

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ქეთევან ბერიკაშვილი

მიწისქვეშა გაწყოვანებულ ფენაში არსებული გაზსაცავების
ექსპლუატაციის უსაფრთხოების გამოკვლევა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორ ე რ ა ტ ი

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0713

თბილისი

2025 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკის ფაკულტეტი
ჰიდროენერგეტიკისა და მაგისტრალური სამილსადენო სისტემების
დეპარტამენტი

ხელმძღვანელები: პროფესორი თ. კიზირია; პროფესორი ლ. შატაკიშვილი

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2026 წლის "-----" "-----" "-----" საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის
სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი VIII,
სხდომათა დარბაზი.

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი,
პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

მიწისქვეშა გაზსაცავი ყველა ქვეყნისთვის, რომელიც მოიხმარს ბუნებრივ გაზს და განსაკუთრებით ისეთი ქვეყნისთვის, რომელიც შიდა მოხმარების თითქმის 99%-ის დასაკმაყოფილებლად ბუნებრივი გაზის იმპორტს ახორციელებს, შეიძლება ითქვას, რომ სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია. წლებია საქართველოს გააჩნია მიზანი, რომ განხორციელდეს მიწისქვეშა გაზსაცავის პროექტი, რომელიც გააძლიერებს ქვეყნის ეკონომიკურ სტატუსსა და მდგრადობას. მიწისქვეშა გაზსაცავის მშენებლობით ქვეყანა მიიღებს სტრატეგიული მნიშვნელობის ობიექტს, რომელიც უზრუნველყოფს ენერგეტიკულ უსაფრთხოებას, მომხმარებლისთვის გაზის უწყვეტ და საიმედო მიწოდებას, მოახდენს დივერსიფიცირებას კრიტიკულ სიტუაციებში გაზის მიწოდების შეფერხების შემთხვევაში. გაზსაცავის საშუალებით შესაძლებელი იქნება დარეგულირდეს ბუნებრივი გაზის მიწოდებასა და მოხმარებას შორის არსებული სეზონური დისბალანსი, მოხდეს ახალი სატრანზიტო პროექტების განხორციელების ხელშეწყობა. გაზსაცავი მნიშვნელოვანია ბაზარზე მონოპოლიის წარმოქმნის პრევენციის მიზნით, საქართველოში ბუნებრივი გაზის ბაზრის ლიბერალიზაციის პროცესისთვის. პროექტის განხორციელება ხელს შეუწყობს ახალი სამუშაო ადგილების გაჩენას, ადგილობრივი ბაზრის ინტეგრაციას ევროპულ ბაზართან.

მიწისქვეშა გაზსაცავის აგება და მისი ექსპლუატაცია წარმოადგენს გაზის ინდუსტრიის განვითარების ერთ-ერთი პრიორიტეტულ მიმართულებას. მიწისქვეშა გაზსაცავების ექსპლუატაციის შექმნისა და ექსპლუატაციის ეფექტიანობის გაზრდის საკითხის ოპერატიული გადაწყვეტა უნდა მოხდეს გეოლოგიური მოდელების საფუძველზე.

მიწისქვეშა გაზსაცავების შექმნისა და ციკლური ექსპლუატაციის ყველა პროცესს გააჩნია მონაცვლეობითი ხასიათი, ხოლო გაზის ხელოვნური საზადოების საცავის ფორმირებისას დრო შეუთავსებელია საზადოს ფორმირების ხანგრძლივობასთან. აქედან გამომდინარე, ბუნებრივი რეზერვუარების გეოლოგიური სტრუქტურის გავლენის თავისებურებების შესწავლა მიწისქვეშა

გაზსაცავების ობიექტების შექმნა და ექსპლუატაცია წარმოადგენს აქტუალურ კვლევას.

რეგიონის მასშტაბით, არსებობს გაზსაცავების გამოყენების დიდი პრაქტიკა. მათ შორის აზერბაიჯანში, ირანში, სომხეთში, რუსეთში, უკრაინაში, ბულგარეთში, რუმინეთსა და თურქეთში. ყველა ქვეყნისთვის გაზსაცავის მშენებლობის მიზანია სტრატეგიული რეზერვების შექმნა და ბუნებრივი გაზის მიწოდებაში სხვადასხვა სახის რისკების დაზღვევა. ამასთანავე, გაზსაცავში ჩაჭირხნული გაზის გამოყენება შესაძლებელია კომერციული მიზნებისთვისაც. გამოფიტული გაზისა და ნავთობის საბადოებში და განსაკუთრებით წყლოვან ფენებში მიწისქვეშა გაზსაცავების ობიექტების შექმნისას, თუნდაც მაღალი ფილტრაციული თვისებებით, კოლექტორები ხასიათდება როგორც მნიშვნელოვანი არაერთგვაროვნების დამაბალანსებელი არეალი.

საქართველოს საწვავისა და ენერგეტიკული კომპლექსის ერთ-ერთი ძირითადი ელემენტია გაზმომარაგების სისტემა, რომელიც წარმოადგენს მაგისტრალური და ქსელური გაზსადენების მთლიანობას, მიწისქვეშა გაზსაცავისა და განაწილების სისტემების ურთიერთდაკავშირებული ობიექტების კომბინაციას.

საქართველოში გაზის მოხმარების სეზონური უთანაბრობების დაფარვის პრობლემა შეიძლება გადაიჭრას მიწისქვეშა გაზსაცავის სისტემის შექმნით, რომლებიც განთავსდება გამანაწილებელ ქსელთან ახლოს, უზრუნველყოფს მცირე მოცულობის ოპერატიული რეზერვების ამუშავებას ცივი ზამთრის პერიოდში და მომარაგების საიმედოობის გაზრდას. ამასთანავე, წახალისებს და ხელს შეუწყობს სხვადასხვა რეგიონის გაზმომარაგების რეზერვების საჭიროების შემდგომ განვითარებას.

საქართველოში მიმდინარე ენერგეტიკული რეფორმის ფარგლებში მიმდინარეობს ბუნებრივი გაზის ბაზრის ლიბერალიზაციის პროცესი. ღია ბაზარზე გაზსაცავის არსებობა მნიშვნელოვან და მოთხოვნილ ფაქტორად განიხილება. ბაზრის ლიბერალიზაციის პროცესისათვის, საქართველოს მთავრობის მიერ დამტკიცდა ბუნებრივი გაზის ბაზრის კონცეფცია, რის შემდეგაც საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისია მიიღებს დადგენილებებს, ახალი ბაზრის ფუნქციონირების წესებს.

ექსპერტული მოსაზრებებით, გაზსაცავი ხელს შეუწყობს სატარიფო განაკვეთების სტაბილურობასა და გრძელვადიან პერსპექტივაში, მოხმარების ტარიფების კლების ტენდენციას.

წინამდებარე სადისერტაციო ნაშრომი განიხილავს მიწისქვეშა წყლოვან ფენაში არსებული გაზსაცავების ექსპლუატაციის უსაფრთხოების გამოკვლევას, რომლის მიზანია დადგინდეს, თანამედროვე ტექნოლოგიური საშუალებებითა და ხელოვნური ინტელექტის საშუალებით გაზსაცავის საიმედოობისა და უსაფრთხოების ნორმების დაცვით გაზსაცავის ეფექტიანი მართვისა და გამოყენების შესაძლებლობა.

კვლევის აქტუალობა და პრაქტიკული მნიშვნელობა წინამდებარე ნაშრომი იკვლევს გამოფიტულ ნავთობისა და გაზის კონდენსატის საბადოში მიწისქვეშა გაზის საცავის შექმნის ეფექტურობის გაზრდა გაზის შენახვის პროცესების მართვის მეთოდების შემუშავებით. ამგვარად, სადისერტაციო ნაშრომის მიზანია ტექნოლოგიური რეჟიმების ოპტიმიზაცია, რომლებიც ამცირებს გარემოზე ზემოქმედებას და უზრუნველყოფს გარემოსდაცვითი კონტროლის სისტემის შემუშავებას მიწისქვეშა გაზსაცავების ეფექტიანი და პროდუქტული ფუნქციონირებისთვის.

სადისერტაციო კვლევის მეთოდოლოგია და მეთოდები. მიწისქვეშა გაზსაცავების შექმნისა და ექსპლუატაციის რეგულირების არსებული მეთოდები; ბუნებრივი და ხელოვნური გავლენების, გაზსაცავების ნაკლოვანებების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირებისას ჭაბურღილში სითხეების შემოდიდებაზე, წნევის რეგულირებაზე მიწისქვეშა გაზსაცავების ექსპლუატაციის მონიტორინგის მეთოდები; სავსე მონაცემების მონიტორინგი და მათი ანალიზი მიწისქვეშა გაზსაცავის შექმნისას.

