

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY
ГРУЗИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ISSN 1512-410X

ჰიდროინჟინერია
HYDROENGINEERING
ГИДРОИНЖЕНЕРИЯ

№1-2(19-20)



თბილისი – TBILISI – ТБИЛИСИ

2015

სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „ჰიდროინჟინერია“

დაფუძნებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტისა და საქართველოს საინჟინრო აკადემიის მიერ.

სარედაქციო კოლეგია:

საქართველოდან: აკადემიკოსი ა. ფრანგიშვილი, პროფ. ლ. ლოღელიანი (მთ. რედაქტორი), პროფ. ლ. კლიმაშვილი (მთ. რედაქტორის მოადგილე), პროფესორები: ა. მოწონელიძე, პ. კერვალიშვილი, ზ. დანელია, ი. ქადარია, თ. გველესიანი, ზ. მეგრელიშვილი, ნ. კოდუა, შ. გაგოშიძე, ზ. გედენიძე, გ. სოსელია, ვ. ნაჭყებია, ნ. ნაცვლიშვილი, მ. გრძელიშვილი, შ. მესტირიშვილი, ო. ფურცელაძე, პ. გიორგაძე, დ. გურგენიძე, ზ. ზალიკაშვილი, მ. ნაცვლიშვილი (პასუხისმგებელი მდივანი), შპს „ჯორჯიან უოთერ ენდ ფაუერის“ ადმინისტრაციული დირექტორი ნ. ბახტაძე, ტექნიკური დეპარტამენტის უფროსი მ. კანდელაკი, საგამომცემლო სახელ „ტექნიკური უნივერსიტეტის“ დირექტორი ალ. გრიგოლიშვილი.

ამერიკის შეერთებული შტატებიდან: აიოვას შტატის უნივერსიტეტის პროფესორები: არდით მანი, რამეშ კანვარი, ემი კალეიტა, სტივენ ფრიმენი, როი გუ.

EDITORIAL BOARD:

Acad. A. Phrangishvili, **Prof. of GTU** L. Gogeliani (Chief Editor), L. Klimiashvili (Deputy Chief Editor), A. Motsonelidze, P. Kervalishvili, Z. Danelia, I. Kadaria, T. Gvelesiani, Z. Megrelishvili, N. Kodua, Sh. Gagoshidze, Z. Gedenidze, G. Soselia, V. Nachkebia, N. Natsvlishvili, M. Grdzlishvili, Sh. Mestvirishvili, O. Purtseladze, P. Giorgadze, D. Gurgenidze, Z. Zalikashvili, M. Natsvlishvili (Executive secretary), N. Bakhtadze, administrative director of LTD "Georgian Water and Power", M. Kandelaki, commander of technical department of LTD "Georgian Water and Power", Director Of Publishing House of GTU Al. Grigolishvili.

USA: Prof. Ardith Maney, Ramesh Kanwar, Amy Kaleita, Steven Freeman, Roy gu, (Aiowa Shtate University).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Грузия: Академик А. Прангишвили, проф. ГТУ Л. Гогелиани (гл. редактор), проф. Л. Климиашвили (зам. гл. редактора), проф: А. Моцонелидзе, П. Кервалишвили, З. Дanelia, И. Кадария, Т. Гвелесиани, З. Мегрелишвили, Н. Кодуа, Ш. Гагошидзе, З. Геденидзе, Г. Соселия, В. Начкебия, Н. Нацвлишвили, М. Грдзелишвили, Ш. Мествиришвили, О. Пурцеладзе, П. Гиоргадзе, Д. Гургенидзе, З. Заликашвили, проф. М. Нацвлишвили (ответственный секретарь), административный директор ООО «Джорджиан уотер энд пауэр» Н. Бахтadze, начальник технического департамента М. Канделаки, директор издательского дома «Технический университет» А. Григолишвили.

США: проф. Ардит Ман, Рамеш Канвар, Эми Калента, Стивен Фримен, Рои Гу (Университет штата Айова).

მისამართი: საქართველო, თბილისი, 0175, კოსტავას ქ. 77, I კორპუსი. ტელ.: 2-33-06-87, ჟურნალის ვებგვერდი www.cetl.gtu.ge

გამოქვეყნებული მასალის სიზუსტეზე პასუხისმგებელია ავტორი.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2015
Publishing House “Technical University”, 2015
Издательский дом “Технический Университет”, 2015

შპს 628.2

წყალსაცავის ევტროფიკაციის ღონის ღაღვენა

დ. ლოღელიანი, ე. ხატიაშვილი, ზ. ასკურავა

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

რეზიუმე: სტატიაში მოცემულია წყალსაცავის ევტროფიკაციის პროცესები. შექმნილია მათემატიკური მოდელი. განხილულია ბიოგენური ელემენტების მოდინება წყალშემკრები აუზის ტერიტორიიდან მომდინარე ბუნებრივი პროცესების (ატმოსფერული ნალექები, ნატანის შეტანა, ქარით გამოწვეული ეროზია) და ტერიტორიაზე წარმოებული ანთროპოგენური ზემოქმედების შედეგად. შეისწავლება ბიოგენური ელემენტების ტრანსფორმაცია წყალსატევში. ბიოგენური ელემენტების კონცენტრაციის მიხედვით განისაზღვრება წყალსატევის ევტროფიკაციის ხარისხი და ხდება მისი პროგნოზირება.

საკვანძო სიტყვები: წყალსატევი; ევტროფიკაცია; ბიოგენური ელემენტები; დესტრუქცია; კონცენტრაცია.

1. შესავალი

წყალსაცავის ეკოსისტემის მათემატიკური მოდელის შექმნა რთული ამოცანაა. ასეთ მოდელში გამოიყენება ცვლადების დიდი რიცხვი, ეფუძნება ნატურული დაკვირვებებისა და ჰიდროქიმიური ლაბორატორიული კვლევების ძალზე დიდ რაოდენობას. წყალსაცავის ეკოსისტემის მოდელის საშუალებით შესაძლებელია შევაფასოთ მიმდინარე პროცესები, რაზეც დამოკიდებულია წყალსაცავის ეკოსისტემის მდგომარეობა.

წყალსაცავის ეკოსისტემის შესწავლა და მისი ევტროფიკაციის ხარისხის დადგენა, თავის მხრივ, მოიცავს სამ ძირითად საკითხს: 1. ბიოგენური ელემენტების მოდინების გაანგარიშებას მიმდებარე ტერიტორიიდან; 2. ბიოგენური ელემენტების კონცენტრაციის განსაზღვრას წყალსატევში და 3. ევტროფიკაციის პროგნოზირებას.

2. ძირითადი ნაწილი

1. წყალსატევში ბიოგენური ელემენტების მოდინების გაანგარიშება – წყალსატევში ნებისმიერი დამაბინძურებელი ინგრედიენტების, მათ შორის ბიოგენური ელემენტების, აზოტის და ფოსფორის შეტანა ხდება წყალშემკრები აუზის ტერიტორიიდან, მისი ბუნებრივი პირობების გათვალისწინებით და წყალშემკრებ აუზში წარმოებული ანთროპოგენური ზემოქმედების შედეგად.

