-შულმანის განტოლება [106]:

$$\tau^{1/2} = \tau_C^{1/2} + \eta_C^{1/2} \dot{\gamma}^{1/2}, \quad (5.13)$$

ჰერშელი-ბაკლის განტოლება [107]:

$$\tau = \tau_H^m + \eta_H^n \dot{\gamma}^n, \quad (5.14)$$

სადაც τ_B , τ_C , τ_H არის წანაცვლების ზღვრული ძაბვის პარამეტრები.

განტოლებაში (5.14)-დან მოყვანილი ნებისმიერი სიდიდეები n და m , წარმოადგენს კესონ-შულმანის განტოლებას [108]. ოსვალდის განტოლება [108] შეიძლება წარმოადგენს ბაკლი-ჰერშელის კერძო

შემთხვევას, როდესაც $\tau_H = 0$. სამწუხაროდ, ამ განტოლებას არ გააჩნია თეორიული დასაბუთება, ე.ი არ არის კავშირი რეოლოგიურ კოეფიციენტებსა და სისტემის სტრუქტურულ-რეოლოგიურ მახასიათებლებს შორის [109,110].

[98] ნაშრომის კლასიფიკაციით, ყველა ტანები შეიძლება დაიყოს მყარ და სითხისებრებს. სითხისებრი ტანების მოძრაობა ხდება ნებისმიერ მცირე ძაბვის ძვრისას. მყარი ტანები იწყებენ დენადობას მხოლოდ გარკვეული ზღვრული ძაბვის ძვრისას, რომელსაც დენადობის ზღვარი ეწოდება. ამგვარად თუ მყარი ტანი მყარ მდგომარეობაში ზღურბლის τ_y მნიშვნელობაა, მაშინ დენადობის დაწყებისას $\tau > \tau_y$. მნიშვნელობა τ_y , ნივთიერების სტრუქტურით მოყვანილია [111,112]-ში.

[110,113]-ში მოყვანილია, რო არსებობს 54 ტიპის რეოლოგიური განტოლება, თუმცა ხშირად ხდება მხოლოდ რეოლოგიური პარამეტრების ემპირიული დაზუსტება. მაგალითად სისკომ [113,114] ჩაატარა ნიუტონის და ბაკლი-ჰერშელის მოდელების მექანიკური გაერთიანობა და მიიღო განტოლება:

$$\tau = \eta_1 \dot{\gamma} + \eta_2 \dot{\gamma}^n. \quad (5.15)$$

და ბოლოს აუცილებელია ტიკსოტროპიის განხილვა - დისპერსული სტრუქტურირებული სისტემა, რომელშიც წარმოიქმნება აგრეგატები. [115]-ში ხდება სტრუქტურების დაშლა დროის განმავლობაში, ძვრის სიჩქარის ცვლილებისას ($\dot{\gamma}$ და დრო t). ამ დროს [46]-ის თანახმად, მიღებულია დამოკიდებულებები $\tau = \tau(\lambda, \dot{\gamma})$, $d\lambda/dt = f(\lambda, \dot{\gamma})$, სადაც λ - გარკვეული სტრუქტურული პარამეტრი.

5.3. ექსპერიმენტალური დანადგარები და მოწყობილობა

ექსპერიმენტალური კომპლექტი მოთავსებულია ლაბორატორიუმში „ჯორჯია გაზ პეტროელუმ“-ში. აქ არსებული ვისკოზიმეტრობებით ხდება

ნახშირწყალბოდებით და სხვა სითხეების სიბლანტის მახასიათებლების განსაზღვრა. ხელსაწყოებით HVU Herzog 480/481/482-ით საზღვრავენ სიბლანტის დასაშვები დიაპაზონის განსაზღვრას, ზუსტი გაზომვებით.

HVU Herzog 480/481/482 ხელსაწყოს ტექნიკური პარამეტრები შემდეგია: ძაბვა ქსელში 230 ვ; სიხშირე ქსელში -50-60 ჰც; ნომინალური სიმძლავრე - 1200 ბრ; ზომები - 350x500x900 მმ; წონა- 88 კგ; სინჯის მოცულობა - 20 მლ; სიბლანტის დიაპაზონი - $1 \div 50000$ მმ²/წმ; ტემპერატურული დიაპაზონი - $20 \div 150$ °C; გამხსნელის გაწმენდა - 20 მლ/ციკლი.

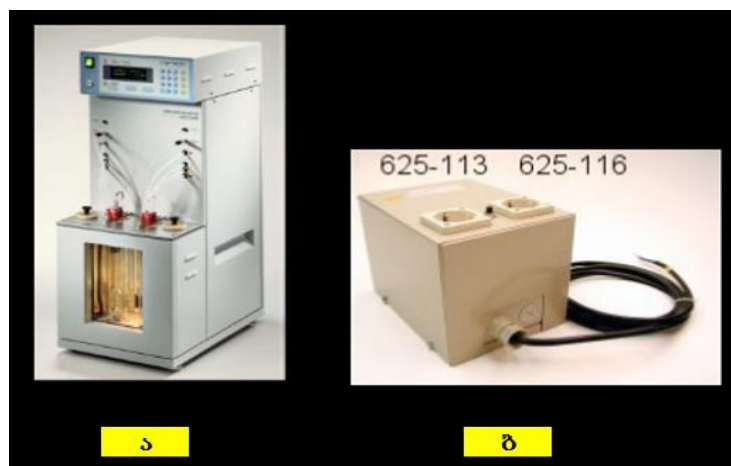
HVU Herzog 480/481/482 ხელსაწყოს ექსპლუატაციისას, ელექტრული ძაბვის რხევა არ უნდა აღემატებეს $\pm 10\%$ -ს. ექსპლუატაციისას გარემოს ტემპერატურა უნდა იყოს $15 \div 55$ °C, ხოლო ფარდობითი ტენიანობა არა უმეტეს 60%-მდე და ტემპერატურა - 35 °C.

ვისკოზიმეტრი HVU Herzog 480/481/482 (ნახ. 54ა) წარმოადგენს ინტეგრირებულ მოწყობილობას. ძირითადი კომპონენტებია: ელექტრონული კონტროლერი, ორი კაპილარის აბაზანის ტემპერატურის რეგულატორი და ა.შ. აგრეთვე შედის ტრანსფორმატორი (სიმძლავრე - 1300 ვტ, ძაბვა - 230 ვ) (ნახ. 45ბ).

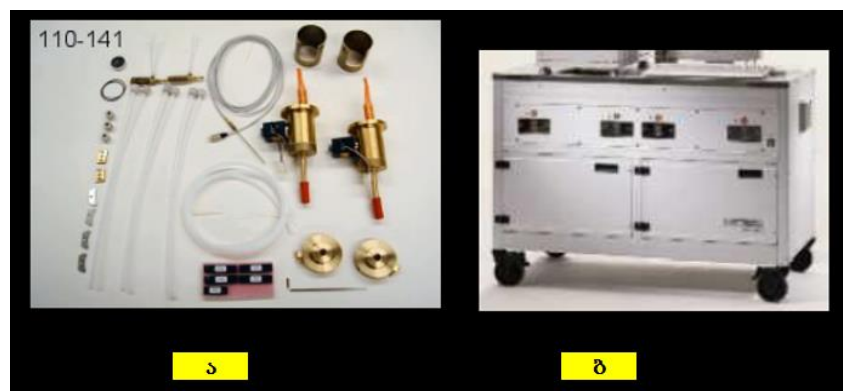
გარდა ამისა, კომპლექტში შედის: გამოყენებული ნიმუშების შეცვლის კომპლექტი (ნახ. 46ა) ნიმუშის ავტომატური ცვლილების MP491 აბაზანით 48 ნიმუშით (ნახ. 46ბ).

გარე მაცივარი, აბაზანაში ქმნის ცირკულაციას, სადაც ტემპერატურა არის $20 \div 40$ °C. დიაპაზონში. იგი განლაგებულია უფრო მაღალ დონეზე ვისკოზიმეტრიდან (ნახ. 47ა). ტუმბოს წნევის მაქსიმუმია - 0,15 ბარი. მეორე მაცივარი განლაგებულია იატაკის დონეზე, მძლავრი ტუმბოთი (ნახ. 47ბ).

კომპლექტში აგრეთვე შედის; NIR კაპილარული მოწყობილობა (ნახ. 48ა) მენისკის აღმოჩენით და კაპილარი (ნახ. 48ბ). აგრეთვე გამოიყენება არა გამჭვირვალე ნიმუშების კაპილარების აღმოჩენის ნიმუშებით (ნახ. 48დ).