კვლევის ძირითადი მიზნები:

- შემუშავებულია მეთოდოლოგია მიწისქვეშა გაზსაცავების ციკლური მუშაობის შედეგების გამოყენებისათვის მიწისქვეშა გაზსაცავების სისტემის მუშაობის უწყვეტი მონიტორინგისა და დიაგნოსტიკის განსახორციელებლად;
- შემოთავაზებულია მიწისქვეშა გაზსაცავების ციკლური მუშაობის პარამეტრების მეთოდები გასაანალიზებლად, რაც საშუალებას იძლევა მიღებულ

იქნეს სამეცნიერო დასაბუთებული დასკვნა ბუფერული გაზის დანაკარგების ან მათი არარსებობის შემთხვევაში; ბუფერული გაზის მოცულობის შეფასება მიწისქვეშა გაზსაცავებში.

- შემუშავებულია გაზის გადაცემის პროცესის მოდელი, რომლის ფარგლებშიც შეთავაზებულია გაზსაცავიდან გაზის გამანაწილებელ ქსელში გადატვირთვის მოდელი;

- ჩამოყალიბდა განზოგადებული დასკვნები და შეიქმნა პრაქტიკული რეკომენდაციები მიწისქვეშა გაზსაცავების ფუნქციონირების გასაუმჯობესებლად.

სამეცნიერო სიახლე. დისერტაციის სამეცნიერო სიახლეა საქართველოს პირობებისათვის პირველად განხილული მიწისქვეშა გაზსაცავების ფუნქციონირების მოდელი წყალშემცველ ქანებში, რომელთა დისტანციური ექსპლუატაცია და ტექნიკური მდგომარეობის მონიტორინგი განხორციელდება უსაფრთხოების ჭკვიანი სისტემების საშუალებით. აღნიშნული უზრუნველყოფს გაზის შენახვის ოპტიმიზაციას და ხელს შეუწყობს გარემოზე ზემოქმედების რისკების შემცირებას.

მიღებული შედეგების **პრაქტიკული ღირებულება** მდგომარეობს ამ შედეგების უშუალო გამოყენების შესაძლებლობაში მიწისქვეშა გაზსაცავების ექსპლუატაციის პრაქტიკაში მათი მუშაობის ოპერატიული მონიტორინგისთვის (კერძოდ, მიწისქვეშა გაზსაცავებში გაზის მოცულობის ინვენტარიზაციისთვის, გამოვლენისა და პრევენციის მიზნით. გაზის შესაძლო დანაკარგები გაზის სხვა ჰორიზონტებზე გადინებისა და გაჟონვის გამო) და მიღებული ტექნოლოგიური გადაწყვეტილებების დასაბუთება.

კვლევის ძირითადი შედეგები და შედეგების გამოყენების სფერო.

კვლევის ძირითად შედეგს წარმოადგენს წყალშემცველ ქანებში გაზსაცავების ექსპლუატაციის ოპერატიული მონიტორინგი, რომელიც იძლევა შესაძლებლობას, რომ ე.წ. ჭკვიანი ადრიცხვის სისტემით მოხდინოს გაზსაცავის ექსპლუატაციის სრული ციკლის განმავლობაში მისი ეფექტიანი მართვა:

- გაზის მოცულობის ინვენტარიზაცია;
- რისკების ადრეულ ეტაპზე გამოვლენა და პრევენცია;

- გაზის შესაძლო დანაკარგების კონტროლი და მყისიერი რეაგირების შესაძლებლობა;

- გამანაწილებელ ქსელში გაზსაცავში ჩაჭირხნილი მუშა მოცულობის გაშვებისას წნევის კონტროლი ჰკვიანი აღრიცხვის მექანიზმებით;

- ავარიული გათიშვის აუცილებლობისას, პროგრამული უზრუნველყოფა;

- სისტემის პარამეტრების კონტროლი რეალურ დროში.

კვლევის ძირითადი შედეგების გამოყენების სფეროს წარმოადგენს ბუნებრივი გაზის სექტორი, სადაც ბაზრის ლიბერალიზაციისა და საქართველოს მთავრობის მიერ დამტკიცებული „ბუნებრივი გაზის ბაზრის კონცეფციის“ შესაბამისად, ბუნებრივი გაზის საცავი წარმოადგენს ბაზრის სუბიექტს და მისი ეფექტური მართვა იძლევა შესაძლებლობას, რომ დაბალანსდეს ბუნებრივი გაზის მიწოდების კუთხით არსებული სეზონური უთანაბრობა, ჰკვიანი მართვის სისტემების საშუალებით მოხდეს დისტანციური მონიტორინგი გაზსაცავის სრული ციკლის ფუნქციონირების პროცესში.

სამუშაოს აპრობაცია. სადისერტაციო ნაშრომის შესრულებისადმი წაყენებული მოთხოვნების შესაბამისად, დისერტაციის თემაზე ჩატარებული კვლევის შედეგები მოხსენებულ იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტზე ჩატარებულ 3 კოლოკვიუმზე, 2 საერთაშორისო კონფერენციაზე და წინასწარ დაცვაზე. გარდა ამისა, დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 5 სტატია. მათ შორის, 3 სტატია გამოქვეყნდა საზღვარგარეთ საერთაშორისო რეფერირებად ჟურნალში.

დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა

სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს 102 ნაბეჭდ გვერდს, 2 ცხრილისა და 14 ნახაზის ჩათვლით და შედგება შესავლის, 4 თავის, დასკვნისა და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისაგან.

ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

სადისერტაციო ნაშრომი შეეხება მიწისქვეშა გაზსაცავების ტექნოლოგიური ოპერირებისა და უსაფრთხოების საკითხებს, განსაკუთრებული აქცენტით ფენური დანაკარგების, გაჟონვის მექანიზმების და სისტემის საიმედოობის მონიტორინგზე. კვლევა ეყრდნობა როგორც თეორიულ, ისე პრაქტიკულ კომპონენტებს და მიზნად ისახავს გაზსაცავის ოპერირების პროცესში დანაკარგების რაოდენობრივ შეფასებასა და მათი გამომწვევი მიზეზების დეტალურ ანალიზს.

ნაშრომში წარმოდგენილია მიწისქვეშა გაზსაცავის ექსპლუატაციის ციკლის მოდელირება, რომელშიც გათვალისწინებულია წნევის, მოცულობისა და ბალანსის მახასიათებლები. განხილულია სხვადასხვა ტიპის გაჟონვის მექანიზმები — როგორც ბუნებრივი, ისე ტექნოგენური, და მათი ზემოქმედება საცავის საერთო ფუნქციონირებაზე. სპეციალური ყურადღება ეთმობა ფენური მიგრაციის, სორბციის, დიფუზიისა და ტექნიკური მოწყობილობების მეშვეობით გაჟონვის ანალიზს.

მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია ჰისტერეზისის დიაგრამების გამოყენებას, რომლებიც აჩვენებს წნევის და მოცულობის ცვლილებებს ციკლურ რეჟიმში, და გამოიყენება როგორც დიაგნოსტიკის ინსტრუმენტი ფარული დანაკარგების იდენტიფიცირებისთვის. აგრეთვე განხილულია ჭაბურღილების ჰერმეტიულობის შეფასების მოდელები და გაჟონვის მათემატიკური აღწერის მეთოდები.

კვლევა მოიცავს დისტანციური მონიტორინგის სისტემების არქიტექტურას და გაჟონვის აღმოჩენის ალგორითმულ მოდელებს, რომელთა მეშვეობით შესაძლებელია რეალურ დროში მონაცემთა მიღება, ანალიზი და გადაწყვეტილებების მიღება. ცალკე გამოყოფილია სტატისტიკური იდენტიფიკაციის და LSTM ტიპის ნეირონული ქსელების გამოყენების შესაძლებლობა გაჟონვის პროგნოზირებისა და პრევენციისთვის.

ნაშრომი ეფუძნება ინოვაციურ მეთოდოლოგიას, რომელიც აერთიანებს მრავალფაზიან ფიზიკურ პროცესებს, გეოლოგიურ თავისებურებებსა და მათემატიკურ გამოთვლებს, რაც ქმნის მდგრადი და უსაფრთხო ექსპლუატაციის საფუძველს.

ჩატარებული კვლევების შედეგები ადასტურებს, რომ მიწისქვეშა გაზსაცავების ეფექტიანი მართვა თანამედროვე ენერგეტიკული უსაფრთხოების ერთ-ერთ საკვანძო ელემენტს წარმოადგენს და საჭიროებს როგორც არსებული გამოცდილების სისტემატიზაციას, ისე ახალი რეგულირების მეთოდების შემუშავებას.