წყალშემკრები აუზის ტერიტორიიდან აზოტისა და ფოსფორის შენაერთის წყალსაცავში ჩადენა განპირობებულია მათი გამოტანით ქანიდან, ნიადაგიდან, ტყიდან და ჭაობიდან, ნალექით და სხვა. ამ წყაროებიდან აზოტისა და ფოსფორის გამოტანა შეიძლება მოხდეს იმის გამოც, რომ მათი შეტანა აღნიშნულ წყაროებში შესაძლებელია ანთროპოგენური ზემოქმედების შედეგადაც.

ადამიანების საქმიანობის შედეგად მიღებული ბიოგენური ელემენტებია (მოგვეყვას მათი არასრული ჩამონათვალი): სოფლის მეურნეობა, მათ შორის სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები, მეფრინველეობა და მეცხოველეობა, საყოფაცხოვრებო და სამრეწველო ობიექტები და სხვა.

ამ მონაცემების მოსაპოვებლად შესწავლილ იქნა ზემოდასახელებული ობიექტები, შედგა სია, გაირკვა მათი მახასიათებლები და „თბილწყალგეოს“ თეორიული მეთოდით განისაზღვრა მათგან წყალსაცავში მოსული აზოტისა და ფოსფორის კონცენტრაციების მნიშვნელობები. პარალელურად ჟინვალის წყალსაცავში აზოტისა და ფოსფორის კონცენტრაციები განისაზღვრა „თბილწყალგეოს“ ბიოქიმიურ ლაბორატორიაში ჩატარებული ანალიზების გზითაც.

„თბილწყალგეოს“ საპროგნოზო და სადიაგნოსტიკო დამოკიდებულებები მოყვანილია რუსთაველის ფონდის სამეცნიერო გრანტის №09-468-7-109 პროექტში. ამიტომ, ამ დამოკიდებულებების მეშვეობით შესრულებულ გათვლებს აქ არ მოვიყვანთ.

ჩატარებული გაანგარიშებების შედეგად მივიღეთ, რომ ბიოგენური ელემენტების კონცენტრაცია, ჟინვალის წყალსაცავში განზავების პროცესების გათვალისწინების, ე.ი. მათი წყალსაცავიდან გადინების, ფსკერზე დაღეჟვის და ადსორბციის გათვალისწინების გარეშე, ტოლია: ფოსფორის – $C_p = 0,01$ მგ/ლ; აზოტის – $C_N = 1,75$ მგ/ლ.

2. ბიოგენური ინგრედიენტების (აზოტი, ფოსფორი) კონცენტრაციის ცვლილების განსაზღვრა წყალსატევში – განტოლებას, რომელიც ითვალისწინებს სხვადასხვა ქიმიური ელემენტის კონცენტრაციის ცვლილებას აქვს შემდეგი სახე (ეს განტოლება მიღებულია „ობილწყალგეოში“ ზემოაღნიშნული გრანტის ფარგლებში):

$$C_j = C_{0j} \exp \left[- \left(\frac{Q_{\text{ბად}}}{W} + k_j \right) t \right] + \frac{C_{\text{ფ.}j} \cdot Q_{\text{ფ.}}}{Q_{\text{ბად}} + k_j W} \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{Q_{\text{ბად}}}{W} + k_j \right) t \right] \right\}, \quad (1)$$

სადაც C_{0j} არის j -ური ელემენტის საწყისი კონცენტრაცია წყალსაცავში, რომლის მოცულობაა W ; k_j – არაკონსერვატიულობის (დესტრუქციის) კოეფიციენტი; $C_{\text{ფ.}j}$ – j -ური ინგრედიენტის კონცენტრაცია ჩამდინარე წყალში $Q_{\text{ფ}}$ ხარჯით; C_j – ელემენტის კონცენტრაცია, რომელიც გაედინება წყალსაცავიდან $Q_{\text{ბად}}$ გადინების ხარჯით.

გამოვთვლით შემდეგი მონაცემებისათვის: ფოსფორის – $C_P = 0,01$ მგ/ლ; აზოტის – $C_N = 1,75$ მგ/ლ; მდ. არაგვის შენაკადის ხარჯია $Q_{\text{ფ}} = 23,2$ მ³/წმ; ფშავის არაგვის $Q_{\text{ფ}} = 20,6$ მ³/წმ. ჰესისათვის გაედინება $Q_{\text{ბად}} = 9,0$ მ³/წმ. (1) ფორმულის მიხედვით ფოსფორის კონცენტრაციისათვის ვღებულობთ $C_P = 0,009$ მგ/ლ, ხოლო აზოტის კონცენტრაციისათვის – $C_N = 1,52$ მგ/ლ.

3. წყალსატევის ევტროფიკაციის დონის პროგნოზირება – ჟინვალის წყალსაცავის ევტროფიკაციის დასადგენად, პირველ რიგში, საჭიროა განისაზღვროს წყალსაცავში მიმდინარე ფოტოსინთეზური რეაქციების შედეგად წარმოქმნილი პირველადი პროდუქტის რაოდენობა ანუ განისაზღვროს ქლოროფილის [ქლორ.ა] საშუალო წლიური კონცენტრაციები. იმ შემთხვევაში, როდესაც საკვლევ წყლებში აზოტისა და ფოსფორის თანაფარდობა $N:P > 12$ იქნება, გამოვიყენოთ დილონისა და რიგლერის დამოკიდებულება:

$$\log_{10}[\text{ქლორ.ა}] = 1,45 \log_{10}([P] \cdot 1000) - 1,14. \quad (2)$$

ხოლო, იმ შემთხვევაში, როდესაც აზოტისა და ფოსფორის ფარდობაა $N:P < 4$ – შემდეგი სახის დამოკიდებულება:

$$\log_{10}[\text{ქლორ.ა}] = 1,4 \log_{10}([N] \cdot 1000) - 1,9. \quad (3)$$

ამ დამოკიდებულებებში აზოტისა და ფოსფორის კონცენტრაციები გამოხატულია მგ/ლ-ში, ხოლო ქლოროფილის კონცენტრაცია მკგ/ლ-ში. იმ შემთხვევაში,