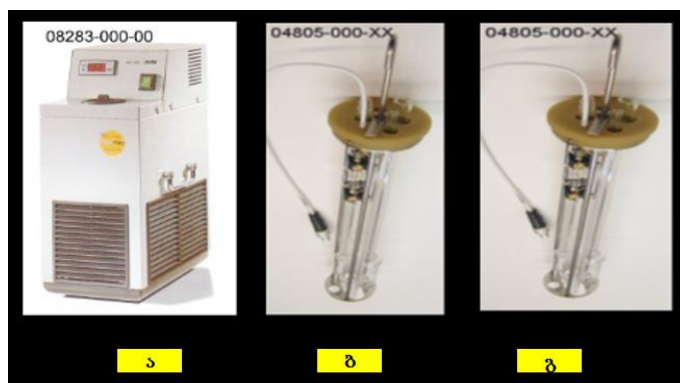
ნახ. 45. ა) HVU Herzog 480-ის ვისკოზიმეტრის ზოგადი ხედი; ბ) ტრანსფორმატრი



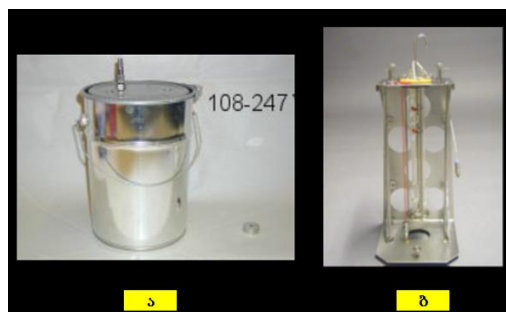
ნახ. 46. ა) გამოყენებული ნიმუშების შეცვლის კომპლექტი; ბ) ნიმუშის ავტომატური ცვლილების MP491 აბაზანით 48 ნიმუშით



ნახ. 47. გარე გაგრილების ცირკულაცია



ნახ. 48. ა) NIR კაპილარული მოწყობილობა; ბ) კაპილარული დამჭერის ამოტვიფრული და ფერის კოდირება; დ) კაპილარების აღმოაჩენა გაუმჭვირვალე ნიმუშებში



ნახ. 49. ნარჩენების გამხსნელის დამლექილი კონტეინერი; ბ) ვაკუუმი ტუმბოს არინების საქმენიდან

5.4. სითხის დინების დინამიკური მახასიათებლების საშუალებით დისკრინიმინაციული მეთოდების დაზუსტება

5.4.1. დისკრინიმინაციული მეთოდების ფიზიკური მოდელების დაზუსტება

მოდელების არჩევა, რომლებიც ადეკვატურად აღწერს ანომალურ სითხეებს, მიყვევართ სიტუაციამდე, სადაც ძნელია მოდელებიდან რომელი ავირჩიოთ. ბუნებრივია, რომ არსებობს ექსპერიმენტული პირობების რაღაც არე, რომლისთვისაც შეიძლება განისაზღვროს განსხვავება შემოთავაზებულ მოდელებს შორის. ამასთან დაკავშირებით ამოცანის დასმისას ჩნდება ექსპერიმენტის გეგმის არჩევა, აგრეთვე იმ ზოგიერთი კრიტერიუმისაც,

რომლებიდანაც დიდი უეჭველობით შეიძლება რაღაც მოდელის მიღება სითხის დინების ან ფიზიკური პარამეტრების ცვლილებათა კანონზომიერების აღწერით [117,118].

დავუშვათ, რომ რეოლოგიური მრუდის ასაგებად მიღებულია n ექსპერიმენტები და მიღებული შედეგების აღსაწერად გვთავაზობენ სამ მოდელს (მაგალითად, ევრისტიკული თვალსაზრისით), განსხვავების აღმოჩენა მიღებულ საერთო კრიტერიუმებს შორის (იდენტურობის ზომა) შეუძლებელია. ამ შემთხვევაში საჭიროა $(n+1)$ ექსპერიმენტი, რომელიც აუცილებლად გაგვცემს მოცემულ შეკითხვაზე პასუხს.

დისკრიმინაციული ფუნქციების გასასხვავებლად კულბაკმა შემოგვთავაზა ახალი ფუნქცია, რომლის გაუმჯობესებული ვარიანტი დაამუშავეს ბოქსმა და ჰილმა [119]. ამ შემთხვევაში გათვალისწინებულია პერველ n ექსპერიმენტში მიღებული ინფორმაცია. მიღებულ შედეგზე დაფუძნებით აფასებენ მოდელების შემოთავაზებულ v პარამეტრებს და აფასებენ ექსპერიმენტულ დისპერსიებს σ^2 და σ_i^2 . ამის შემდეგ იანგარიშება მოდელების თავისუფლების ხარისხების შეფარდებები ნარჩენი კვადრატის ჯამისთვის v_i / Φ_i , რაც წარმოადგენს აპრიორული ალბათობების $P_i^{(n)}$ პროპორციულ სიდიდეებს, გამოთვლილს თითოეული საცდელი მოდელისთვის. და ბოლოს, ირჩევა ცდის $(n+1)$ ვექტორის ექსპერიმენტული პირობები, დისკრიმინაციული ფუნქციის მაქსიმუმის მიხედვით:

$$K_v = \frac{1}{2} \sum_{r=1}^v \sum_{s=r+1}^v P_r^{(n)} P_s^{(n)} \left[\begin{array}{l} \frac{(\sigma_r^2 - \sigma_s^2)^2}{(\sigma^2 + \sigma_r^2)(\sigma^2 + \sigma_s^2)} + \\ + (\hat{Y}_r^{(n+1)} - \hat{Y}_s^{(n+1)})^2 \left(\frac{1}{\sigma^2 + \sigma_r^2} + \frac{1}{\sigma^2 + \sigma_s^2} \right) \end{array} \right], \quad (5.16)$$

სადაც i მოდელების გამოძახილი $\hat{Y}_i^{(n+1)}$ პროგნოზირებად ცდაში. შემდეგ პირობებში $(n+1)$ ცდაში, სრული პროცედურა მეორედება. ექსპერიმენტი მთავრდება, როდესაც ალბათობები $(n+1)$ -ში იმდენად განსხვავებულია P_i

ალბათობების ერთმანეთისგან, რომ უპირატესობა მიგვენიჭებინა რომელიმე მოდელისათვის.

მაშასადამე, კლასიკური მეთოდებისგან განსხვავებით (იგულისხმება ექსპერიმენტის დაგეგმვისა და დამუშავების კლასიკური მათემატიკური თეორია), ცდების რაოდენობა წინასწარ განსაზღვრულია. განსახილველ მეთოდში ცდების წინასწარი რაოდენობა - უცნობია. კონკრეტულ შემთხვევაში, ცდების რაოდენობა შეიძლება იყოს მეტი ან ნაკლები (კლასიკური მეთოდების მიხედვით ცდების რაოდენობა), თუმცა მიღებული - უტყუარობა მნიშვნელოვნად მაღალია.

5.4.2. ანომალური ნავთობის თვისების მქონე მხები ძაბვების მოდელების დადგენა ექსპერიმენტალური გზით, დისკრიმინაციით მეთოდით

ცხრილ 35-ში მოყვანილია მხები ძაბვის წანაცვლების დამოკიდებულება $\tau = \Delta P \cdot R / 2L$ (ΔP - წნევის დანაკარგი ხახუნზე, R და L - შესაბამისად კაპილარის რადიუსი და სიგრძე), სიჩქარის გრადიენტზე $\gamma^* = 4Q / \pi R^2$ (Q - სითხის მოცულობითი ხარჯი) [120-122]. დინების წირებისათვის, გამოიყენება სხვადასხვა მოდელების აღწერა.