ნაშრომში შესრულებული ანალიზისა და საერთაშორისო პრაქტიკის განზოგადების საფუძველზე დასაბუთებულია მიწისქვეშა გაზსაცავების შექმნისა და ექსპლუატაციის მეთოდების კლასიფიკაცია, რაც ხელს უწყობს მათი ტექნოლოგიური თავისებურებების უკეთ გააზრებასა და ოპტიმალური გადაწყვეტილებების მიღებას.

დადასტურებულია, რომ მიწისქვეშა გაზსაცავების ციკლური მუშაობის პროცესში მიმდინარე მონაცემების დიაგრამების სახით წარმოდგენა, წარმოადგენს ოპერატიული მონიტორინგისა და ექსპლუატაციის ანალიზის ერთ-ერთ ყველაზე ინფორმაციულ ინსტრუმენტს. აღნიშნული მეთოდი ზრდის მართვის პროცესის სიზუსტეს და ამცირებს ტექნოლოგიური რისკების წარმოშობის ალბათობას. ასევე, შემუშავებული მეთოდიკა გაზის ოდენობის განსაზღვრისათვის, რომელიც წყლიან ფენაში გამოდის გაზსაცავის სიღრუიდან, წარმოადგენს პრაქტიკულად გამოსადეგ ინსტრუმენტს ექსპლუატაციის პროცესში დანაკარგების შეფასებისათვის.

კვლევის ფარგლებში დადგენილია, რომ ბუფერული გაზის მოცულობის შემცირება იწვევს ფენაში წნევის რხევების ამპლიტუდის ზრდას და დეპრესიის გაძლიერებას გაზის ჩაჭირხვნისა და ამოღების დროს. შესაბამისად, დეპრესიის შემცირების მიზნით რეკომენდებულია აქტიური გაზის მოცულობის ოპტიმიზაცია, რაც უზრუნველყოფს გაზსაცავის უფრო სტაბილურ და უსაფრთხო მუშაობას. ჰისტერეზისის დიაგრამების ანალიზზე დაფუძნებული ტექნიკის გამოყენებით შესაძლებელი გახდა მიწისქვეშა გაზსაცავების ციკლური მუშაობის ისეთი მნიშვნელოვანი პარამეტრების განსაზღვრა, როგორიცაა კონტურული წნევა, გაზით გაჯერებული ფორების მოცულობა და მიგრირებული წყლის რაოდენობა.

ნაშრომში აღწერილი ჭაბურღილების ჰერმეტიკულობის შეფასების მეთოდი და გაზის დანაკარგების გაანგარიშების ახალი მიდგომები მნიშვნელოვნად აფართოებს მიწისქვეშა გაზსაცავების ექსპლუატაციის თეორიულ და პრაქტიკულ

საფუძვლებს. მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც მოქმედი გაზსაცავების ოპტიმიზაციისათვის, ისე ახალი ობიექტების პროექტირების პროცესში, რაც განაპირობებს ნაშრომის მაღალ სამეცნიერო და პრაქტიკულ ღირებულებას.

სადისერტაციო ნაშრომი შედგება 4 თავისაგან, რომელიც დაყოფილია 18 ქვეთავად. პირველი თავი – **„მიწისქვეშა გაზსაცავების ლიტერატურული წყაროების მიმოხილვა და ანალიზი“** – მიმოხილავს მიწისქვეშა გაზსაცავების ფუნქციონირების, დაგეგმვისა და რეგულირების საკითხებს, მათ შორის საერთაშორისო და ეროვნული პრაქტიკის, კანონმდებლობისა და სამეცნიერო-ტექნიკური ლიტერატურის საფუძველზე. თავი მოიცავს როგორც საქართველოსთვის დამახასიათებელ საკანონმდებლო ჩარჩოს, ისე ევროკავშირის წევრ და პარტნიორ ქვეყნებში ჩამოყალიბებულ მიდგომებს, რაც უზრუნველყოფს მიწისქვეშა გაზსაცავების განვითარებას, ოპერირებასა და უსაფრთხოების ნორმების დაკმაყოფილებას.

საქართველოში მოქმედი კანონმდებლობის მიხედვით, ბუნებრივი გაზის საცავის ფუნქციონირება რეგულირდება „ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების შესახებ“ საქართველოს კანონით, რომელიც აწესებს დაშვების პირობებს, საცავის ოპერატორის ავტორიზაციისა და განცალკევების წესებს. ბუნებრივი გაზის საცავის ოპერატორი ვალდებულია იყოს დამოუკიდებელი სხვა ისეთი საქმიანობებისგან, რომლებიც არ უკავშირდება გადაცემას, განაწილებას ან შენახვას. მარეგულირებელი კომისია ახორციელებს ლიცენზიების გაცემას, განსაზღვრავს შესაბამის კრიტერიუმებს და პასუხისმგებელია საცავის სისტემური ოპერირების ზედამხედველობაზე. აღნიშნული კანონმდებლობა მიზნად ისახავს როგორც კონკურენტული ბაზრის შექმნას, ისე მიწოდების უსაფრთხოების, გამჭვირვალობისა და მომხმარებლის დაცვის უზრუნველყოფას.

ბუნებრივი გაზის ბაზრის სამიზნე მოდელი, რომელიც დამკვიდრებას გეგმავს საქართველოში, ითვალისწინებს ლიბერალიზებულ ბაზარს, სადაც ბუნებრივი გაზის საცავი ერთ-ერთი ძირითადი ინსტრუმენტია მიწოდებისა და მოხმარების დაბალანსებისთვის. საცავის არსებობა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია იმ პირობებში, როდესაც გაზის იმპორტის წყაროების შეწყვეტის

ან შემცირების რისკი მაღალია. საცავი ქმნის შესაძლებლობას სეზონური დისბალანსის კორექტირებისთვის, პიკური მოთხოვნის დაკმაყოფილებისა და მომხმარებლის უწყვეტი მომარაგების უზრუნველსაყოფად. გარდა ამისა, საქართველოს ენერგეტიკის ბაზრის მონიტორინგისა და ანგარიშგების წესებით განსაზღვრულია, რომ საცავის სისტემის ოპერატორების მიერ არაგეგმური წყვეტების შესაცვლელად განხორციელებული გარიგებები გათავისუფლებულია ვაჭრობის შეზღუდვებისგან.

ბუნებრივი გაზის ბაზრის მოდელის კონცეფცია და მარეგულირებლის მიერ მომზადებული საბითუმო ბაზრის ახალი წესები ასევე ითვალისწინებენ საცავის სისტემის ოპერატორის როლს ბაზრის დაბალანსების მექანიზმში. საცავის ოპერატორი უნდა ახორციელებდეს ტექნიკურ და კომერციულ ოპერაციებს კანონით განსაზღვრული წესებით. აღსანიშნავია, რომ საცავის ექსპლუატაციაში შესვლისთანავე უნდა ამოქმედდეს შესაბამისი პასუხისმგებლობები, რაც შეეხება წვდომას, ტარიფებს და სხვა მომხმარებლებთან ურთიერთობას.

მიწისქვეშა გაზსაცავების თაობაზე სამეცნიერო ლიტერატურა მრავალფეროვანია და მოიცავს როგორც თეორიულ-მოდელურ, ისე გამოყენებით და ტექნოლოგიურ ასპექტებს. ნაშრომის პირველ თავში განხილულია როგორც ბუნებრივი გაზის მოხმარების ზრდის ტენდენცია საქართველოში, ასევე სექტორის განვითარებისათვის განხორციელებული შესაბამისი მსხვილი ინფრასტრუქტურული პროექტები. გარდა ამისა, საუბარია ბუნებრივი გაზის ახალი ბაზრის მოდელის კრილში გაზსაცავის როლის შესახებ და აღნიშნული მიმართულებით განხილულია სხვადასხვა საერთაშორისო ინსტიტუციების ექსპერტილუ შეფასებები და მოსაზრებები.