როდესაც N:P შეფარდება მოთავსებულია [4, 12] შუალედში, რეკომენდებულია გამოყენებულ იქნეს „ОЭПК“-ის (ჩრდილოეთ ამერიკის ეკონომიკური განვითარების და კოოპერაციის ორგანიზაცია) მიერ რეკომენდებული დამოკიდებულება, რომელიც მიღებულია ამერიკისა და ევროპის მრავალი ევტროფირებული ტბის კვლევის პროცესში

$$Cl_{a''} = 0,28P^{0,96}. \quad (4)$$

(4) ფორმულის მიხედვით $Cl_{a''}$ -ს კონცენტრაცია ჟინვალის წყალსაცავში შეადგენს 2,31 მგ/მ³-ში. ამავე ორგანიზაციის მონაცემებით განისაზღვრა წყლის ხილვადობის სიღრმე, რომელიც წყალსაცავის ევტროფიკაციის მაჩვენებელია:

$$(სღხს) = \frac{8,7}{1 + 0,47Cl_{a''}} = 4,16\text{მ}.$$

3. დასკვნა

ამრიგად, ქლოროფილის მიღებული კონცენტრაცია ჯერ კიდევ არ არის საშიშ საზღვრებში და შეიძლება ითქვას, რომ ჟინვალის წყალსაცავი ჯერჯერობით განეკუთვნება საშუალო დაბინძურების, ე.წ. მეზოტროფულ წყალსაცავებს. ევტროფიკაციის ერთ-ერთი უმთავრესი მაჩვენებელია „სეკის“ დისკის ხილვადობის სიღრმე (სღხს), რომლის მიხედვით ოლიგოტროფულ წყალსაცავებში (ძალზე სუფთა წყალსაცავებში) გამჭვირვალობა >6,0 მ-ზე, მეზოტროფულში (საშუალო დაბინძურება) მერყეობს 3-დან 6 მ-მდე, ხოლო ევტროფიულებში (ძალზე დაბინძურებული) – <3,0მ-ზე.

მიღებული შედეგები ემთხვევა „თბოლწყალგეოს“ მიერ ექსპედიციების განმაჯობაში მიღებულ შედეგებს, სადაც ჟინვალის წყალსაცავში „სეკის“ დისკის ხილვადობა $3,6 \div 3,97$ მ-ის ფარგლებში იცვლებოდა.

ლიტერატურა

1. Йоргенсен С.Е. Управление озерными системами. Агропромиздат. 1985.
2. Хендерсон-Селлер Б., Маркленд Х.Р. Умирающие озера. Л.: Гидрометеиздат, 1990.
3. Войнич-Сяноженцкий Т.Г. Гидродинамика устьевых участков рек и взморий бесприливных морей. Л.: Гидрометеиздат, 1972.

შპს 627.81

წყალსატევებში კატასტროფული ტალღების წარმოქმნისა და გავრცელების თეორიული მახასიათებლების შედარება ნატურულ მონაცემებთან

დ. დოღელიანი, ე. ხატიაშვილი, ზ. ასკურავა

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

რეზიუმე: წყალსატევებში ქანების შეჭრისას, მათემატიკური ხასიათის სიძნელების გამო, არსებითია ე.წ. “საანგარიშო მოდელირების” შესრულება. მთის ქანების შეჭრისას განიხილება მოძრაობა, როდესაც შეჭრილი მასივი ნაწილობრივ წყალქვეშაა. იძულებითი ტალღების პარამეტრების დადგენისას გამოყენებულია ენერგიისა და მასის შენახვის კანონები. წყალსატევის ფერდობებზე იძულებითი ტალღების ზვირთცემის ნაკადის აწევის განსახადვრავად გამოყენებულია ჰიდრაულიკური მიდგომა.

შესრულებული ანგარიშები შედარებულია ვაიონტის კატასტროფის შედეგებთან, მათი თანხედენა დაახლოებით 12–15%-ია.

საკვანძო სიტყვები: გენერირებული ტალღები; საანგარიშო მოდელირება; წყალსატევი; ზვირთცემის ნაკადი; მეწყერები; სელური ნაკადი.

1. შესავალი

სტატიაში მოყვანილი ურთიერთშედარებითი გაანგარიშებები შესრულებულია „თბილწყალგეოში“ შემუშავებული მათემატიკური მოდელის საანგარიშო დამოკიდებულებებით. აღნიშნული მეთოდიკა განიხილავს სხვადასხვა წყალსატევში კატასტროფების შედეგად (მიწისძვრები, მეწყერები და სხვა) გენერირებული ტალღების გავრცელებას და მათ ზეგავლენას წყალსატევის სხვადასხვა ელემენტზე.

„თბილწყალგეოს“ მეთოდიკით მიღებული შედეგები შედარებულია ვაიონტის (იტალია) კატასტროფისას არსებულ მონაცემებთან [1].

შედარებისას არსებით მნიშვნელობას იძენს ე.წ. „საანგარიშო მოდელირების“ შესრულება, რომლის დროსაც შესწავლილი ობიექტისათვის შემუშავებული თეორიული დამოკიდებულებები მოწმდება მსგავსი სახის მოვლენებზე.

ვაიონტის კატასტროფა 1963 წელს მოხდა მთა მონტე-ტოკის ძირში. მთის ქანების შეჭრის შედეგად წარმოიქმნა ტალღები, რომელთა ზვირთცემამ ჩრდილოეთის ფერდობზე 260 მ-ს მიაღწია. კაშხალს გადაეველო ≈ 100 მ სიმაღლის ტალღები, რომელმაც წყალდიდობა გამოიწვია და ხუთი სოფელი სრულიად გაანადგურა. წყალსაცავში გრუნტის მასების შეჭრის შედეგად წარმოქმნილი ტალღების ზომებზე წარმოდგენა შეიძლება მხოლოდ იმ მონაცემებით, რომლებიც კატასტროფის შემდეგ შეგროვდა.

კატასტროფული მოვლენებით განვითარებული ტალღური მოძრაობა და მისი თანამდევი მოვლენები ძალზე მრავალფეროვანია. ჩვენი მიზანია ე.წ. „საანგარიშო მოდელირების“ საშუალებით დავადასტუროთ შერჩეული მათემატიკური მოდელის ვარგისობა. აღნიშნულთან დაკავშირებით ქვემოთ განვიხილავთ სხვადასხვა მასივის წყალსატევებში შეჭრისას ისეთი სახის მოვლენებს, რომელთა გადამოწმება და შედარება შესაძლებელია მიუღერის მონაცემებთან [1].

„საანგარიშო მოდელირებისათვის“ გვაქვს ე.წ. ოთხი „საყრდენი“ წერტილი: 1) მეწყერების, სელების და სხვა სახის ჩამოქცეულ-დაცურებული ქანების წყალსატევში შეჭრისას პრინციპულად ვთვლით მოძრაობას, როდესაც ქანების მასივი მოძრაობის დაწყებამდე კი ნაწილობრივ წყალქვეშაა. ასეთი მიდგომისას, კულონის ხახუნის ძალებთან ერთად, განიხილება შუბლა ჰიდროდინამიკური ძალების, წყლის მიერთებული მასების და ტალღური წინაღობების ძალების არსებობა.