თვალსაჩინაობით განვსაზღვროთ შვედოვის-ბინგამის ორი მოდელი

$$\tau = \tau_0 + \eta_0 \gamma^* \quad (5.17)$$

და კესონ-შულმანის მოდიფიცირებული მოდელი

$$\tau^{1/m} = \tau_0^{1/m} + \left(\eta_0 \gamma^* \right)^{1/m} . \quad (5.18)$$

ცხრილი 35

მხები ძაბვის წანაცვლების დამოკიდებულება

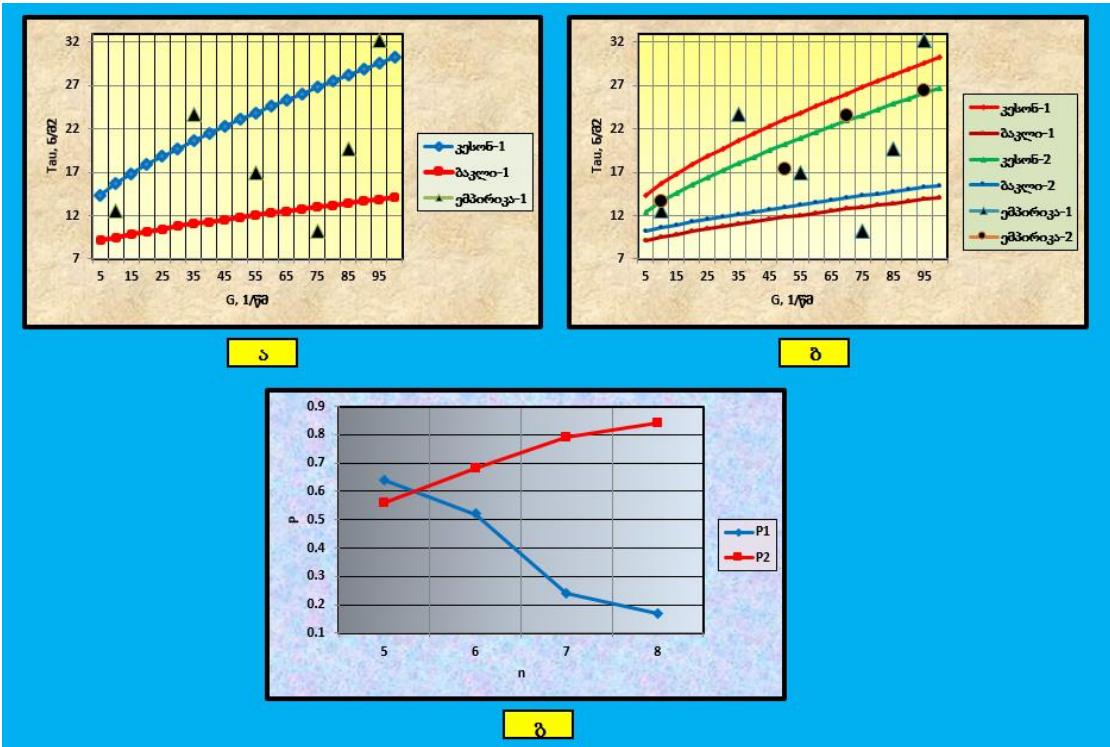
| ცდების სერია №1 | ცდის ნომერი | γ^* (1/წმ) | τ (Hc/m ²) | ცდების სერია №2 | ცდის ნომერი | γ^* II (1/წმ) | τ (ბ.წმ/მ ²) |
|-----------------------|----------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------|-------------------------|----------------------------------|
| 1 | 1 | 19,3 | 3,25 | 1 | 1 | 19,55 | 11,56 |
| 2 | 2 | 47,05 | 22,45 | 2 | 2 | 46,11 | 8,78 |
| 3 | 3 | 66,75 | 13,55 | 3 | 3 | 66,71 | 27,88 |
| 4 | 4 | 81,07 | 7,31 | 4 | 4 | 79,19 | 16,77 |
| 5 | 5 | 96,13 | 22,78 | 5 | 5 | 91,33 | 23,33 |
| 6 | 6 | 51,17 | 16,25 | 6 | 6 | 56,01 | 17,02 |
| 7 | 7 | 18,11 | 91,14 | 7 | 7 | 34,18 | 17,48 |

| ცდების სერია №3 | ცდის ნომერი | 51,17 *III γ (1/წმ) | 16,25 τ (წ.წმ/მ ²) | ცდების სერია №4 | ცდის ნომერი | 94,66 * IV γ (1/წმ) | 25,88 τ (წ.წმ/მ ²) |
|-----------------------|----------------|----------------------------------|---|-----------------------|----------------|----------------------------------|---|
| 1 | 1 | 11,04 | 12,55 | 1 | 1 | 9,76 | 10,25 |
| 2 | 2 | 33,67 | 23,73 | 2 | 2 | 32,01 | 11,24 |
| 3 | 3 | 53,92 | 17,01 | 3 | 3 | 59,11 | 10,51 |
| 4 | 4 | 76,01 | 10,18 | 4 | 4 | 76,44 | 18,16 |
| 5 | 5 | 86,49 | 19,64 | 5 | 5 | 88,79 | 16,29 |
| 6 | 6 | 96,15 | 32,21 | 6 | 6 | 55,12 | 12,11 |
| 7 | 7 | 66,22 | 23,52 | 7 | 7 | 5,33 | 6,55 |
| 8 | 8 | 4,89 | 13,61 | 8 | 8 | 101,06 | 21,66 |
| 9 | 9 | 91,21 | 26,43 | 9 | 9 | 43,65 | 11,44 |
| 10 | 10 | 45,88 | 17,4 | 10 | 10 | 71,24 | 15,21 |
| 11 | | | | 11 | 11 | 40,78 | 12,55 |
| ცდების სერია №5 | ცდის ნომერი | * V γ (1/წმ) | τ (წ.წმ/მ ²) | | | | |
| 1 | 1 | 11,04 | 8,01 | | | | |
| 2 | 2 | 31,88 | 14,78 | | | | |
| 3 | 3 | 49,61 | 13,51 | | | | |
| 4 | 4 | 76,18 | 16,23 | | | | |
| 5 | 5 | 85,04 | 11,56 | | | | |
| 6 | 6 | 101,44 | 22,31 | | | | |
| 7 | 7 | 62,23 | 18,51 | | | | |
| 8 | 8 | 14,88 | 11,01 | | | | |
| 9 | 9 | 94,12 | 21,5 | | | | |
| 10 | 10 | 78,91 | 17,34 | | | | |
| 11 | 11 | 25,98 | 16,23 | | | | |
| 12 | 12 | 71,15 | 15,44 | | | | |
| 13 | 13 | 44,42 | 19,22 | | | | |

(5.17) და (5.18) მოდელების შეფასებისათვის, ხუთი ცდის მისაღებად მიღებულია შემდეგი წერტილები: $\tau_0 = 3,41$ ნ/მ²; $\eta_0 = 0,062$ ნწმ/მ²; $\tau_0 = 8,8$ ნ/მ²; $\eta_0 = 0,063$ ნწმ/მ²; $m = 1,89$.

ნახ. 50ა-ზე ნაჩვენებია $\tau = f(\gamma^*)$ -ს შვედოვის-ბინგამის და კესონ-შულმანის მოდელები, ხუთი ექსპერიმენტისათვის, ერთსა და იგივე იდენტურობის ზომისას.

მაქსიმიზაციის შემდეგ, მიმდევრობით მოხდა დამატებითი სამი ექსპერიმენტი. რომლების შედეგები მოყვანილია ცხრილ 35-ის ბოლო სამ სტრიქონში. მოდელების რვა ექსპერიმენტის დაზუსტებისას (5.17) და (5.18)-ის შესაბამისად, პარამეტრები შემდეგია: $\tau_0 = 5,82$ ნ / მ ²; $\eta_0 = 0,071$ დინ·წმ/სმ²; $\tau_0 = 6,71$ ნ / მ ²; $\eta_0 = 0,055$ დინ·წმ/სმ²; $m = 1,77$.



ნახ. 50. ა) გრაფიკები $\tau = f(\gamma^*)$: 1. კესონ-შულმანის მოდელი; 2. შვედოვ-ბინგამის მოდელი; 3. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ხუთი წერტილი; ბ) გრაფიკები $\tau = f(\gamma^*)$: 1. კესონ-შულმანის ძველი მოდელი; 2. შვედოვ-ბინგამის ძველი მოდელი; 3. კესონ-შულმანის დაზუსტებული მოდელი; 4. შვედოვ-ბინგამის დაზუსტებული მოდელი; 5. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ხუთი წერტილი; 6. * - დამატებითი სამი წერტილი. გ) ალბათობის ცვლილება ექსპერიმენტის პროცესში

ყველა ხუთი ცდების კრებსითი სერია მოყვანილია ცხრილ 35-ში.

ნახ. 50,ბ-ზე მოყვანილია $\tau = f(\gamma^*)$ წირების შვედოვ-ბინგამის და კესონ-შულმანის მოდელების გრაფიკები და რვა ექსპერიმენტის წერტილი.

ამ სიტუაციაში, ორივე მოდელის იდენტობის ზომა ერთნაირია და ტოლია 0,999. თუ ვიპოვით აპოსტერიორული ალბათებებს, გვექნება: შვედოვ-ბინგამის მოდელისათვის $P_1^{(8)} = 0,17$, ხოლო კესონ-შულმანის მოდელისათვის - $P_2^{(8)} = 0,84$. ამგვარად, რვა ექსპერიმენტისათვის, უპირატესობა ენიჭება კესონ-შულმანის მოდელს.