მეორე თავი, „მიწისქვეშა გაზსაცავების რეტროსპექტული ანალიზი“, განიხილავს მიწისქვეშა გაზსაცავების განვითარების ისტორიულ ასპექტებს, ტექნიკურ მახასიათებლებსა და მათი ექსპლუატაციის პრაქტიკულ გამოცდილებას, რაც მნიშვნელოვანია საქართველოს მომავალი ინიციატივების დაგეგმვისთვის. ნაშრომში აღნიშნულია, რომ გაზის შენახვის დამატებითი შესაძლებლობების შექმნის საჭიროება უზრუნველყოფს მომხმარებლების გაზმომარაგების უფრო მოქნილ და ეფექტურ რეგულირებას. თუ ბუნებრივ გაზზე

მოთხოვნა მკვეთრად გაიზრდება, მაშინ გაზსაცავში ჩაჭირხნილი გაზის გამოყენებით შესაძლებელი გახდება ქვეყნის შიდა მოხმარების დაკმაყოფილება, რასაც საკმაოდ დიდი პრაქტიკა აქვს როგორც ევროკავშირის წევრ ქვეყნებში, ასევე მსოფლიოს მასშტაბით სხვადასხვა სახელმწიფოში.

ათწლეულების განმავლობაში არსებულმა პრაქტიკამ აჩვენა, რომ მიწისქვეშა საცავი არის გაზის მომარაგების საიმედოობის აპრობირებული და ყველაზე ეფექტური მეთოდი, რომელიც საშუალებას იძლევა გადაწყდეს მომარაგების ნაწილში არსებული გამოწვევები. აღნიშნული დაკავშირებულია გაზის უთანაბრო მოხმარების (სეზონური, ყოველდღიური, საათობრივი) რეგულირებასთან და გაზმომარაგების შემცირებასთან (არანორმალურად ცივ ზამთარში). საქართველოში მიწისქვეშა გაზსაცავის მშენებლობაზე საუბარი ჯერ კიდევ მე-20 საუკუნეში დაიწყო. თუმცა, დღემდე ჩვენს ქვეყანას საცავი არ გააჩნია. 2008 წელს, საქართველოს ენერგეტიკის სამინისტრომ ათასწლეულის გამოწვევის ფონდთან ერთად (MCC) კომპანია Ramboll Oil & Gas (ROG)-ს მიანიჭა უფლებამოსილება ჩაეტარებინა დაახლოებით 300 მილიონი კუბური მეტრის საპროექტო მოცულობის მიწისქვეშა გაზსაცავის წინასამშენებლო საპროექტო სამუშაოები, სამხრეთ-აღმოსავლეთ საქართველოში, კერძოდ, ნინოწმინდაში. საქართველოს მთავრობის დავალებით განსაზღვრული იყო გაზსაცავის პროექტის FEED (Front End Engineering Design) მომზადება, ე.წ. საწყისი საინჟინრო პროექტირება. პროექტი არ განხორციელებულა.

ნაშრომში მიმოხილულია ევროკავშირის წევრი ქვეყნების პრაქტიკული გამოცდილება, განხილულია ამერიკის შეერთებული შტატების მაგალითი. მეორე თავში მიმოხილულია მიწისქვეშა გაზსაცავის კლასიფიკაცია და ექსპლუატაციის მეთოდები. გაზსაცავში ბუფერული გაზის დანახარჯების ანაზღაურების მეთოდები და მათი ტექნიკურ-ეკონომიკური პარამეტრები. მიწისქვეშა გაზსაცავებში ბუფერული გაზის დანახარჯების ანაზღაურების სწორი მეთოდოლოგიის განსაზღვრა წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან საკითხს ბუნებრივი გაზის ინვესტიციური და სტრატეგიული მართვის თვალსაზრისით.

მესამე თავი, „საქართველოში მიწისქვეშა გაზსაცავის საჭიროების კვლევა“, ეხება იმ საფუძვლებსა და ანალიზებს, რომელთა მიხედვითაც განისაზღვრა

საქართველოში მიწისქვეშა გაზსაცავის შექმნის აუცილებლობა. ნაშრომი იწყება 1990-იანი წლებიდან მოყოლებული განხორციელებული კვლევების მიმოხილვით, რომლის ფარგლებშიც გამოიკვეთა რამდენიმე პოტენციური ლოკაცია. ერთ-ერთი მთავარი პროექტი, რომელიც განხორციელდა ათასწლეულის გამოწვევის ფონდის (MCC) და კომპანია Ramboll Oil & Gas-ის მონაწილეობით, შეეხებოდა ნინოწმინდას. დაგეგმილი იყო მიწისქვეშა გაზსაცავის მშენებლობა 450 მილიონი კუბური მეტრის მოცულობით. პროექტისთვის მომზადდა სკოპინგის დოკუმენტი გარემოზე ზემოქმედების შეფასების მიზნით და დაიგეგმა მისი დასრულება 2011 წლისთვის, თუმცა საბოლოოდ პროექტი არ განხორციელდა.

გარდა ამისა, თავი ეხება განახლებადი ენერგიის სისტემებში გაზსაცავის ინტეგრაციის მნიშვნელობასაც. განახლებადი წყაროების ინტენსიური განვითარების პარალელურად, გაზსაცავები შეიძლება იქცეს სისტემის სტაბილიზაციის ინსტრუმენტად, რომელიც უზრუნველყოფს ენერგიის მიწოდებას მაშინაც კი, როცა განახლებადი რესურსების გამომუშავება ნაკლებია.

განხილულია ასევე ბუნებრივი გაზის შენახვის გლობალური პრაქტიკები, მათ შორის მიწისქვეშა და მიწისზედა საცავები. ფოკუსი კეთდება მარილის კავერნებში მოწყობილი საცავების უპირატესობაზე, განსაკუთრებით იმ მხრივ, რომ მათ გააჩნიათ მაღალი ჰერმეტიულობა და რეაგირების სისწრაფე, რაც მათ იდეალურ ალტერნატივად აქცევს პიკური დატვირთვის მოსაგვარებლად.

მესამე თავი სრულდება გათხევადებული ბუნებრივი გაზის (LNG) მზარდი როლის აღწერით. ტექსტში მოყვანილია სტატისტიკა, რომლის მიხედვითაც ევროკავშირში თხევადი ბუნებრივი გაზის იმპორტმა რეკორდულ მაჩვენებლებს მიაღწია. LNG-ის პოპულარობა უკავშირდება მის ტექნიკურ უპირატესობებს – ის იკლებს მოცულობაში 600-ჯერ და შესაძლებელია გლობალურად ტრანსპორტირება. საქართველოსთვის LNG შესაძლოა წარმოადგენდეს კარგ საშუალებად დივერსიფიკაციისთვის, რაც შეამცირებს დამოკიდებულებას აზერბაიჯანულ და რუსულ მილსადენზე. თუმცა პროექტის განხორციელებას სჭირდება ეკონომიკური მიმზიდველობის დეტალური ანალიზი და შესაფასებელია მისი პოტენციური რეგიონისთვის, მათ შორის სომხეთის ბაზრის გათვალისწინებით.

მთლიანობაში, მესამე თავი ასახავს საქართველოში ბუნებრივი გაზის შენახვის საჭიროებას, ტექნიკურ შესაძლებლობებსა და გამოწვევებს, ეკონომიკურ და ენერგეტიკულ სარგებელს, რაც საფუძველს ქმნის შემდგომი ნაბიჯების გადადგმისთვის.

მეოთხე თავი „მიწისქვეშა გაზსაცავის ექსპლუატაციის თავისებურებები, გაზის გაჟონვის მექანიზმების შესწავლა და დანაკარგების რაოდენობრივი შეფასება“ მოიცავს მიწისქვეშა გაზსაცავის ტექნოლოგიური პროცესების, მუშაობის ციკლის, გაჟონვის ძირითად მექანიზმებისა და მათი რაოდენობრივი შეფასების მრავალმხრივ ანალიზს. ნაშრომში წარმოდგენილია გაზსაცავის ექსპლუატაციის მოდელები, მათემატიკური გამოთვლები და ჭაბურღილების პერმეტულობისა და გაჟონვის დიაგნოსტიკის მიდგომები.

ნაშრომში განხილულია წყლოვან ფენაში შენახვის ექსპლუატაციის დროს არსებული რისკები. მათ შორის გაზის შეღწევის შესაძლებლობა დაბალი გამტარობის კოლექტორებში. წყლოვან ფენაში ეს პროცესი ხორციელდება წყლის გამოძევებით ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში.

ნავთობისა და გაზის საბადოების გარდამავალი ზონის ზომისა და სტრუქტურის შესაფასებლად, როგორც წესი, გამოიყენება გეოფიზიკური მეთოდები. აგრეთვე შეგვიძლია ვისარგებლოთ წყლის გაჯერების ექსპერიმენტული გასაშუალოების მეთოდით, ზევიდან გამოდევნილი წყლის გადაადგილებით ფორული წნევის მიღებული დამოკიდებულებით, რაც საშუალებას მოგვცემს დაახლოებით განისაზღვროს ნავთობის და წყლის განაწილება ვერტიკალური მიმართულებით, აგრეთვე გარდამავალი ზონის საშუალო წყლით გაჯერება.