ასეთი მიდგომის შემთხვევაში წყალსატევებში სხვადასხვა სახის ქანების შეჭრის დინამიკის ერთგანზომილებიან განტოლების ამონახსნს შემდეგი სახე აქვს:

$$V_{s1}^2 = V_{s0}^2 + (A_1 - 2A_0V_{s0}^2)\xi - \\ - (2A_0A_1 + A_1A_3 + A_2 + A_3V_{s0}^2)\frac{\xi^2}{2} + 2A_0A_2\frac{\xi^3}{6} + A_2A_3\frac{\xi^4}{8}, \quad (1)$$

სადაც V_s მასივის მასის ცენტრის სიჩქარეა, რომლის მოცულობა W_{s0} -ის ტოლია;

$\xi = \frac{l_{sw}}{L_s}$, l_{sw} – მთის ქანების სიგრძე წყლის ქვეშ; L_s – მოძრავი მთის ქანების სრული სიგრძე.

$$A_0 = \beta \frac{\rho_w}{\rho_s}; \quad A_1 = 2gI_{ss}L_s;$$

$$A_2 = 2gL_s(I_{ss} - \sigma_s I_{sw});$$

$$A_3 = \frac{3}{2} \bar{k}_w \frac{\rho_w}{\rho_s}; \quad \bar{k}_w = k_w + \lambda_w \frac{L_s}{L_{sm}};$$

β – მიერთებული მასის კოეფიციენტი; ρ_s და ρ_w – მთის ქანების და წყლის სიმკვრივები.

$$I_{ss} = (1 + k_c f_s) \sin \psi_s - f_s \cos \psi_s + k_c \cos \psi_s;$$

$$I_{sw} = (1 + k_c f_{sw}) \sin \psi_{sw} - f_{sw} \cos \psi_{sw} + k_c \cos \psi_{sw};$$

k_c – სეისმურობის კოეფიციენტი. ჩვენს შემთხვევაში $k_c=0$; k_w – შუბლა ჰიდროდინამიკური წინააღობის კოეფიციენტი; f_s და f_{sw} – კულონის ხახუნის კოეფიციენტები, შესაბამისად იმ ფერდობებისათვის, რომლებიც განლაგებულია წყლის ქვეშ და წყლის ზემოთ; ψ_s – მთის მასივის სრიალის ზედაპირის დახრის კუთხე (რომელიც მდებარეობს წყლის სარკის ზემოთ), ψ_{sw} – იგივე, რომელიც მდებარეობს წყალქვეშ; $\sigma_s = 1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}$; λ_w – მთის მასივის წყალთან ხახუნის წრფივი ჰიდრაულიკური წინააღობის კოეფიციენტი; h_{sm} – მასივის მაქსიმალური სიმაღლე.

ამ შემთხვევაში გვაქვს 1 „საყრდენი“ წერტილი: წყალსაცავში შეჭრილი მთის ქანების მასივის მაქსიმალური ნიშნული $h=120$ მ-ს; გაანგარიშებით კი 107 მ-ია მიღებული.

2. ძირითადი ნაწილი

კატასტროფული მოვლენებით გენერირებული იძულებითი ტალღების მასშტაბების განსაზღვრისას გამოიყენება სხვადასხვა სახის ტალღური თეორიები:

ა) როდესაც ტალღები გრძელია ანუ $\frac{\lambda}{H} \gg 1$ (λ ტალღის სიგრძეა, H – წყალსატევის სიღრმე), მაშინ მართებულია წრფივი გრძელი ტალღების თეორია; ბ) როდესაც გრძელი ტალღების და ტალღური სიხქარეების ამპლიტუდები არაა მცირე, გამოყენებულია გრძელი ტალღების არაწრფივი განტოლებები; გ) ისეთ შემთხვე-

ვაში, როდესაც წყალსატევში შესრულებული პირობა $\frac{h}{\lambda} = \varepsilon$ მცირე სიდიდეა (თხელი წყლის ტალღები), გამოყენებული იქნება განტოლებათა სისტემა, სადაც გაითვალისწინება ხახუნის ძალები; დ) ვოინი-სიანოუენცკის ლოკალური არასტაციონარულობის თეორია, რომელიც ეყრდნობა რეალური სითხის არადამყარებული ერთგანზომილებიანი მოძრაობის განტოლებათა სისტემას; ე) დასასრულ, იძულებითი ტალღების მახასიათებლების საანგარიშო დამოკიდებულებები, როდესაც გამოიყენება ენერგიისა და მასის შენახვის კანონები. სწორედ ეს მიდგომაა გამოყენებული ჩვენ შემთხვევაში. ეს მიდგომა მართებულია როგორც მოკლე, ასევე გრძელი ტალღებისათვის.

ამ შემთხვევაში გამოიყენება ტალღური მოძრაობის ენერგეტიკული ბალანსის განტოლება:

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial(EU)}{\partial x} = N - D, \quad (2)$$

სადაც E ტალღური ენერგიაა; U – ტალღების ჯგუფური სიჩქარე;

$$U = \frac{c}{2} \left(1 + \frac{2kH}{sh2kH} \right), \quad (3)$$

აქ c ტალღების ფაზური სიჩქარეა; H – წყლის სიღრმე; k – ტალღური რიცხვი, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$; λ – ტალღის სიგრძე; N – გარე ენერგიის მოდენის ინტენსიურობა x ღერძის გასწვრივ; D – ტალღური ენერგიის დისიპაცია.

(2)-ის ინტეგრირების შემდგომ იძულებითი ტალღების მახასიათებლებისათვის ვღებულობთ ტალღის სიმაღლის, სიგრძის და ფაზური სიჩქარის შემდეგ დამოკიდებულებებს:

$$\left. \begin{aligned} h &= \frac{8}{\pi} \frac{\rho_s}{\rho_w} \frac{B_s}{B_w} \left(\frac{V_s^2}{2g} + H_s \right), \\ \lambda &= \frac{\pi V_s H_s t}{h}, \\ C_0 &= \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} th \frac{2\pi H_w}{\lambda}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

და ტალღების თხემის სიგრძისათვის

$$B_w = 2t(C_0 + V_s) \left\{ 1 + \frac{2}{3} \left[\frac{c_0 t}{(c_0 + V_s)} \right]^2 - \frac{2}{5} \left[\frac{c_0 t}{(c_0 + V_s)} \right]^4 \right\}, \quad (5)$$

სადაც V_s მეწერის ტანის მასის ცენტრის სიჩქარეა; B_s – მეწერის ფრონტის სიგრძე; H_s – მეწერის ტანის სისქე წყალქვეშ.

2) შემთხვევაში, ე.ი ტალღების პარამეტრების განსაზღვრისას გვაქვს ორი „საყრდენი“ წერტილი: კაშხლის ცენტრსა და მარჯვენა კიდეში გადადინებული ტალღის სიმაღლე, h მ.