ნახ. 50,გ-ზე ნაჩვენებია ალბათობის ცვლილება ექსპერიმენტის პროცესში.

ანალოგიურად სხვა შედეგებისათვის, ცდების ოთხი სერიებისათვის, მოყვნილია კრებსიდ ცხრილ 36-ში, დაზუსტებული მოდელებისათვის.

ცხრილი 36

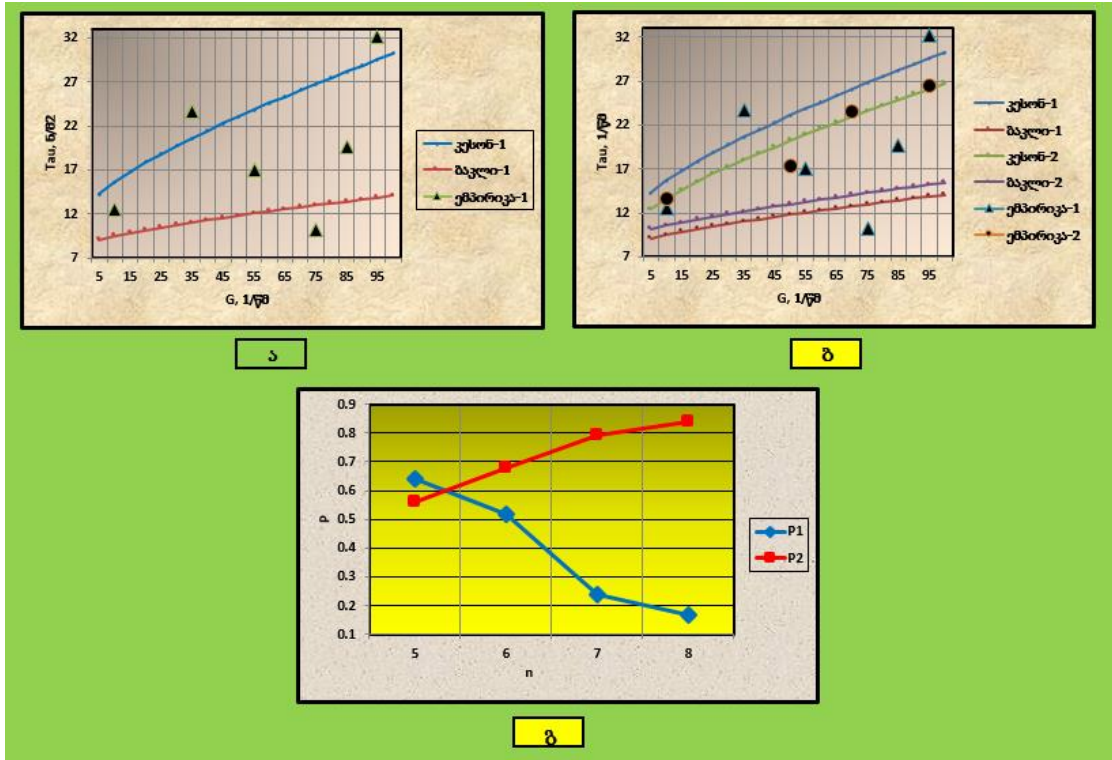
ცდების ხუთი სერიის შედეგები, დაზუსტებული მოდელებისათვის

| № | | ცდების სერია | | | | |
|---|-----------------------------------|--|--|--|--|---|
| | | I | II | III | IV | V |
| 1 | წინასწარი მოდელები | კესონ-შულმანის მოდელი; შვედოვ-ბინგამის მოდელი | კესონ-შულმანის მოდელი; ბაკლი-ჰერშლის მოდელი | კესონ-შულმანის მოდელი; ბაკლი-ჰერშლის მოდელი | კესონ-შულმანის მოდელი; ბაკლი-ჰერშლის მოდელი | შვედოვ-ბინგამის მოდელი; კესონ-შულმანის მოდელი; ბაკლი-ჰერშლის მოდელი |
| 2 | | პარამეტრები | | | | |
| | τ_{01} (H/M ²) | 3,41 | 9,63 | 11,85 | 8,21 | 9,15 |
| | η_{01} (H·c/M ²) | 0,062 | 0,065 | 0,081 | 0,062 | 0,065 |
| | τ_{02} (H/M ²) | 8,8 | 7,71 | 8,55 | 8,91 | 9,02 |
| | η_{02} (H·c/M ²) | 0,063 | 0,074 | 0,095 | 0,071 | 0,071 |
| | τ_{03} (H/M ²) | - | - | - | -- | 10,81 |
| | η_{03} (H·c/M ²) | - | - | - | - | 0,069 |
| | m_1 | 1,89 | 1,93 | 1,93 | 1,41 | 1,41 |
| | m_2 | - | - | - | - | 1,42 |
| | n | - | 0,92 | 0,76 | 0,92. | 0,95 |
| | ცდების რაოდენობა | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 |
| 3 | | დაზუსტებული პარამეტრები | | | | |
| | τ_{01} (H/M ²) | 5,82 | 7,55 | 10,41 | 8,99 | 10,01 |
| | η_{01} (H·c/M ²) | 0,071 | 0,064 | 0,079 | 0,068 | 0,071 |
| | τ_{02} (H/M ²) | 6,71 | 8,89 | 9,67 | 8,95 | 9,55 |
| | η_{02} (H·c/M ²) | 0,055 | 0,082 | 0,088 | 0,073 | 0,073 |
| | τ_{03} (H/M ²) | - | - | - | - | 9,81 |
| | η_{03} (H·c/M ²) | - | - | - | - | 0,065 |
| | m | 1,77 | 1,79 | 1,55 | 1,31 | 1,55 |
| | n | - | 0,94 | 0,81 | 0,98 | 0,97 |
| | დამატებითი ცდების რაოდენობა | 3 | 3 | 4 | 7 | 8 |
| 4 | | აპოსტერიული ალბათობები | | | | |
| | P_1 | 0,17 | 0,13 | 0,08 | 0,91 | 0,14 |
| | P_2 | 0,84 | 0,92 | 0,91 | 0,13 | 0,09 |
| | P_3 | - | - | - | - | 0,94 |
| 5 | დაზუსტებული მოდელი | კესონ-შულმანის მოდელი; | კესონ-შულმანის მოდელი; | კესონ-შულმანის მოდელი; | ბაკლი-ჰერშლის მოდელი | კესონ-შულმანის მოდელი; |

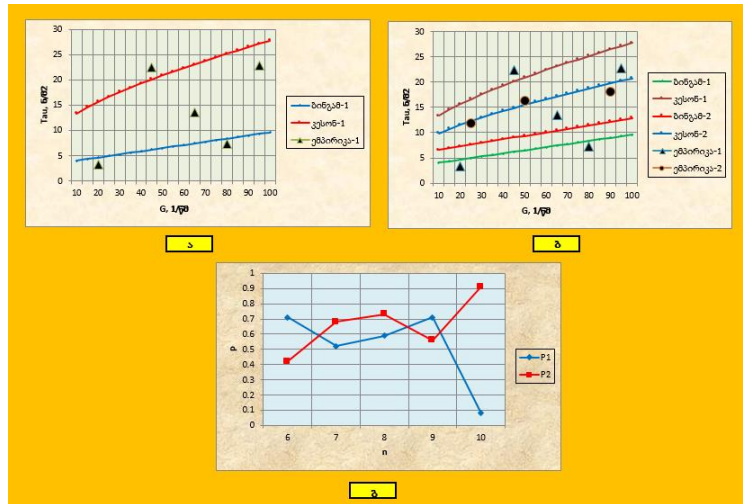
გარდა ამისა, განხილულია ბაკლი-ჰერშლის მოდელი:

$$\tau = \tau_0 + \eta_0 \gamma^{*n} \quad (5.19)$$

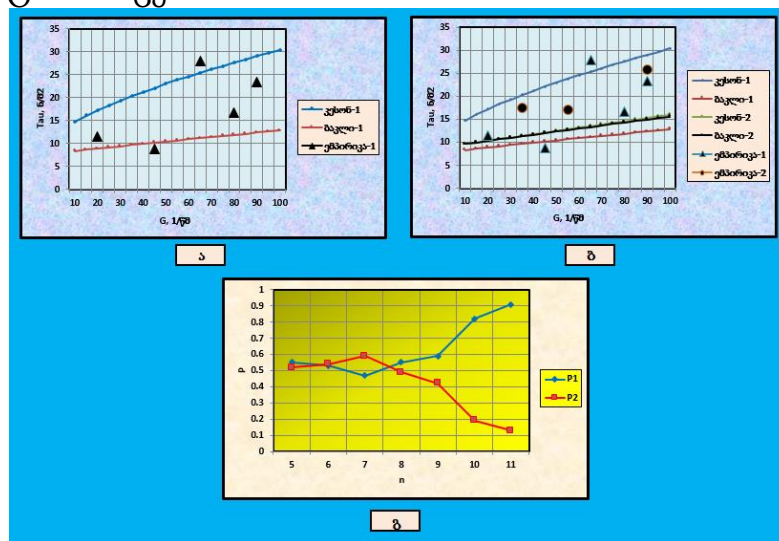
ნახ. 51-54-ზე ნაჩვენებია ძაბვის მხები ძვრის დამოკიდებულების გრაფიკები, ძველი და ახალი მოდელებისათვის და აგრეთვე ექსპერიმენტის პროცესში ალბათობის ცვლილებისას დამოკიდებულებები.