ნაშრომში აღნიშნულია, რომ გაჟონვები ხდება ყოველთვის, საჭიროა მათი დროულად გამოვლენა და განეიტრალება, საგანგებო სიტუაციების თავიდან ასაცილებლად. საუკეთესო სამეცნიერო და ტექნიკური გამოსავალია ავტომატიზებული მონიტორინგის სისტემების გამოყენება.

გამოთვლების თანახმად, ბუნებრივი მიწისქვეშა გაზსაცავების ექსპლუატაციისას მეთანის ემისიების 70% გამოწვეულია გაჟონვით - ძირითადად კომპრესორის კვანძებიდან. მექანიკური და თერმული სტრესით გამოწვეული

უნებლიე გაჟონვები წარმოიქმნება მიწებში, სარქველებში, კომპრესორის შესქელებებში, მილტუჩებში, შემაერთებლებში და სხვა. გაჟონვის ოდენობა დამოკიდებულია მიწისქვეშა გეოლოგიურ და ფიზიკურ პირობებზე, დინამიკურ სამუშაო პირობებზე, ჭაბურღილების ტექნიკურ მდგომარეობაზე და სხვ. აქედან გამომდინარე, არსებობს შენახვის ჰერმეტიულობის დარღვევის შემდეგი მიზეზები: გეოლოგიური, ტექნიკური და ტექნოლოგიური.

ნაშრომში განხილულია გაჟონილი გაზის დანაკარგების ტიპები: გაჟონვა ძველი ჭაბურღილების გარშემო და სხვა ფენაში; გაჟონვა კლდის საფარში; გაჟონვა ხდება დაბალი შეღწევადობის შესქელებების მეზობელ საცავთან მიერთების კავშირებიდან, რომელიც გაზსაცავის ნაწილია; გაჟონვა კლდოვანი ქანების რღვევიდან, რომელიც წარმოიქმნება კოლექტორში წნევის შემცირებისას; გაჟონვა უნაგირის შესქელებებში გაზის გადინებისას; გაჟონვა მიწისზედა მოწყობილობებისა და მილსადენებიდან.

განვიხილოთ მიწისქვეშა გაზსაცავის პარამეტრების მონიტორინგის თეორია ე.წ. ჰისტერეზის ($p/Z-V$) დიაგრამების გამოყენებით.

მიწისქვეშა გაზსაცავებში ჭაბურღილების ჰერმეტიულობის აღსაწერად, ნაშრომში გამოიყენებულია სტანდარტული განტოლება, რომელიც აღწერს ფენაში გაზის მოცულობის ცვლილებას დროში.

$$\frac{dV_t}{dt} = q_t. \quad (1)$$

სადაც V_t არის ფენაში გაზის მოცულობა; t - დრო; q_t - გაზის არსებული (ან ჩაჭირხნული) მოცულობა t დროის ერთეულში. ნაშრომში განვითარებული მსჯელობის შესაბამისად, თუ გაზის ჩაჭირხვნისა და აღების მოცულობები ერთმანეთის ტოლია, მაშინ გაჟონვის არარსებობის შემთხვევაში, ჩაჭირხვნისა და აღების ბოლოს წნევის მნიშვნელობები არ იცვლება. მინიმალური წნევა ციკლიდან ციკლამდე მცირდება, ხოლო ჩაჭირხვნის პერიოდის ბოლოს მაქსიმალური წნევა სისტემატურად იზრდება.

ქვემოთ მოცემული გაანგარიშების მიზანია დადგინდეს დისბალანსი რეალურ და გამოანგარიშებულ პარამეტრებს შორის, მიწისქვეშა გაზსაცავის მახასიათებლების დინამიკის გათვალისწინებით. უნდა აღინიშნოს, რომ თუ

ფენაში მიმდინარე პროცესების შესახებ საკმარისი არ არის ინფორმაცია მაშინ, მიწისქვეშა გაზსაცავის გაზის ან წყლის სადაწნევო რეჟიმში განვითარების მიუხედავად, გაზის დანაკარგების ოდენობის შესაფასებლად, შესაძლებელია რეალური ტექნოლოგიური მაჩვენებლების გამოყენება. გაანგარიშების მიმდევრობა შემდეგია:

პირველი ეტაპი: გაანგარიშების მეთოდის ძირითადი მაჩვენებელია გაჯერებული ფორების მოცულობა, რომელიც გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$\begin{cases} \Omega_i = \frac{Q_{Am}}{\left(\frac{p_H}{Z_H} - \frac{p_K}{Z_K}\right) f}; \\ f = \frac{T_0}{T p_0}. \end{cases} \quad (2)$$

სადაც Q_{Am} - საექსპლუატაციო ციკლის პერიოდში ამოღებული გაზის მოცულობა, მლნ.მ³; Q_i - ფორების მუშა გაზით გაჯერებული მოცულობა, მლნ.მ³; p_H, p_K - ფენაში ფაქტიური გაზომილი და საშუალო შეწონილი წნევა გაზის ამოღების პროცესის დასაწყისში; f - გაზის მოცულობის დაყვანა სტანდარტულ პირობებში ტემპერატურის კოეფიციენტი; p_0, T_0 - წნევისა და ტემპერატურის სტანდარტული მნიშვნელობები; T - ფენის ტემპერატურა, $^{\circ}K$; $Z_H, Z_K - p_H, p_K$ წნევებისას გაზის ზეკუმშვადობის კოეფიციენტები.

თუ გაანგარიშება ხორციელდება ერთი ციკლისთვის, თითოეული ამოღების პროცესისთვის გაზით გაჯერებული ფორების მუშა მოცულობა (Ω_i) გამოითვლება ცალკე. შემდგომში, ამოღების პროცესის ბოლოს გაზის მოცულობა $\sum Q_H^{Saam}$ გამოითვლება შემდეგი ფორმულის შესაბამისად:

$$\sum Q_H^{Saam} = \Omega_i \frac{p_K}{Z_K f}. \quad (3)$$

დადგენისთანავე, იგი უნდა შედარდეს მიწისქვეშა გაზსაცავის გაზის ბალანსთან, მიღებული განსხვავება წარმოადგენს გაზის დისბალანსს.

$$\sum Q_{Dis} = \sum Q_{Bal} - \sum Q_H^{Saam}. \quad (4)$$

მიღებული შედეგი, მიწისქვეშა გაზსაცავის ძირითადი ტექნოლოგიური პარამეტრების გათვალისწინებით, ახასიათებს დისბალანსს გაზის ფაქტიურ (ბალანსს) და გამოანგარიშებულ მოცულობებს შორის.

მეორე ეტაპი: გაზის დანაკარგების განსაზღვრა მიწისქვეშა გაზსაცავის კლდოვანი ქანების სორბციის შედეგად.

ექსპერიმენტული კვლევების შედეგებმა აჩვენა, რომ კლდოვანი ქანების სორბირებული გაზის რაოდენობამ შეიძლება მიაღწიოს 10-15%-ს. გაირკვა, რომ სორბირებული გაზის გავლენა ფილტრაციის მახასიათებლებზე არსებითია და მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული.

ექსპერიმენტულად გაირკვა, რომ სისტემაში წნევის შემცირების შედეგად p_1 -დან p_2 -მდე, წნევა მყარდება ყველა მიკროფორებში, ხოლო მაკროფორებში წნევა იკლებს მეტად ნელა და, შედეგად, მიკროფორებში წნევა თანდათან იზრდება p_2 -დან, $p_3 > p_2$ -მდე. ამასთან დაკავშირებით, სისტემაში წნევა ოდნავ იზრდება δ_p სიდიდით.

მიკროფორებიდან გამოყოფილი გაზის მასა დესორბირებული ფოროვანი მოცულობის ერთეულში განისაზღვრება შემდეგი ფორმულის გამოყენებით:

$$\Delta M_i = \delta p p_0 m / p_0, \quad (5)$$

სადაც p არის გაზის აბსოლუტური სიმკვრივე, ნორმალურ პირობებში. m - გარემოს ფოროვნება.

მაშინ

$$\Gamma = \frac{\Delta M_i}{\Delta p_0} = \frac{\delta p p_0}{p_0 \Delta p} m \quad (6)$$

კლდოვანი ფოროვანი მოცულობის გაანგარიშება ხდება შემდეგი ფორმულის გამოყენებით:

$$\Omega_i = F h m \quad (7)$$

სადაც F არის ფოროვანი ქანის ფართობი, მ²; h - ფოროვანი ქანის სისქე, მ.