3) წყალსატევის ფერდობებზე იძულებითი ტალღების ზვირთცემის ნაკადის აწევის სიმაღლის განსაზღვრა ემყარება დამსხვრეული ტალღის ფრონტის გავრცელების სიჩქარის განტოლებას:

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{\frac{g}{k}} thkH \left(l - \frac{x}{e} \right)^p \cos \alpha, \quad (6)$$

სადაც k, H დამსხვრეული ტალღის მახასიათებლებია; l – ფერდობზე ზვირთცემის ნაკადის აწევის სიმაღლე; p – ხახუნის ძალების გავლენის ინტენსიურობა დამსხვრეული ტალღის ნაკადის სიჩქარეზე. დამსხვრეული ტალღის ენერგიის და-ნაკარგები გაითვალისწინება შეზომანინგის ჰიდრაულიკური დამოკიდებულებით:

$$h_{\text{დაზ}} = \frac{V^2 l}{c_g^2 H}. \quad (7)$$

დასასრულ ზვირთცემის ნაკადის სიმაღლისათვის ვღებულობთ საანგარიშო დამოკიდებულებას:

$$h = 0.25 \left[\left(1 + \frac{c}{U} \theta \right) (\varepsilon - \varepsilon_{\text{ფრ}}) \right] \sqrt{2\pi \lambda_{\text{ფრ}} H_{\text{ფრ}} thkH_{\text{ფრ}}} \frac{\sqrt[3]{H_{\text{ფრ}}} \sin \alpha}{\sqrt[3]{H_{\text{ფრ}} + 1.5gn^2}}, \quad (8)$$

სადაც θ ხევისაიდის ფუნქციის სიმბოლოა, $\varepsilon = \frac{h}{\lambda}$ – ტალღის დამრეცობა, n – ხორკლიანობის კოეფიციენტი.

3. დასკვნა

ქვემოთ მოგვყავს შესრულებული გაანგარიშების შედეგები და მიუღერის მონაცემები, რომლებიც ცხადყოფენ „თბილწყალგოს“ მეთოდიკის საიმედოობას.

	კაშხალზე (ცენტრში) გადადინებული ტალღის სიმაღლე h მ	კაშხალზე (მარჯვენა კიდეში) გადადინებული ტალღის სიმაღლე h მ	წყალსაცავის ფერდზე (სოფ.კასოსთან) ზვირთეცემის ტალღის ასვლის სიმაღლე, h მ	წყალსაცავში შეჭრილი მთის მასივის მაქსიმალური ნიშნული, h მ
ნატურული მონაცემები	90	100	200	120
განგარიშების შედეგები	82.5	133	213	107
განსხვავება	9%	33 %	6.5 %	12 %

ლიტერატურა

1. Войнич-Сяноженцкий Т.Г. Критерий подобия и моделирования движения влекомых наносов // X конгресс МАГИ. Баден-Баден, ФРГ, 1977 г.
2. Маскалев Ю. Д. Возникновение и движение лавин. Л.: Гидрометеиздат, 1966 г.
3. Мюллер Л. Оползень в долине Вайонт / (пер. с англ.) М.: Мир, 1967 г.
4. Справочник по гидротехнике ВНИИ ВОДГЕО М.: Госстройиздат, 1955 г.
5. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1938 г.
6. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.Н. Теоретическая гидротехника. Том 1. М.: Физматизд, 1955 г.
7. Федяевский К.К. и др. Гидромеханика. Л.: Судостроение, 1968 г.

შპს 626.823.93

მდინარეებში ტრანზიტული ნაკადის მოძრაობის კანონზომიერებები

ლ. კლიმიაშვილი, დ. გუბელაძე, დ. გურგენიძე, მ. ნაცვლიშვილი
(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

რეზიუმე: განხილულია ზედაპირული და კალაპოტის შემადგენელი გრუნტის ნაკადის მოძრაობა. დადგენილია ინდუცირებული დინების ზეგავლენა ზედაპირული ნაკადის ჰიდრაულიკურ მახასიათებლებზე. მიღებულია დამოკიდებულება კალაპოტის გამტარუნარიანობის ინტეგრალური მახასიათებლების გამოსათვლელად.

საკვანძო სიტყვები: კალაპოტური ნაკადი; მოძრაობის კანონზომიერება; წყალჟონვადი შრე; ინდუცირებული დინება.

1. შესავალი

ბუნებაში მდინარეების დიდი ნაწილი მიედინება წყალჟონვად კალაპოტებში და ტრანზიტული ნაკადის მოძრაობისას ადგილი აქვს კალაპოტქვეშა დინებას. ამ შემთხვევაში მოსალოდნელია ძირითადი ნაკადის და კალაპოტქვეშა ზედაპირულ შრეში ინდუცირებული დინების ურთიერთშემოქმედება, რომლის დროსაც კინეტიკური ენერგიის მასის გადატანამ შრეთა შეხების საზღვრის გასაყარზე მნიშვნელოვანი როლი უნდა შეასრულოს ძირითადი ნაკადის სტრუქტურის ჩამოყალიბებაში.

2. ძირითადი ნაწილი

განვიხილოთ კუთრი ხარჯის შემდეგი დამოკიდებულება:

$$\frac{d^2 q_\Delta}{dZ^2} = \frac{(q_\Delta - U_f Z)}{\varepsilon}, \quad (1)$$

სადაც q_Δ არის ნაკადის კუთრი ხარჯი კალაპოტქვეშა ზედაპირულ შრეში ერთეულ სიგანეზე; U_Φ – გრძივი ფილტრაციული სიჩქარე.

თუ დავუშვებთ, რომ ფილტრაციული სიჩქარე არ არის დამოკიდებული Z -ზე, მაშინ (1) განტოლებას, როდესაც $Z \leq 0$, შემდეგი სახე ექნება:

$$q_\Delta = \tilde{C}_1 \exp^{(Z/\sqrt{\varepsilon})} + \tilde{C}_2 \exp^{-(Z/\sqrt{\varepsilon})} - U_\Phi Z \quad (2)$$

განსაზღვრისას

$$q_\Delta = \int_0^{Z=-\Delta} U_\Delta(Z) dZ \quad (3)$$

დინების სიჩქარეთა განაწილება კალაპოტქვეშა ზედაპირულ შრეში მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$U_\Delta(Z) = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}} [\tilde{C}_1 \exp^{(Z/\sqrt{\varepsilon})} - \tilde{C}_2 \exp^{-(Z/\sqrt{\varepsilon})}] - U_f. \quad (4)$$

ინტეგრირების მუდმივების განსაზღვრისას ვისარგებლოთ შემდეგი სასაზღვრო პირობით:

$$U_\Delta(Z) = U_{\Phi_s}, \quad (5)$$

როცა $Z = 0$

$$\frac{dU_\Delta(Z)}{dZ} = \frac{dU}{dZ}, \quad (6)$$

სადაც U არის ძირითადი ნაკადის დინების სიჩქარე; U_{Φ_s} – სიჩქარე, როდესაც $Z = 0$.

მიღებული პირობები (6) ნიშნავს ძირითად და კალაპოტქვეშა ზედაპირული ნაკადების უწყვეტობას.