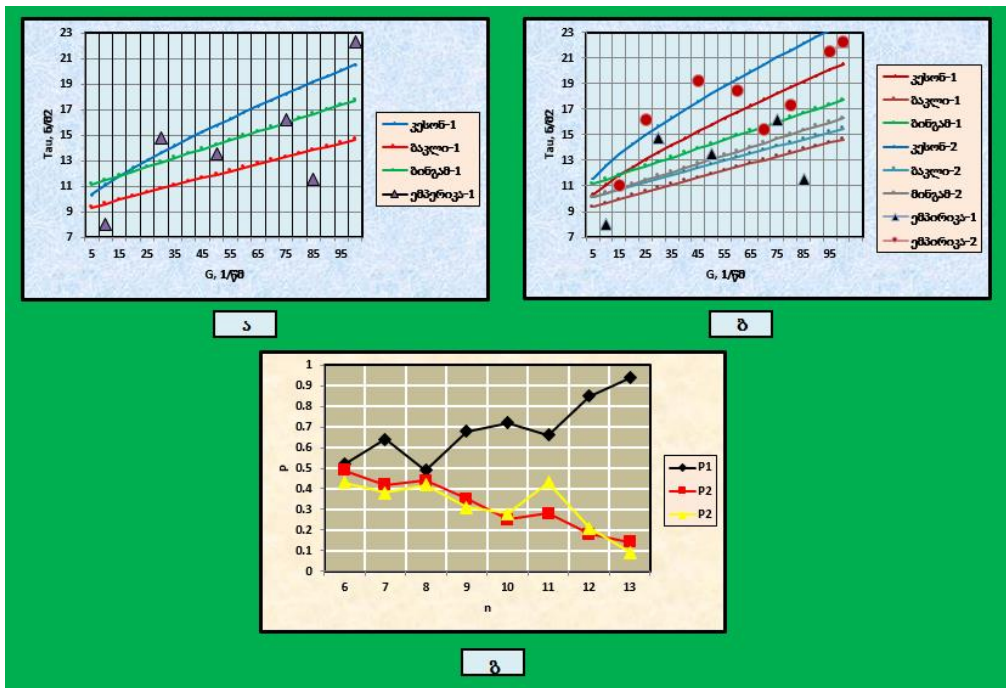
ნახ. 51. ა) გრაფიკები $\tau = f(\gamma^*)$: 1. კესონ-შულმანის მოდელი; 2. ბაკლი-ჰერშლის მოდელი; 3. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ხუთი წერტილი; ბ) გრაფიკები $\tau = f(\gamma^*)$: 1. კესონ-შულმანის ძველი მოდელი; 2. ბაკლი-ჰერშლის ძველი მოდელი; 3. კესონ-შულმანის დაზუსტებული მოდელი; 4. ბაკლი-ჰერშლის დაზუსტებული მოდელი; 5. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ხუთი წერტილი; 6. * - დამატებითი სამი წერტილი. გ) ალბათობის ცვლილება ექსპერიმენტის პროცესში



ნახ. 52. ა) გრაფიკები $\tau = f(\gamma^*)$: 1. კესონ-შულმანის მოდელი; 2. ბაკლი-ჰერშლის მოდელი; 3. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ექვსი წერტილი; ბ) გრაფიკები $\tau = f(\gamma^*)$: 1. კესონ-შულმანის ძველი მოდელი; 2. ბაკლი-ჰერშლის ძველი მოდელი; 3. კესონ-შულმანის დაზუსტებული მოდელი; 4. ბაკლი-ჰერშლის დაზუსტებული მოდელი; 5. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ექვსი წერტილი; 6. * - დამატებითი ოთხი წერტილი. გ) ალბათობის ცვლილება ექსპერიმენტის პროცესში



ნახ. 53. ა) გრაფიკები $\tau = f(\gamma^*)$: 1. კესონ-შულმანის მოდელი; 2. ბაკლი-ჰერშლის მოდელი; 3. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ხუთი წერტილი; ბ) გრაფიკები $\tau = f(\gamma^*)$: 1. კესონ-შულმანის ძველი მოდელი; 2. ბაკლი-ჰერშლის ძველი მოდელი; 3. კესონ-შულმანის დაზუსტებული მოდელი; 4. ბაკლი-ჰერშლის დაზუსტებული მოდელი; 5. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ხუთი წერტილი; 6. * - დამატებითი ექვსი წერტილი. გ) ალბათობის ცვლილება ექსპერიმენტის პროცესში



ნახ. 54. ა) გრაფიკები $\tau = f(\gamma^*)$: 1. კესონ-შულმანის მოდელი; 2. კესონ-შულმანის მოდელი; 3. ბაკლი-ჰერშლის მოდელი; 4. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ექვსი წერტილი; ბ) გრაფიკები $\tau = f(\gamma^*)$: 1. კესონ-შულმანის ძველი მოდელი; 2. კესონ-შულმანის ძველი მოდელი; 3. ბაკლი-ჰერშლის ძველი მოდელი; 4. კესონ-შულმანის დაზუსტებული მოდელი; 5. კესონ-შულმანის დაზუსტებული მოდელი; 6. ბაკლი-ჰერშლის დაზუსტებული მოდელი; 5. ▲ - წინასწარი ექსპერიმენტის ექვსი წერტილი; 6. * - დამატებითი შვიდი წერტილი. გ) ალბათობის ცვლილება ექსპერიმენტის პროცესში

საჭიროა აღვნიშნოთ, რომ ექსპერიმენტის პროცესში, ცდების რაოდენობა წინასწარ - უცნობია. თვითეული ცდის მიღებული ინფორმაცია აქტიურად შედის მიღებულ გადაწყვეტილებაში. ცდები გრძელდება იქამდე, სანამ ხდება მოდელის დისკრიმინაცია. როგორც წესი, თუ ცდები ხდება კრიტიკულ არეში, მაშინ ცდების რაოდენობა ბევრი არ არის. თუ ცდების რაოდენობა იზრდება, ხოლო მოდელები არ დისკრიმინარულნია, მაშინ ცდების რაოდენობა ხდება რეგლამენტირება ეკონომიკური მოსაზრებიდან.

დასკვნები

1. მაგისტრალური მილსადენების რისკის შეფასებები წარმოადგენს საშიში საქმიანობის დეკლარირების რეალიზაციის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან პირობას. ამიტომ ჩვენ მიერ დამუშავებულია ნავთობგაზსადენებზე ავარიებისას რისკის შეფასების მეთოდური აპარატი, რომელიც არსებულისგან იმით განსხვავდება, რომ მისი რეალიზაციის დროს გათვალისწინებულია ზარალის ყველა შეამდგენელი. აგრეთვე დამუშავებულია ნავთობგაზსადენების ხაზოვანი ნაწილის უბნების “სუსტი ადგილების” განსაზღვრის მეთოდიკა, რომელიც განსხვავებულია არსებულისგან იმით, რომ “სუსტი ადგილები” განისაზღვრება რისკის გაანგარიშების საშუალებით.

2. სადისერტაციო სამუშაოში მოცემულია დაუმყარებელი ნაკადებისას, მაგისტრალური ნავთობადენის გილიოტინური გარღვევისას ნავთობის ავარიული გადმოდინების განსაზღვრის სხადასხვა მეთოდიკის ანალიზი. შედეგად დადგენილია, რომ არსებული კერძო წარმოებლიან დიფერენციალურ განტოლებებზე დაფუძნებული, ერთ განზომილებიანი მოდელები, სადაც მხები ძაბვები იანგარიშება დარსი-ვეიბახის ფორმულით, უვარგისია პრაქტიკული გამოყენებისათვის მაგისტრალურ ნავთობსადენებზე გილიოტინური გარღვევის ამოცანებისთვის.