ფოროვან გარემოში სორბირებული გაზის მოცულობის გამოსათვლელად შეიძლება გამოყენებულ იქნას შემდეგი ფორმულა:

$$V_s = \Gamma \Omega. \quad (8)$$

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე შეიძლება ითქვას, რომ სორბირებული გაზი თანაბრად ნაწილდება მთელ ფართობზე.

მესამე ეტაპი: ფენის წყალში გაზის დიფუზიის მნიშვნელობის შეფასება.

ბუნებრივი გაზის ველებში, გაზ-წყალთან კონტაქტის სქემის მიღმა, ადგილი აქვს გაზის გახსნას წყალში, ძირითადად, მოლეკულური დიფუზიის მექანიზმის მოქმედების გამო. იმის გათვალისწინებით, რომ ველის არსებობის ხანგრძლივობა იზომება გეოლოგიური მასშტაბებით, გაზის რაოდენობა შეიძლება ჩაითვალოს თითქმის მუდმივად.

სხვაგვარი მდგომარეობაა მიწისქვეშა გაზსაცავების შექმნისა და ექსპლუატაციისას. ამ შემთხვევაში, გაზ-წყლის კონტურის მოძრაობის მიმართულებით პერიოდული ცვლილების, კონვექტური დიფუზია გახსნილ გაზში რომლის სიჩქარეც რამდენიმე რიგით მაღალია ვიდრე მოლეკულური დიფუზიის სიჩქარე.

კონვექტური დიფუზიის მათემატიკური აღწერა რთულია, მაგრამ ის შეიძლება წარმოდგინოთ, როგორც მოლეკულური დიფუზია, გარკვეული ფიქტიური დიფუზიის D_f კოეფიციენტით. იმის გამო, რომ პროცესი მიმდინარეობს გაზ-წყლის კონტურის კონტაქტის შედარებით მცირე მანძილზე, დასაშვებია განტოლებების გამოყენება ბრტყელ-პარალელური დიფუზიისთვის. მაშინ დიფუზიის კოეფიციენტი შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი ფორმულით:

$$D_f = \frac{mX^2\tau}{t}. \quad (9)$$

გახსნილი გაზის რაოდენობის დროზე დამოკიდებულება შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი სახით:

$$V_d(t) = \frac{2mh}{\sqrt{D_f t / \pi}} = \frac{2mh}{C_0 \sqrt{\frac{m\chi^2 t}{\pi}}}, \quad (10)$$

სადაც m არის ფოროვების კოეფიციენტი; h - ეფექტური სიმძლავრე მ; l - გაზ-წყლის კონტურის კონტაქტის სიგრძე, მ; C_0 - კონტურში გახსნილი გაზის ზღვრული კონცენტრაცია, სმ³/ლ; χ - ბუდობის ცენტრიდან კონტურამდე დაშორება, მ; τ - დამოკიდებულების გრაფიკიდან განსაზღვრული პარამეტრი

[27;28], მნიშვნელობების მიხედვით, შემდეგ განისაზღვრება Φ და V , ბოლოს $\ln \tau$ -ს მნიშვნელობა, და საბოლოოდ $\ln \tau$ -ს მნიშვნელობა.

უნდა აღინიშნოს, რომ მიწისქვეშა გაზსაცავის ექსპლუატაციის პროცესში მოლეკულური დიფუზიის გამო, გაზი იხსნება წყალში და ეს შეუქცევადი პროცესია მიწისქვეშა გაზსაცავის შექმნისა და ექსპლუატაციის ტექნოლოგიაში რაც იწვევს ფენის გაზის დანაკარგებს.

მეოთხე ეტაპი: ექსპლუატაციის დროს ფენის წყლით ჩაჭერილი გაზის დანაკარგების განსაზღვრა.

ცნობილია, რომ საბადოების განვითარების პერიოდში, შემდეგ კი მიწისქვეშა გაზსაცავის შექმნისა და ექსპლუატაციისას, წყლის სადაწნევო და, შეიძლება, გაზის რეჟიმშიც კი, გარკვეულ პირობებში, გარე წყლები შედის გაზის ზონაში, რაც იწვევს გაზის გამოდევნას.

ფენიდან გამოდევნილი გაზის მოცულობის განსაზღვრა ხდება მოცულობითი მეთოდით, რომელიც ეფუძნება სტრუქტურულ რუქებს და ჭაბურღილების გეოლოგიური და გეოფიზიკური კვლევების შედეგებს.

გარდა ამისა, თერმოდინამიკური მაჩვენებლების გათვალისწინებით, საბადოს დამუშავების დაწყებიდან გამოფიტვამდე და ქანების გამოფიტვის კოეფიციენტის გამოყენებით განისაზღვრება გაზის შეკუმშული მოცულობა წყლის ფენაში.

ფენის წყალში შეკუმშული გაზის მოცულობის შეფასება ხორციელდება შემდეგი მეთოდის შესაბამისად, კერძოდ ფორმულით:

$$\Omega = 10^4 F h m K_q, \quad (11)$$

სადაც Ω არის კოლექტორების ფორების მოცულობა, მლნ.მ³; F - გაწყლოვებული ზონის ფართობი, 10^4 მ²; h - გაზის-გაჯერებული ეფექტური სისქე, მ; m - კოლექტორების ფოროვების კოეფიციენტი; K_q - კოლექტორების გაზის-გაჯერებული კოეფიციენტი.

განგარიშება ხდება შემდეგი ფორმულით:

$$Q = \Omega \frac{P_{\max}}{Z} \frac{T_0}{T_{p_0}}, \quad (12)$$

სადაც Q - კოლექტორში ფორების მოცულობა, ფენის გაზის წნევისას, მლნ.მ³;

T_0 - სტანდარტული ტემპერატურა ფენის პირობებში, $^{\circ}\text{K}$; $p_0, p_{\max}$ - სტანდარტული და ფენის წნევა, 10 მპა; Z - გაზის ზეკუმშვადობის კოეფიციენტი.

მეხუთე ეტაპი: მიწისქვეშა გაზსაცავის ბუფერული მოცულობის დაზუსტება.

ბუფერული მოცულობა წარმოადგენს იმ მოცულობას, რომელიც მუდმივად გვაქვს მიწისქვეშა გაზსაცავში მისი ექსპლუატაციისას. ბუფერული მოცულობა საჭიროა შენახვის ობიექტში გარკვეული წნევის შესაქმნელად, გაზის ამოღების ბოლოს, ხოლო წნევა კვლავ უზრუნველყოფს შენახვის საცავიდან აუცილებელი გაზის დებიტს; ამცირებს საცავში წყლის გადაადგილებას; ზრდის ჭაბურღილის დებიტს; ამცირებს საკომპრესორო სადგურში გაზის კუმშვის კოეფიციენტს. რაც უფრო მეტია ბუფერული გაზის მოცულობა, მით უფრო მაღალია წნევა საცავში და ცალკეული ჭაბურღილის დებიტი.

მიწისქვეშა გაზსაცავის ბუფერული გაზის რაოდენობის გასარკვევად აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნეს ზემოაღნიშნული, სტატისტიკური ბალანსის დასარეგულირებლად, გაზის ფენის დარჩენილ გაზის მოცულობას უნდა გამოვაკლოთ ჯამური დანაკარგები.

ზემოთქმულის გათვალისწინებით, შემდეგი ფორმულის გამოყენებით, შესაძლოა გამოითვალოს მიწისქვეშა გაზსაცავის ბუფერული გაზის მოცულობა ფენის გაზის-გაჯერებულ მოცულობაში, ახალი წნევის პირობებში.

$$Q_{\text{Buf}} = \Omega \frac{p_{\min}}{Z_{\min}} \frac{T_0}{Tp_0}. \quad (13)$$

გაზსაცავის ექსპლუატაციისას გაზის დანაკარგების შეფასების ჩვენეული მეთოდიკა ტექნიკური და ტექნოლოგიური სირთულეების გათვალისწინებით, შეიძლება გამოყენებულ იქნას რეალური მიწისქვეშა გაზსაცავისათვის.

ნაშრომში განხილულია დისტანციური მართვის სისტემის არქიტექტურა მიწისქვეშა გაზსაცავის მონიტორინგისა და კონტროლისთვის. აღნიშნულია, რომ თანამედროვე ენერგოსექტორში სწრაფად მზარდი ტექნოლოგიური განვითარება აუცილებელს ხდის სანდო, მოქნილი და უსაფრთხო დისტანციური მართვის სისტემების დანერგვას, განსაკუთრებით იმ შემთხვევებში, როდესაც საქმე ეხება

კრიტიკულ ინფრასტრუქტურას, როგორცაა მიწისქვეშა გაზსაცავები. აღნიშნულ კონტექსტში, დისტანციური მართვის სისტემების არქიტექტურა მიზნად ისახავს არა მხოლოდ მიწისქვეშა გაზსაცავის ეფექტურ ოპერირებას, არამედ გაზის ნაკადის რეალურ დროში კონტროლს, ავარიული სიტუაციების პრევენციასა და გეოსივრცულ ანალიზთან ინტეგრირებას.