ძირითად ნაკადში სიჩქარის განაწილება ვერტიკალზე შეიძლება აღწერილ იქნეს მაჩვენებლიანი დამოკიდებულებით. მაშინ (5) და (1) ფორმულების გამოყენებით გვექნება:

$$(\alpha + 1) \bar{U} \left(\frac{0,5d}{h} \right)^\alpha = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}} (\tilde{C}_1 + \tilde{C}_2) - U_f. \quad (7)$$

თუ ვისარგებლებთ (6) დამოკიდებულებით, მივიღებთ:

$$\frac{\alpha}{d} (\alpha + 1) \bar{U} \left(\frac{0,5d}{h} \right)^\alpha = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}} (\tilde{C}_1 + \tilde{C}_2), \quad (8)$$

საიდანაც

$$\tilde{C}_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\varepsilon} \left[U_f + (\alpha + 1) \bar{U} \left(\frac{0,5d}{h} \right)^{\alpha-1} \cdot \left(\frac{0,5d}{h} + \frac{\alpha \sqrt{\varepsilon}}{h} \right) \right]; \quad (9)$$

$$\tilde{C}_2 = \frac{1}{2} \sqrt{\varepsilon} \left[U_f - (\alpha + 1) \bar{U} \left(\frac{0,5d}{h} \right)^{\alpha-1} \cdot \left(\frac{0,5d}{h} - \frac{\alpha \sqrt{\varepsilon}}{h} \right) \right]. \quad (10)$$

საბოლოოდ

$$U_\Delta(Z) = \frac{1}{2} \left\{ \left[U_{\mathfrak{g}} + A \left(\frac{0,5d}{h} + \frac{\alpha \sqrt{\varepsilon}}{h} \right) \cdot \exp^{(Z/\sqrt{\varepsilon})} \right] + \left[U_f - A \left(\frac{0,5d}{h} - \frac{\alpha \sqrt{\varepsilon}}{h} \right) \cdot \exp^{(-Z/\sqrt{\varepsilon})} \right] \right\} - U_f, \quad (11)$$

სადაც $A = (\alpha + 1) \bar{U} (0,5d/h)^{\alpha-1}$.

როდესაც $Z = -\Delta$, ინტეგრირებული დინების სიჩქარე კალაპოტქვეშა შრეში ტოლია: $U_\Delta(Z) = U_{\mathfrak{g}}$.

კალაპოტის შრის სისქის შეფასებისას გამოიყენება ფორმულა (11), რომლის გარდაქმნის შედეგად: როდესაც $Z = -\Delta$, დინების სიჩქარე კალაპოტქვეშა ზედაპირულ შრეში $U_\Delta(Z) = U_{\mathfrak{g}}$ განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$4U_{\mathfrak{g}} = \left[U_{\mathfrak{g}} + A \left(\frac{0,5d}{h} + \frac{\alpha \sqrt{\varepsilon}}{h} \right) \right] \cdot \exp^{(\Delta/\sqrt{\varepsilon})} + \left[U_f - A \left(\frac{0,5d}{h} - \frac{\alpha \sqrt{\varepsilon}}{h} \right) \right] \cdot \exp^{(-\Delta/\sqrt{\varepsilon})}. \quad (12)$$

კალაპოტქვეშა ზედაპირულ შრეში Δ შრის სისქის შეფასებისათვის ვისარგებლოთ (12) ფორმულით. შემოვისაზღვროთ პირველი სამი წევრით, რის შედეგადაც მივიღებთ შემდეგი სახის დამოკიდებულებას:

$$4U_{\mathfrak{g}} = \left[U_{\mathfrak{g}} + A \left(\frac{0,5d}{h} + \frac{\alpha \sqrt{\varepsilon}}{h} \right) \right] \cdot \left(1 - \frac{\Delta}{\sqrt{\varepsilon}} + \frac{\Delta^2}{\sqrt{\varepsilon}} \right) + \left[U_{\mathfrak{g}} - A \left(\frac{0,5d}{h} - \frac{\alpha \sqrt{\varepsilon}}{h} \right) \right] \cdot \left(1 + \frac{\Delta}{\sqrt{\varepsilon}} + \frac{\Delta^2}{\sqrt{\varepsilon}} \right). \quad (13)$$

(13) ფორმულა ამოვსხნათ Δ -ის მიმართ:

$$\Delta = \frac{\alpha U_f \varepsilon + \sqrt{\alpha^2 U_{fs}^2 \varepsilon^2 + (U_f^2 - U_{fs}^2) \varepsilon d^2}}{d(U_f + U_{fs})}. \quad (14)$$

(14) დამოკიდებულებაში აღებულია მეორე შესაკრების დადებითი მნიშვნელობა მრიცხველში იმ პირობით, რომ კალაპოტქვეშა ზედაპირული შრე მონოტონურად უნდა იზრდებოდეს გრუნტის ნაწილაკის ზომისა და ძირითადი ნაკადის ფსკერული სიჩქარის ზრდასთან ერთად.

თუ შევაფასებთ წყალქონვადი შრის სიდიდეს, როდესაც $U_{fs} \gg U_f$, მაშინ გვექნება:

$$\Delta = \frac{\alpha \varepsilon \sqrt{\alpha^2 \varepsilon^2 - \varepsilon d^2}}{d}, \quad (15)$$

საიდანაც

$$\varepsilon \gg \frac{d^2}{\alpha^2}. \quad (16)$$

(16) დამოკიდებულება წყალქონვადი გრუნტის ნაწილაკის ზომის, სითხის სიბლანტის და ფსკერული სიჩქარის გათვალისწინებით შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$\varepsilon = \varepsilon(d, \nu, g, U_{fs}), \quad (17)$$

სადაც

$$\varepsilon = d^l, \nu^m, g^n, U_{fs}^p. \quad (18)$$

გრუნტის წყალქონვადობას თუ აქვს განზომილება, მაშინ

$$l + 2m + n + p = 2; \quad (19)$$

$$m + 2n + p = 0. \quad (20)$$

როგორც კვლევამ გვიჩვენა, გრუნტის წყალქონვადობა ფილტრაციის კოეფიციენტის პროპორციულია, რაც, თავის მხრივ, ნაწილაკის ზომის კვადრატის პროპორციულია [1, 2, 3, 4], მაშინ (16) დამოკიდებულების გათვალისწინებით მივიღებთ, რომ $l=2$ და $m=n$. თუ შემოვიღებთ დისიპაციური სიჩქარის ცნებას, მაშინ

$$\varepsilon = \kappa \frac{d^2 U_{fs}}{\alpha^2 (g \nu)^{1/3}}, \quad (21)$$

სადაც κ არის ემპირიული კოეფიციენტი.

ამ კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის ვისარგებლოთ ექსპერიმენტებში მიღებული მონაცემებით, რომლის მიხედვით

$$\varepsilon = 2,5 \frac{d^2 U_{fs}}{\alpha^2 (g\nu)^{1/3}}, \quad (22)$$

სადაც Δ, α, U_{fs} და U_{Σ} პარამეტრები განისაზღვრება (16) და (21) ფორმულების გამოყენებით.

ექსპერიმენტული მონაცემების გაანგარიშებიდან ჩანს, რომ კალაპოტკეშა ზედაპირული შრის სისქე იცვლება 10–50 ნაწილაკის დიამეტრის შუალედში, რაც ხარისხობრივად ემთხვევა [3, 4] ნაშრომებში მოყვანილ მონაცემებს.