3. შემოთავაზებულია ძირითადი ჰიდრავლიკური დამოკიდებულებები ნავთობსადენის ორი ხვრეტიდან ნავთობის დაცლის მასალოდნელი მოცულობის განსაზღვრისათვის ნაკადის დაუმყარებელი რეჟიმის პერიოდში; გამოყვანისას გამოიყენება ხარჯის ბალანსი და ამოიხსნება მირებული წრფივი დიფერენციალური განტოლება.

4. დაგენილია მილსადენის ტექნოლოგიური პარამეტრების უსაფრთხო მანძილებისა და დაზიანების ზონების ზომებზე გადასატუმბი სითხეების მახასიათებლების, გარემოს მახასიათებლების, მეტეოპირობებისა და სხვა ფაქტორების გავლენა. აღნიშნული ფაქტორების

მნიშვნელობა დამოკიდებულია მაგისტრალური მილსადენის ტიპზე, ამიტომ პრაქტიკური ამოცანების გადასაწყვეტად აუცილებელია მაგისტრალური მილსადენის კონკრეტული უბნების საფრთხის ანალიზი და უსაფრთხოების კრიტერიუმების დასაბუთებული არჩევა. რისკის რაოდენობრივი შეფასების ჩვენი მეთოდოლოგიის გამოყენება საშუალებას მოგვცეს დასაბუთდეს მინიმალურად უსაფრთხო მანძილები, რომელთა ზომა შეიძლება იყოს ნორმატიულზე ან მაგისტრალური მილსადენის გარკვეული დაზიანებების ზონებზე ნაკლები.

5.პირველად არის შემოთავაზებული მილის უბნის გამოცვლის მიზანშეწონილებისა და მაგისტრალური მილსადენის მდგომარეობის “ვირტუალური კონტროლის” გამოყენების ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასების მოდელი. შემოთავაზებული მოდელის საფუძველზე მიღებულია სასაზღვრო წერტილი, რომელიც განზღვრავს ავარიამდე დროის პერიოდს, რომლის განმავლობაში მიზანშეწონილია მილის გამოცვლა. შემუშავებული მოდელი ავარიამდე ექსპლუატაციის სრული დროიდან უფრო ადრე წინასწარმეტყველებს ავარიას. შემუშავებული მოდელის გამოყენება მიზანშეწონილია, რადგანაც ნაწინასწარმეტყველები ავარიის დროში ჯდება დროის გარკვეულ ინტერვალში, როდესაც სარემონტო სამუშაოები და მილის გამოცვლა უკვე ეკონომიკურად გამართლებულია. შემოთავაზებული მეთოდის საფუძველზე მიღებულია სასაზღვრო წერტილი, რომელიც საშუალებას იძლევა ავარიამდე დროის პერიოდის განსაზღვრა, როდესაც მილის გამოცვლა მიზანშეწონილია.

6.განხილულია სტრუქტურირებული დისპერსიული სისტემების დინების ძირითადი მოდელები და კონცეპციები, კერძოდ ნიუტონისებრ დისპერსიულ არეში. ნაჩვენებია არსებული რეოლოგიური მოდელების ნაკლოვანებები და სიბლანტის სტრუქტურული მოდელების გამოყენების შესაძლებლობები, როგორც არაწრფივი პლასტიკური, ისე ფსევდოპლასტიკური დინების აღსაწერად. ლაბორატორიული კვლევებისა

და დისკრიმინაციული მოდელის საფუძველზე შემუშავებულია რეოლოგიური მოდელი და მისი პარამეტრები.

7. წარმოდგენილი შედეგები მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს საქართველოს კანონმდებლობისათვის ნორმატიული დოკუმენტაციის დასამუშავებლად სამილსადენე ტრანსპორტის ობიექტების უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მიზნით, მათ შორის, თხევადი და გაზობრივი ნახშირწყალბადების სატრანსპორტო მაგისტრალური მილსადენების უსაფრთხოების ტექნიკური რეგლამენტის და მაგისტრალური მილსადენების უსაფრთხოების წესების შექმნაში.

Литература

1. http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D1%81%D1%8B_%D0%BD%D0%B5%D1%84%D1%82%D0%B8_%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%B0. Запасы нефти. 22.04.2013
2. <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D1%83%D0%BF%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%88%D0%B8%D0%B5> . . . Расклад сил на мировом рынке нефти. 22.04.2013
3. <http://www.ereport.ru/articles/commod/oilcount.htm>. 22.04.2013
4. http://www.ng.ru/energy/2013-01-15/13_expectations.html.
5. <http://www.1news.az/economy/20130114125358656.html>.
6. <http://www.rusenergy.com/ru/news/news.php?id=64087>.
7. <http://www.bpgeorgia.ge/go/doc/1339/150563/Western-Route-Export-Pipeline-WREP->
8. <http://www.bpgeorgia.ge/go/doc/1339/150562/Baku-Tbilisi-Ceyhan-BTC-Pipeline->
9. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”// Собрание законодательства Российской Федерации. 2008. № 30 (Ч. I). Ст. 3579.
10. СТО РД Газпром 39-1.10-084—2003. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО “Газпром”. Т. 2. М., 2003. 150 с.
11. Лисанов М.В. О техническом регулировании и критериях приемлемого риска// Безопасность труда в промышленности. 2004. № 5. С. 11–14
12. М.В. Лисанов, С.Н. Буйновский, О критериях приемлемого риска аварий на опасных производственных объектах химической и нефтегазового комплекса. Безопасность труда в промышленности. М., 2009. сс 76-78
13. Гражданкин А.И., Лисанов М.В., Печеркин А.С., Сидоров В.И. Показатели и критерии опасности промышленных аварий. Безопасность труда в промышленности. 2003. № 3. С. 30–32.
14. Гражданкин А.И., Дегтярев Д.В., Лисанов М.В., Печеркин А.С. Основные показатели риска аварии в терминах теории вероятностей. Безопасность труда в промышленности. 2002. № 7. С. 35–39.
15. Руководство по оценке рисков чрезвычайных ситуаций техногенного характера, в том числе при эксплуатации критически важных объектов Российской Федерации (утв. МЧС России 09.01.09 № 1-4-60-9).
16. РД 03-418—01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. Сер. 3. Вып. 10. М.: ГУП «НТЦ “Промышленная безопасность”», 2002. 40 с.
17. ПБ 09-566-03. Правила безопасности для складов сжиженных углеводородных газов и легко воспламеняющихся жидкостей под давлением. Сер. 9. Вып. 18. М.: ГУП НТЦ “Промышленная безопасность”, 2003. 76 с.
18. Савина А.В., Сумской С.И., Лисанов М.В. Анализ риска аварий на магистральных трубопроводах при обосновании минимальных безопасных расстояний. М., Анализ риска. 2012. сс 58-63
19. С.И. Сумской, А.В. Пчельников, Е.Л. Шанина и др. Анализ риска аварий на магистральном трубопроводе, транспортирующем широкую фракцию легких углеводородов/ Безопасность труда в промышленности. 2007. № 2. с. 48–52.
20. М.В. Лисанов, К.В. Ефремов, С.И. Сумской, В.А. Пантелеев. Сравнение результатов расчетов последствий аварийных выбросов опасных веществ по