მიწისქვეშა გაზსაცავის მონაცემთა მიღება რეალურ დროში ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი კომპონენტია სისტემის ეფექტურობისა და უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად. სენსორები, რომლებიც დამონტაჟებულია საცავების სხვადასხვა მონაკვეთზე, მუდმივად იწერს გაზის მოცულობას, წნევას, ტემპერატურასა და სხვა პარამეტრებს. მიღებული მონაცემები შემდეგ გადაეცემა ცენტრალურ სისტემას, რომელიც ანალიზებს მათ და აგზავნის შესაბამის სიგნალებს, საჭიროებისამებრ. ასეთი მიდგომა ხელს უწყობს როგორც ოპტიმალურ კონტროლს, ისე სწრაფ რეაგირებას არასტანდარტულ პირობებზე. ერთ-ერთი კრიტიკული კომპონენტი დისტანციური მართვის არქიტექტურაში არის ავარიული გამორთვების სისტემა. ეს სისტემა უზრუნველყოფს უსაფრთხოების მაღალი დონის დაცვას იმ შემთხვევაში, როდესაც დაფიქსირდება არასასურველი ან სახიფათო მდგომარეობა. აღნიშნული მექანიზმი მუშაობს ავტომატურად და უზრუნველყოფს გაზის მიწოდების შეჩერებას, წნევის დამცირებას ან სხვა უსაფრთხოების პროცედურების გააქტიურებას. მისი ინტეგრაცია ცენტრალურ მართვის სისტემაში აუცილებელია ტექნოლოგიური პროცესების უწყვეტობისა და თანამშრომელთა/გარემოს უსაფრთხოების დასაცავად.

დისტანციური მართვის სისტემის არქიტექტურა უნდა ეფუძნებოდეს მოდულურ და მასშტაბირებად სტრუქტურას, რომელიც უზრუნველყოფს როგორც მონაცემთა უწყვეტ შეგროვებას, ისე მათ დამუშავებასა და ანალიტიკას. ამ ტიპის არქიტექტურა ძირითადად იყოფა სამ ძირითად დონედ: სენსორული დონე (ფიზიკური აღჭურვილობა), კომუნიკაციის დონე (დამაკავშირებელი ტექნოლოგიები) და მართვის დონე (ცენტრალიზებული ან დეცენტრალიზებული ანალიტიკა და გადაწყვეტილების მიღება).

მნიშვნელოვანი ინოვაცია, რომელიც არსებითად ზრდის დისტანციური სისტემების ეფექტიანობას, არის GIS (გეოინფორმაციული სისტემის) ინტეგრაცია.

GIS უზრუნველყოფს სივრცულ ანალიზს, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მიწისქვეშა ინფრასტრუქტურის შემთხვევაში. იგი იძლევა შესაძლებლობას, დეტალურად ვიზუალიზირდეს გაზსადენების მდებარეობა, მისი შერწყმული გარემო ფაქტორები, რელიეფი და სხვა გეოგრაფიული მახასიათებლები. შედეგად, სისტემის ოპერატორებს აქვთ უფრო სრულყოფილი ინფორმაცია, რაც აუმჯობესებს რისკების მართვასა და ტექნიკური გადაწყვეტილებების მიღებას.

მეოთხე თავში საუბარია გაჟონვის აღმოჩენის ალგორითმული სისტემაზე მიწისქვეშა გაზსადენებში. აღნიშნულია, რომ მიწისქვეშა გაზსადენების ეფექტური მართვა მოითხოვს ისეთ ტექნოლოგიურ გადაწყვეტებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ პოტენციური რისკების დროულ გამოვლენასა და პრევენციულ რეაგირებას. ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საფრთხე ამ ინფრასტრუქტურაში არის გაზის გაჟონვა, რაც არა მხოლოდ ეკონომიკურ ზარალთან, არამედ ეკოლოგიურ და უსაფრთხოების სერიოზულ გამოწვევებთანაა დაკავშირებული. აღნიშნული რისკის შესამცირებლად გამოიყენება ალგორითმული სისტემები, რომლებიც რეალურ დროში ახდენენ გაჟონვის შესაძლო ფაქტორის დიაგნოსტიკას სენსორული მონაცემების საფუძველზე. გაჟონვის გამოვლენა ხშირად მოითხოვს ისეთი მოვლენების იდენტიფიკაციას, რომელთა გამოვლენაც მხოლოდ სენსორული მონაცემების უბრალო შედარებით შეუძლებელია. ასეთ შემთხვევებში განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს სტატისტიკური იდენტიფიკაციის მეთოდი, რომელიც საშუალებას იძლევა მოხდეს უცაბედი წნევის ვარდნის ან ზეწოლის მატების დინამიკურ ანალიზს დროში. აღნიშნული მიდგომა ეფუძნება მონაცემთა დროით სერიებსა და მათი ცვლილების ტენდენციის შეფასებას.

გაჟონვის გამოვლენის პროცესში მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება ჰევიანი ალგორითმის არქიტექტურას, რომელიც შედგება რამდენიმე ფუნქციური ბლოკისგან. პირველ ეტაპზე, პროგრამული შიგთავსის შრე (**Input Layer**) იღებს მრავალჯერად სიგნალებს სხვადასხვა სენსორიდან, მათ შორის: წნევის (P), ტემპერატურის (T), შემავალი და გამავალი დებიტის (Q_{in} , Q_{out}) და აკუსტიკური მონაცემების (Acoustic) დროულ მონაცემებს. შემდეგ ეტაპზე, პროგრამული მახასიათებლების ექსტრაქციის (**Feature Extraction**) ბლოკი ახდენს ამ მონაცემთა ანალიზს — ადგენს ცვლილების ტენდენციებს, იდენტიფიცირებს უჩვეულო

ზეწოლის პიკებს ან ტემპერატურულ ანომალიებს და აფასებს პროგნოზირებად ქცევებს.

მომდევნო საფეხურს წარმოადგენს ხანგრძლივი მოკლევადიანი მეხსიერების ((**LSTM - Long Short-Term Memory**) **ბლოკი**, რომელიც განკუთვნილია დროში დამოკიდებული სიგნალების საფუძველზე ანომალიების გამოვლენისათვის. LSTM მოდელი ეფექტურად ასახავს არა მხოლოდ მიმდინარე მდგომარეობას, არამედ წარსული ცვლილებების კონტექსტსაც, რაც ზრდის გაჟონვის პროგნოზის სიზუსტეს. მიღებული შეფასება გადაეცემა გადაწყვეტილების შრეს (**Decision Layer**), რომელიც აყალიბებს საბოლოო განაჩენს — გაჟონვის ფაქტორის არსებობა დაფიქსირდა თუ არა.

დასასრულს, სისტემა ავტომატურად ინტეგრირდება **Alert System-ში**, რომელიც ახდენს რეაგირების მექანიზმების გააქტიურებას SCADA-ს ან ავარიულ გამორთვის სისტემასთან (ESV). ნაშრომში აღნიშნულია, რომ დისტანციური მონიტორინგის თანამედროვე სისტემების განუყოფელი ნაწილს წარმოადგენს SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) მოდელი. აღნიშნული სისტემა გლობალურად გამოიყენება საწარმოო და ენერგეტიკულ სექტორში, რადგან ის უზრუნველყოფს მონაცემთა მუდმივ მიღებას, მონიტორინგსა და ანალიზს. SCADA-ს საშუალებით შესაძლებელია გაზის წნევის, ტემპერატურისა და მოცულობის დეტალური კონტროლი რეალურ დროში. ის ეხმარება ოპერატორებს დროულად მიიღონ გადაწყვეტილება, განსაზღვრონ ტენდენციები და შეაფასონ სისტემის საერთო მდგომარეობა.

დასკვნები და რეკომენდაციები

დისერტაცია წარმოადგენს დამთავრებულ სამეცნიერო ნაშრომს, რომელშიც დასმულია აქტუალური სამეცნიერო-ტექნიკური ამოცანის საკითხები:

1. მიწისქვეშა გაზსაცავების შექმნასა და ექსპლუატაციისას ჩატარებული ანალიზისა და არსებული გამოცდილების განზოგადებით, ნაჩვენებია, რომ მიწისქვეშა გაზსაცავების რეგულირების ახალი აქტიური მეთოდების შემუშავება აქტუალური სამეცნიერო და პრაქტიკული ამოცანაა. ავტორის მიერ შეთავაზებულია მიწისქვეშა გაზსაცავების შექმნისა და ექსპლუატაციის მეთოდების კლასიფიკაცია, მათი ძირითადი კრიტერიუმები.