განვიხილოთ ძირითადი ნაკადისა და ფილტრაციული დინების ურთიერთზე მოქმედების გავლენა კალაპოტში ნაკადის ჰიდრავლიკურ პარამეტრებზე. ეს შეიძლება განხორციელდეს რეინოლდსის რიცხვის ანალოგიური პარამეტრის შემოღებით. საერთოდ, რეინოლდსის რიცხვი შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს, როგორც ნაკადის ტურბულენტური ენერგიის შეფარდება ფილტრაციული დინების დისიპაციურ ენერგიასთან, ე.ი.

$$Re = \frac{U^3/h}{U^2 \nu/d^2}. \quad (23)$$

ფილტრაციის გათვალისწინებით, მივიღებთ:

$$Re_f = \frac{\bar{U}^3/h}{\bar{U}_\Delta^2 \nu/d^2}. \quad (24)$$

Re_Σ პარამეტრს აქვს პრაქტიკულად იგივე ფიზიკური აზრი, როგორც (23) დამოკიდებულებას, ე.ი. იგი წარმოადგენს ტურბულენტური ენერგიის შეფარდებას დისიპაციურ ენერგიასთან. ამასთან, სიჩქარის სიდიდე $\bar{U}_\Delta$ განისაზღვრება (11) დამოკიდებულებით, როგორც ინტეგრირებული დინების სიჩქარე, როდესაც $Z \leq 0$:

$$\bar{U}_\Delta = \frac{1}{\Delta} \int_{Z=-\Delta}^0 U_\Delta(Z) dZ. \quad (25)$$

ეს თანაფარდობა კარგად აპროქსიმირდება დამოკიდებულებით, რომელიც მიიღება უმცირეს კვადრატთა მეთოდის გამოყენებით:

$$\lambda = \frac{\alpha^2 \Delta^2}{\varepsilon} \left(\frac{1}{50} + \frac{3,6}{Re_f^{2/5}} + \frac{240}{Re_f^{4/5}} \right)^2. \quad (26)$$

ამრიგად, (26) დამოკიდებულება ადასტურებს ადრე მიღებულ დასკვნებს პროპორციულობის კოეფიციენტის მუდმივობის შესახებ. მიღებული შედეგებით თუ ვი-

ხელმძღვანელებთ, მაგალითად, $\kappa=0,9$ ან $\kappa=0,88$ [2] წარმოადგენს კერძო შემთხვევას, როდესაც $Re_{\varphi} \approx 10^4$, აგრეთვე $\bar{U}_A=0$ აზრს კარგავს.

უნდა აღინიშნოს, რომ ჰიდრავლიკური წინაღობის კოეფიციენტის პროპორციულობა, რეინოლდსის რიცხვი $-1/4$ ხარისხში, აიღება ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე. როგორც ექსპერიმენტული კვლევის ანალიზმა აჩვენა, კალაპოტკეშა ზედაპირული დინების შრის სისქე არაერთგვაროვნადაა დამოკიდებული კალაპოტის შემადგენელი გრუნტის ფილტრაციულ მახასიათებლებზე.

3. დასკვნა

წყალქონვად კალაპოტებში, კალაპოტწარმომქმნელი პროცესების დარეგულირების დროს, თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის მონაცემების ანალიზის საფუძველზე მიღებული საანგარიშო (25) და (26) დამოკიდებულებების პრაქტიკული რეალიზაცია მნიშვნელოვნად დაეხმარება საპროექტო და სამშენებლო ორგანიზაციებს წყალსამეურნეო ობიექტების დაპროექტების, მშენებლობისა და ექსპლუატაციის ეფექტური და საიმედო მეთოდების შემუშავებაში.

ლიტერატურა

1. Джумагулова Н.Т., Дебольский В.К., Губеладзе Д.О. Математическая модель трансформации донных форм при наличии индуцированного течения // Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Методы математического моделирования в задачах охраны природной среды экологии". Новосибирск, 1990, с. 15.
2. Yamada T., Kawabata A. A theoretical study on the resistance law of the flow over a porous layer. Proc. JSGE. 1982 N 525. pp. 69-80 (in Japanese). M4.
3. Ward J.C. 'Turbulent flow in porous media, Proc. ASCE, -journal of the Hydraulics Division, vol. 90. N 15, 1964. pp. 1-12.
4. Walters G.Z., Manam V.P. Hydrodynamic effects Of see page on bed particles ლ. Hydr. Div. Proc. ASCE. vol. 97 1971. pp. 421-459.
5. Zanke I. Grundlagen der sedimen.tbewe Kun.g. Berlin Heidelberg. New-York, 1982 s 401 pp. 55-59.

შპს 626.823.93

კალაპოტური პროცესების თავისებურება

ლ. კლიმიაშვილი, დ. გუბელაძე, ი. ყრუაშვილი დ. გურგენიძე

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

რეზიუმე: წყლით გამოწვეული ეროზიული პროცესების კვლევისას ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანა ნაკადის ჰიდროდინამიკური სტრუქტურის შესწავლაა ფსკერულ და მის მიმდებარე შრეში, რადგან ძირითადად ის განაპირობებს კალაპოტის დეფორმაციას, სიჩქარის ველის ტრანსფორმაციას და ტურბულენტური აღრევის ინტენსიურობას.

ღია კალაპოტური ნაკადის ქვედა შრეში, ინდუცირებული ღინების გავლენით, კალაპოტური დეფორმაციების გაანგარიშების მეთოდების შემდგომი სრულყოფა წყლით გამოწვეული ეროზიული პროცესების შესწავლის ერთ-ერთი აქტუალური საკითხია.

საკვანძო სიტყვები: ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობა; წყალქონვადი კალაპოტი; ფილტრაციული ღინება; დისიპაციური ენერგია.

1. შესავალი

მიწის რესურსების რაციონალური გამოყენება და გარემოს ეკოლოგიური წონასწორობის შენარჩუნება მოითხოვს წყალსამეურნეო ობიექტების დაპროექტების მშენებლობისა და ექსპლუატაციის ეფექტური და საიმედო მეთოდების დამუშავებას. ეს მეთოდები უმთავრესად გულისხმობს წყლით გამოწვეული ეროზიული პროცესების თეორიული, ნატურული და ლაბორატორიული კვლევების შედეგებით დასაბუთებული ფიზიკური მოვლენების ამსახველი საანგარიშო დამოკიდებულებების პრაქტიკულ გამოყენებას.

ჰიდროდინამიკური პროცესების გამოკვლევა უშუალოდ სასაზღვრო შრეში პრაქტიკულად მიუღწეველია პროცესის სირთულისა და გამზომ-მარეგისტრირებელ ხელსაწყოთა ბაზის უქონლობის გამო. აქედან გამომდინარე, ლოგიკური სქემის

აგება პირობითად მიღებული ნაკადის მიკროშრის გარე არისათვის, მახასიათებლების გათვლა და მისი ინტერპოლაციით შებმა სასაზღვრო პირობებთან საშუალებას იძლევა, მექანიკის ძირითადი კანონებიდან გამომდინარე, აგებულ იქნეს სიჩქარის პროფილის თვისებრივი და რაოდენობრივი ცვლილების სრული სურათი.