- программным комплексам ТОКСИ+ и PHAST. Безопасность труда в промышленности. 2011. № 2. с. 56–60.
21. М.В. Лисанов, С.И. Сумской, А.В. Савина и др. Анализ риска магистральных нефтепроводов при обосновании проектных решений, компенсирующих отступления от действующих требований безопасности. Безопасность труда в промышленности. 2010. № 3. с. 58–66.
22. Бесчастнов М.В. Оценка опасности перегретых жидкостей в трубопроводных системах большой протяженности // Безопасность труда в промышленности. 1990. № 12. с. 19–24.
23. СТО Газпром 2-2.3-351-2009. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных ОАО Газпром
24. Pasquill F. Atmospheric Diffusion. New York: J. Wiley, 1974. 429 p.
25. РД-13.020.00-КТН-148-11. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах.
26. М.В. Лисанов, А.В. Савина, Д.В. Дегтярев, Е.А. Самусева. Анализ российских и зарубежных данных по аварийности на объектах трубопроводного транспорта. Безопасность труда в промышленности. 2010. № 7. с. 16–22.
27. РД “Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на МН”. (Утв. Минтопэнерго ОАО “АК Транснефть”, 1996 г.)
28. Гражданкин А.И. Дегтярев Д.В., Лисанов М.В., Печеркин А.С., Сидоров В.И. Анализ риска аварий на нефтепроводных системах КТК-Р и БТС//Безопасность жизнедеятельности. 2002. №6. сс.17-22.
29. Дадонов Ю.А., Лисанов М.В., Гражданкин А.И., Печеркин А.С., Сидоров В.И., Дегтярев Д.В., Сумской С.И. Оценка риска аварий на магистральных нефтепроводах КТК-Р и БТС//Безопасность труда в промышленности. 2002. №6. сс.2-6.
30. Гражданкин А.И., Дегтярев Д.В., Лисанов М.В., Печеркин А.С., Сидоров В.И., Сумской С.И. Анализ риска промышленных аварий на нефтепроводах//Технологии ТЭК. 2003. N10. сс.57 62.
31. Techniques for Assessing Industrial Hazards: a Manual world Bank Tech. Paper No 55, 1988
32. Cox R.A., Carpenter R.J. Assessment, Further development of a Dense Cloud Dispersion Model for Hazard Analysis, in F. Hartvig (Ed.), Heavy Gas and Risk D. Reidel, Dordrecht FRG. 1980
33. Гражданкин А.И. Разработка экспертной системы оценки техногенного риска и оптимизации мер безопасности на опасных производственных объектах. Авт. дис. канд. техн. наук. М., 2001. 34 с
34. Вентцель Е.С. Теория вероятности. М., Высшая школа. 1998. 576 с
35. Safety Performance Indicators. **URL:**
<http://www.neb.ge.ca/clf-ns/rsftyndthenvinment/stftyprfrmncndcct/sftyprfmnc/>
36. Годовые отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.
URL://www.gosnadzor.ru/osnovnaya_deyatelnost_otchety/
37. 7th Report of the European Gas pipeline Incident Data Group. groningen:EGIG. December. 2008
38. 6th Report of the UKOPA Fault Database Management Group. loughborough. GL Industrial Services Ltd. December. 2009.
39. Performance of European cross-country oil pipelines. Statistical summary of reported spillages in 2007 and since 1971. brusseis:CONCAWE. November. 2009.

40. PHMSA Stakeholder Communications: Pipeline Incidents and Mileage Reports. URL:<http://primis.phmsa.dot.gov/comn/reports/safety/>.
41. PHMSA Incidents Statistics. URL: <http://www.phmsa.dot.gov/hazmat/kibrary/data-stats/incndents>
42. PHMSA Pipeline Safety. Flagged incidents 2009-10-14. URL: <http://www.phmsa.dot.gov/comn/reports/safety/data/2009-10-14%20PHMSA%20Pipeline%20Safety%20520Flagged%20Incidents.zip?nocache=2>.
43. Report of Study Group 3.4. A Guideline “Using or Creating Incident Databases for Natural Gas Transmission Pipelines”/ Amsterdam. 23rd World Gas Conference. June. 1-5. 2006
44. Лисанов М., Савина А., Самусева Е., Сумской С. Аварийность на морских нефтегазовых объектах. Oil and Gas Journal Ruusia. 12010. #5 (39). сс 48-53
45. Handbook on Failure Frequencies. environment, Nature and Energy Department. Brussels. URL: <http://www.lne.be/en/safety-reporting/downloads>
46. Дадонов Ю.А., Лисанов М.В., Гражданкин А.И. Оценка риска аварий на магистральных нефтепроводах КТК-Р и БТС. Безопасность труда в промышленности. М., 2002. № 6. сс 2-6
47. Лисанов М.В., Гражданкин А.И., Пчельников А.В. Анализ риска аварий на нефтепроводных системах БТС и МН “Дружба”. Безопасность труда в промышленности. М., 2006. № 6. сс 34-40
48. Лисанов М.В., Сумской С.И., Савина А.В. и др. Безопасность труда в промышленности. М., 2010. № 3. сс 58-66
49. W. Kent Muhlbaer. Pipeline Risk Management Manuel. Gulf publishing Company. 1992. 256 p
50. Лисанов М.В., Савина А.В., Дегтяров Д.В., Самусева Е.А. Анализ российских по аварийности на объектах трубопроводного транспорта. М., Безопасность труда и промышленности. 2010 г. № 7. сс 16-22
51. Овчаров С.В., Сафонов В.С. Балльно-факторный метод оценки ожидаемой частоты аварий на газопроводах – новая интерпретация не нового подхода//Проблемы системной надежности и безопасности транспорта газа: Сб. науч. тр. М., ООО “ВНИИГАЗ”. 2008. сс 240-263
52. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральном нефтепроводах. Сер. 21. Вып. 1ё. М., ГУП “НТЦ “Промышленная безопасность”. 2002. 120 с
53. Шебеко Ю.Н., Гордиенко Д.М., Пономарев А.А. и др. Оценка пожарного риска линейной части магистральных трубопроводов. М., Пожарная безопасность. 2010. №4. сс 47-58
54. Лисанов М.В., Савина А.В., Дегтерев Д.В., Самусева Е.А. Анализ российских и зарубежных данных по аварийности на объектах трубопроводного транспорта. Безопасность труда в промышленности. 2010. № 7. сс 16-22
55. EGIG: European Gas Pipeline Incident Data Group 6-th EGIG report 1970-2004. EGIG document 05.r.002. December. 2005
56. A Guideline: Using or Creating Incident Databases for Natural gas Transmission Pipelines. report of Study group 3,4. 23-rd World Gas Conference. June 1-5. 2006. Amsterdam.
57. Рекомендации по учету влияния технико-технологических, природно-климатических и других факторов при прогнозировании аварийности на МГ ОАО “Газпром”. М., ОАО “Газпром”. 2007. 118 с

58. Изменения вносимые в приказ МЧС России от 10.07.09 № 404. Приложение к приказу МЧС России от 14.12.2010 № 649
59. Шавкин С.В., Черноплеков А.Н., Гостева А.В. Расчеты частоты аварийной разгерметизации для количественного анализа риска современных магистральных газопроводов. Приложение к журнала "Безопасность жизнедеятельности". 2009. № 3. с 24
60. EGIG: European Gas Pipeline Incident Data Group 7-th EGIG report 1970-2007. Gas Pipeline Incidents. Doc. Number EGIG 08.E.0502. December. 2008
61. С.В. Овчаров, 2011. О некоторых методах оценки частоты аварий на магистральных трубопроводах при расчете пожарного риска. М., Анализ риска. №2. 2011. с 61-69
62. Булавинцева А.Д., Мазуркин П.М.. Динпмика аварий по площади загрязнения на линейной части МН ОАО "АК "Транснефть". Технические науки №3. 2011 г. (электронный ресурс)
http://www.rae.ru/snt/?section=conten&cop=show_article_id=7796696
63. С.И. Сумской, А.В. Пчельников, М.В. Лисанов, О расчета объемов разливов опасных жидкостей при авариях на объектах трубопроводного транспорта. М., 2006. Безопасность труда в промышленности. №2. 2006. сс 48-52
64. РД. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах (утверждено приказом ОАО "АК "Транснефть" от 30.12.99 № 152, согласовано Госгортехнадзором России от 07.07.99 № 10-03/418).
65. РД. Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах (утверждено Минтопэнерго Российской Федерации, АК "Транснефть", 1996 г.)
66. Трубопроводный транспорт нефти: Учебник для вузов; Под ред. С.М. Вайнштока. - М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2002. Т. 2. 621 с.
67. Техническая и параметрическая диагностика в трубопроводных системах: Учеб. пособие; Под общей ред. Ю.Д. Земенкова. - Тюмень: Издательство "Вектор Бук", 2002. 432 с.
68. Лурье М.В., Полянская Л.В. Об опасном источнике волн гидравлического удара в рельефных нефте- и нефтепродуктопроводах // Нефтяное хозяйство. 2000. № 8. С. 66-68.
69. Антипьев В.Н., Налобина Е.В., Налобин И.Н. Аварийное истечение нефти из трубопровода при напорном режиме // Безопасность труда в промышленности. 2005. № 1. С. 37-41.
70. Сумской С.И., Лисанов М.В. О корректности расчетных моделей аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. М., Дискуссионный клуб. Проблемы анализа риска. т.5. 2008. №2. с 36-41
71. Трубопроводный транспорт нефти/ под ред. С.М. Вайнштока: в 2 т. - М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2006. т. 1-2. 407 с.
72. Сумской С.И., Лисанов М.В., Пчельников А.В. О расчете объемов разливов опасных жидкостей при авариях на объектах трубопроводного транспорта // Безопасность труда в промышленности. 2006. № 2. С. 48-52.
73. Лурье М.В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа: учеб. пособие. М.: Изд-во "Нефть и газ" РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2003. 335 с.
74. Лурье М.В., Полянская Л.В. Об опасном источнике волн гидравлического удара в рельефных нефте- и нефтепродуктопроводах // Нефтяное хозяйство. 2000. № 8. С. 66-68.