2. დადასტურებულია, რომ მიწისქვეშა გაზსაცავის ციკლური მუშაობის შესახებ მიმდინარე მონაცემების (შექმნილი როგორც წყლოვან ფენაში, ასევე გამოფიტული გაზის საბადოებში) დიაგრამების სახით წარმოდგენა გვაძლევს ექსპლუატაციის პარამეტრების ოპერატიული მონიტორინგისა და ანალიზის ყველაზე ინფორმაციულ შესაძლებლობას.

3. მიწისქვეშა გაზსაცავის სიღრუიდან გახსნილ წყალში გამოსული გაზის ოდენობის დასადგენად რეკომენდებულია შემუშავებული მეთოდიკის გამოყენება.

4. მიწისქვეშა გაზსაცავში ბუფერული გაზის მოცულობის შემცირება იწვევს ფენის წნევის რხევების ამპლიტუდის გაზრდას გაზის ჩაჭირხვნისა და ამოღების დროს. კერძოდ, დეპრესიის ზრდას. დეპრესიის შესამცირებლად რეკომენდებულია აქტიური გაზის მოცულობის შემცირება.

4. ჰისტერეზისის დიაგრამების ანალიზისთვის შემუშავებული და განზოგადებული ტექნიკის გამოყენებით ნაჩვენებია, რომ შესაძლებელია განისაზღვროს მიწისქვეშა გაზსაცავების ციკლური მუშაობის ყველაზე მნიშვნელოვანი პარამეტრები, ისეთი როგორიცაა - კონტურული წნევა, გაზით გაჯერებული ფორების მოცულობა, მიგრირებული წყლის მოცულობა, მიწისქვეშა გაზსაცავში გაზის ჭეშმარიტი მოცულობა ჩაჭირხვნისა და ამოღების დროს.

5. ნაშრომში აღწერილია ჭაბურღილების ჰერმეტიკულობის შეფასების მეთოდი. შემოთავაზებული მეთოდით ხორციელდება მრავალჯერადი ციკლური ზემოქმედება, როდესაც თითოეულ ციკლში გაზი ჩაიჭირხნება ჭაბურღილებში,

ხოლო შემდგომში - პროდუქტიული ფენიდან ხდება მისი ამოღება. ამავდროულად, თითოეულ ციკლში გაიზომება გაზის ჩაჭარხვნისა და ამოღების მოცულობები, მიმდინარე ფორული წნევის მიხედვით. განსაზღვრება საანგარიშო წნევა გაზსაცავში, გაზის გაჟონვით ან მის გარეშე ჭაბურღილების ექსპლუატაციისას.

6. დადგენილია ძირითადი ტექნოლოგიური ფაქტორები, რომლებიც განსაზღვრავს გაზსაცავების ნორმალურ ფუნქციონირებას. ცვალებადი ტექნოლოგიურ და თერმოდინამიკური მაჩვენებლების საფუძველზე, შემუშავებულია ფენისშიგა და ფენებსშორისი გაზის დანაკარგების გაანგარიშების მეთოდიკა. შესრულებულია გაზის სორბიციის შედეგად ფოროვანი მყარი ქანებით გარემოცული მიწისქვეშა გაზსაცავისათვის გაზის დანაკარგების განსაზღვრის მეთოდი.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული ნაშრომების სია:

1. Berikashvili K. Utilized Natural Gas Volume from Gas Storage in Total Natural Gas Consumption and Impact on Tariff in Georgia. International Journal of Innovative Technologies in Social Science, 2025, №1(45), 3p.
2. Shatakishvili L., Berikashvili K. Meyhodology for Determining Leaks and Energy Saving in Underground Gas Storages. RS Global, 2024, №2(84), 3p.
3. Shatakishvili L., Namgaladze D., Kiziria T., Khelidze G., Berikashvili K. Aspects of Reliability, Efficiency and Energy Saving of Gas Pipelines and Gas Supply Systems Equipment. International Journal of Innovative Technologies in Social Science, 2024, №4(44), 9p.
4. ბერიკაშვილი ქ. საქართველოში მიწისქვეშა გაზსაცავის მშენებლობის პერსპექტივა და საწყის ეტაპზე მონიტორინგის ასპექტები. „ენერგია“, 2021, №1(97), გვ. 15-20.
5. ნამგალაძე დ., ბერიკაშვილი ქ. მიწისქვეშა გაზსაცავების ველში წნევის დადგენის მიახლოებითი მეთოდი. III საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის - „ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“ - შრომები. „ენერგია“, 2021, №2(98), გვ. 219-222.

Abstract

The current geopolitical landscape clearly demonstrates that a country's global influence is significantly shaped by its energy resource reserves and the level of development within its energy sector. The fuel and energy sector serves not only as a cornerstone of economic growth but also as an effective instrument of domestic and foreign policy. This sector ensures the continuous and sustainable functioning of all areas of the national economy and has a substantial impact on the formation of key financial and economic indicators of the country.

The gas sector stands out as one of the fundamental pillars of the national economy. Its stable and efficient development is crucial for the operation of industrial infrastructure and for the overall economic stability of society. A defining characteristic of the gas industry is that it encompasses the entire value chain—from resource extraction to end-use consumption. This includes resource expansion, extraction, transportation, storage, processing, transit, distribution, and delivery.

Covering the full value chain necessitates a systemic and integrated approach to the planning and development of the gas industry. This approach entails the harmonious growth of all subsectors, as well as coordinated analysis and forecasting. It is also essential to consider environmental factors such as gas consumption subsystems and hydrocarbon reserves, which represent both financial resources and potential limitations in terms of cash flow.

In Georgia, the growth of natural gas consumption is observed annually in parallel with the growth of the economy. Given that up to 99% of the country's consumption is satisfied with imported natural gas, it is important for Georgia to develop approaches to energy security that will minimize the risks of ensuring supply during peak load periods. For this, it is important to build a gas storage facility in Georgia and consider it a strategic facility. The experience of various countries shows that gas storage helps to balance demand-supply indicators. In addition, it provides an opportunity for the natural gas stored in the gas storage facility to be used for both strategic and, if necessary and possible, commercial purposes for economic efficiency. The state's interest in the construction of a gas storage facility has been expressed repeatedly and a number of works have been carried out for this purpose. In addition, international recommendations are important, which confirm the existence of natural gas reservoirs in the country.

The primary objective of the gas industry is to ensure the reliable, efficient, and uninterrupted supply of gas to consumers. Therefore, the development of a strategic plan should be based on an analysis of both current and forecasted demand, encompassing both active and prospective consumers. In this context, environmental factors are viewed systematically as an "external environment" that interacts with the industry through feedback loops. The industry is not only capable of responding to external demands but can also influence their formation—ranging from resource planning and consumer structure analysis to demand forecasting and recommendations for transitioning to alternative fuels, all while considering economic efficiency.

Accordingly, the development strategy of the gas industry serves as a tool for optimizing and synchronizing the growth processes of both suppliers and consumers.

This, in turn, has a considerable impact on the infrastructural sustainability of the countries or regions in which it operates.

This dissertation focuses on the safety assessment of underground gas storage operations within water-bearing geological formations, particularly those located in depleted fields. The primary goal of the research is to identify specific operational challenges and develop effective methods for their prevention and resolution. These challenges primarily relate to all forms of gas loss and leakage that occur within underground containment zones.

Gas losses may result from its migration into other geological horizons, breaches in upper sealing layers, deformation of dome structures, excessive expansion of the gas-bearing contour, or the filling of semi-isolated voids with gas. Additionally, during the cyclic operation of underground storage facilities, the risk of gas loss through dissolution in water increases, adding further complications.

To identify and analyze these issues, the dissertation applies the methodology of hysteresis diagrams, particularly through the modeling and theoretical analysis of injection and withdrawal processes. It also presents techniques for constructing relevant diagrams using modern so-called “smart” management systems and discusses their application in monitoring processes. In addition, the paper focuses on the possibility of using modern approaches, artificial intelligence, and the expected effectiveness in both management and operation.

Furthermore, the study develops methods for determining volumes of working and buffer gas, monitoring pressure levels within storage, and promptly detecting and eliminating leakages. In addition, conclusions and recommendations have been developed that will contribute to the safety of the operation of gas storage facilities located in underground aquifers.