75. Антипов В.Н., Налобина Е.В., Налобин И.Н. “Некоторые аспекты нестационарных процессов при гильотинном разрыве на магистральном нефтепроводе // Проблемы анализа риска. 2007. Т. 4. № 3. С. 251-257.
76. Колган В.П. Применение принципа минимальных значений производной к построению конечно разностных схем для расчета разрывных течений газовой динамики // ЦАГИ. 1972. т. 3. № 6. С. 68-77.
77. Колган В.П. Применение принципа минимальных значений производной к построению конечно-разностных схем для расчета разрывных течений газовой динамики / Уч. зап. ЦАГИ. 1972. Т. 3. № 6. С. 68—77.
78. Антипов В.Н. Газодинамика. Курс лекций. Тюмень: изд-во ТюмИИ, 1988. 72 с.
79. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1970. 904 с.
80. Антипов В.Н., Налобина Е.В., Налобин И.Н. Некоторые аспекты нестационарных процессов при гильотинном разрыве на магистральном нефтепроводе // Проблемы анализа риска. 2007. Т. 4. № 3. С. 251-257. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах, утв. приказом ОАО “АК “Транснефть” от 30.12.99 № 152. М.: ГУП “НТЦ “Промышленная безопасность”. Сер. 27, вып. 1, 2002. - 118 с.
81. Сумской С.И., Лисанов М.В. О корректности расчетных моделей аварийных разливов нефти и нефтепродуктов (Публикуется в настоящем номере журнала, с. 36-41)
82. Постановление Правительства РФ от 21.08.200 г. № 613 “О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов”
83. Постановление Правительства РФ от 15.04.2002 г. № 240 “О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории РФ”
84. Постановление Правительства РФ от 21.05.2007 г. № 304 “О классификации ЧС природного и техногенного характера”
85. Методика определения ущерба окружающей природной среде при аварии на магистральных нефтепроводах, утвержденная Минтопэнерго РФ от 01.11.1995 г.
86. Антипов В.Н., Налобина Е.В., Налобин И.Н. О моделировании нестационарных течений нефти при авариях на магистральном нефтепроводе. Проблемы анализа риска. 2008. № 2. т.5. сс 42-55
87. Акимов В.А., Быков В.Ю., и др. Методические рекомендации по определению количества пострадавших при чрезвычайных ситуациях техногенного характера. Утв. министра по делам гражданской обороны. 1.09.2007. № 1-4-60-9-9. 2007
88. Рюмина Е.В. Анализ эколого-экономических взаимодействий. М., Наука. 2000. 158 с
89. Ананенков А.Г. и др. Эколого-экономическое управление охраной окружающей среды. М., Недра. 2003. 228 с
90. Хаустов А.П. . Редина М.М. экономика природопользования. М., Изд. РУДН. 2002. 216 с
91. Семенова И. И. Разработка программно-аналитического комплекса для контроля состояния линейной части магистральных нефтегазопроводов в условиях коррозионного износа. Кандидатская диссертация. спец. 05.11.13. Омск. 2002г.

92. დ. ნამგალაძე. მაგისტრალური ნავთობგაზსადენების საინჟინერო და ეკოლოგიური უსაფრთხოების ამოცანები. თბილისი. “ტექნიკური უნივერსიტეტი”. 2012.155 გვ
- 93.Агроскин И.И., Дмитриев Г.Т., Пикалов Ф.И.. Гидравлика. М., Л., Госэнергоиздат. 1954.
- 94.Бронштейн И.Н., Семендяев К.А., Справочник по математике. М., Наука, Лейпциг, Тойбнер. 1981
- 95.Gochitashvili T.,Namgaladze D., Lomidze I. Pipeline Transport of Caspian Petroleum Through the Caucasian Corridor of Energy Sources and Method of Definition Rheological Parameters of oil//Engineering Foundation Conference-Rheology in the Mineral Industry 11, March 14-19, 1999, Oahu, Hawaii, USA, p.219-228.
96. Бибик Е.Е. Реология дисперсных систем. Л., 1981
97. Рейнер М. Реология. М., 1965
98. Абдураимова Л.А., Ребиндер П.А.. Серб-Сербина Н.Н. Колл. журнал. 1955. 17. № 2. с. 184
99. Barnes Н.А. A Handbook of Elementary Rheology. Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics. University of Wales. Aberswyth. 2000
100. Bingham E.C. Fluidity and plasticity. N.Y. 1922
- 101.Губин В.Е. Ламинарное течение вязкой жидкости в начальном участке каналов и труб/В кн. Трубопроводный транспорт нефти. ВНИИСПТнефть. Вып. 28. 1977. с 17-22.
- 102.Губин В.Е., Губин В.В. Трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов.М.:Недра. 1982. 296 с.
- 103.Чарный И.А. Движение реальной жидкости в трубах. М.:Недра. 1975. 401 с.
- 104.Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. М.:Недра. 1975. 288 с.
105. Мирзаджанзаде А.Х. и др. Гидродинамика транспорта нефти и нефтепродуктов. М., Недра. 1984. 287 с
106. Casson N.A. Rheol. of disperse systems. Ed. C.C. Mill. L. 1959. p 84
107. Hershell W.H., Bulkey R. Konsistenzmessungen von Gummi-benzollosungen. Kolloid zeitschrift. 1926. 39 s 291
108. Смольский Б.П., Шульман З.П., Гориславец В.Н. Реодинамика и теплообмен нелинейно вязкопластичных материалов. Минск. 1975
109. Cross M. J. Coll. Sci. 1965. 20. p 417
110. Sisko A.W. Ind. End. Chem. 1958. 50. # 12. p 1789
111. Шрамм Г. Основы практической реологии и реометрии. М., 1992
112. Barnes Н.А., Walters K. Rheol. Asta. 1985. 24. # 4. p 323
113. Hunter R.J. Foundations of Cojjoid Science. 1955. 2. p 922
114. Yih-Shen Lin, ta-JoLiu, Ning-Jo. J. Appl. polymer Sci. 1991. 42. p 1767
115. Фрейндлих Г. Тиксотропия. М., 1939
116. Green H., Weltmann R. Ind. Eng. Chem. 1949. 15. # 3. p 1122
117. Мидлман С. Течение полимеров. М., Мир. 1971
118. Огибалов П.М., Мирзаджанзаде А.Х. Механика физических процессов. Изд-во МГУ. 1976
119. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. М., Мир. 1973
120. Великовский Д.С. и др. Консистентные смазки. М., Химия. 1966

121. ი. ლომიძე, თ. კიზირია. რეოლოგიური მოდელის შერჩევა ანომალური თვისებების მქონე ნავთობებისათვის დისკრიმინაციის მეთოდით. თბილისი “ენერჯია”. 2005. №2
122. Ломидзе Ю.Б., Кизирия Т.И. Уточнение модели касательных напряжений для нефтей с аномальными реологическими свойствами, методом дискриминации. Тбилиси. GEN. 2005. №2
123. Тавастшерна Р.И. Изготовление и монтаж технологических трубопроводов: уч. для техникумов. 2-е изд. М.. Стройиздат. 1986. 286 с
124. Иванцов О.М. Высоконадежный трубопроводный транспорт. Трубопроводный транспорт (теория и практика) 2006. М., №4 (6). сс 14-22
125. Фолиянц А.Е., Мартынов Н.В., Серебряный В.Б., Самохин Ю.Н. Эксплуатация и ремонт технологических трубопроводов под давлением до 10МПа (100 кгс/см²). М., Химия. 1988. 288 с
126. Тарарычкин И.А., Слободянюк М.Э. Структурный анализ систем трубопроводного транспорта. Трубопроводный транспорт (теория и практика) 2011. М., №1 (23). сс 36-38
127. Тарарычкин И.А., Нечаев Г.И. Характеристик трубопроводных систем от эксплуатационных надежности структурных элементов. Трубопроводный транспорт (теория и практика). № 4 (26). М., 2011. сс 36-40