უპირატესად ყველა ექსპერიმენტული გამოკვლევის შედეგი ასახავს სხვადასხვა წარმოშობის და ბუნების ძალების ერთობრივ მოქმედებას, ამიტომ ნატანის წონასწორობისა და მოძრაობის რთული კანონზომიერებების დასადგენად აუცილებელი ხდება ამ ძალების დიფერენცირებული შეფასება.

დღეისათვის არსებობს სხვადასხვა სტრუქტურის მქონე დამოკიდებულებები, რომლებიც აღწერს სიჩქარეთა განაწილების კანონზომიერებებს ფსკერულ შრეში და საჭიროებს ექსპერიმენტულ დასაბუთებას. მიღებული ძირითადი, თეორიული კონცეფციები და დასკვნები განსხვავდება ექსპერიმენტის მონაცემებისგან, აუცილებელი ხდება მიღებული შედეგების საიმედოობის შეფასება წინასწარ დანიშნული სარწმუნო დონის მიხედვით, რასაც ვერ უზრუნველყოფს ექსპერიმენტული კვლევის მონაცემების სიმცირე და ზოგიერთ შემთხვევაში ინდუცირებული ნაკადის, როგორც ფაქტორის უგულებელყოფა. ამის გამო, მიზანშეწონილად მიგვაჩნია კალაპოტწარმოქმნილი პროცესების ფიზიკური მოვლენის რეალური სურათის ამსახველი იმიტაციური მოდელების შექმნა, მოქმედ ფაქტორთა მაქსიმალური გათვალისწინებით, კალაპოტქვეშა ზედაპირულ შრეში.

2. ძირითადი ნაწილი

კალაპოტში დინების სიჩქარის განსაზღვრა ყოველთვის ხდება ფსკერზე მდებარე ნაწილაკის მდგრადობის პირობიდან გამომდინარე, შემდგომ ნაკადის მთელ სიღრმეზე იზომება სიჩქარეთა განაწილება და აიღება კვეთში სიჩქარეთა საშუალო მნიშვნელობები. ამ დროს ნაკადი რეგულირდება ისეთი მახასიათებლით, როგორიცაა ფსკერული არაგამრეცხი სიჩქარე.

მდგრად კალაპოტებში ხშირად გამოიყენება დამოკიდებულება, რომელიც აღწერს არაგამრეცხ სიჩქარეს შემდეგი სახით:

$$U_a = \sqrt{\frac{2f_0(\rho_n - \rho_w)gd}{\lambda_0\rho_n}}. \quad (1)$$

λ_0 არის ჰიდრაულიკური წინაღობის კოეფიციენტი, რომელიც შეესაბამება ნაწილაკის დაძვრის პირობას და განისაზღვრება ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$\lambda = \frac{\alpha^2 \Delta^2}{\varepsilon} \left(\frac{1}{50} + \frac{3,6}{\text{Re}_f^{2/5}} + \frac{240}{\text{Re}_f^{4/5}} \right)^2. \quad (2)$$

(2) დამოკიდებულებაში შემავალი პარამეტრები Δ , ε , Re_g გამოითვლება

შემდეგი სახით:

$$\Delta = \frac{\alpha U_{fs} \varepsilon + \sqrt{\alpha^2 U_{fs}^2 \varepsilon^2 + (U_f^2 - U_{fs}^2) d^2}}{d(U_f + U_{fs})}, \quad (3)$$

სადაც U_{gs} არის ფსკერული სიჩქარე 0,5d ნაწილაკის ჰორიზონტზე; U_g – ფილტრაციული დინების სიჩქარე.

$$\varepsilon = 2,5 \frac{d^2}{\alpha^2} \frac{U_{gs}}{(gv)^{1/3}}; \quad (4)$$

$$\text{Re}_g = \frac{\bar{U}^3/h}{\bar{U}_\Delta^2 v/d^2}, \quad (5)$$

სადაც $\bar{U}_\Delta$ არის კალაპოტქვეშა ზედაპირული დინების საშუალო სიჩქარე Δ შრეში.

$$\bar{U}_\Delta = \frac{1}{\Delta} \int_{z=-\Delta}^0 U_\Delta(Z) dZ; \quad (6)$$

$$U_\Delta(Z) = \frac{1}{2} \left\{ \left[U_f + U_{fs} \left(1 + 2 \frac{\alpha \sqrt{\varepsilon}}{d} \right) \right] \cdot E^{Z/\sqrt{\varepsilon}}; \right. \\ \left. \left[U_f + U_{fs} \left(1 - 2 \frac{\alpha \sqrt{\varepsilon}}{d} \right) \right] \cdot E^{-Z/\sqrt{\varepsilon}} - \right\} - U_f. \quad (7)$$

ლოკალური ჰიდრაულიკური წინაღობის კოეფიციენტი განისაზღვრება შემდეგი თანაფარდობით:

$$\lambda(y) = \frac{1}{K^2} \lambda, \quad (8)$$

სადაც λ არის ჰიდრაულიკური წინაღობის ინტეგრალური კოეფიციენტი; y – მანძილი მდინარის ნაპირიდან განსახილველ ვერტიკალამდე; K – შემასწორებელი კოეფიციენტი.

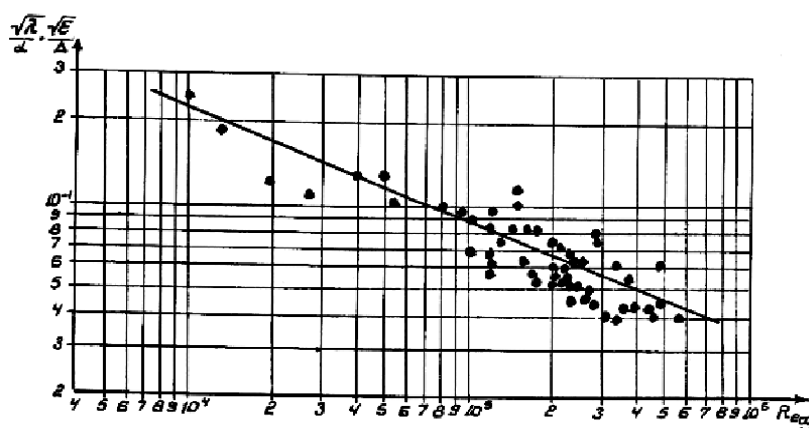
$$K = \frac{B}{\int_0^B \sqrt{\frac{h(y)}{R(y)}} dy}, \quad (9)$$

სადაც K არის ჰიდრავლიკური წინაღობის ლოკალური კოეფიციენტი.

ამრიგად, თუ განვსაზღვრავთ (8) ფორმულით ჰიდრავლიკური წინაღობის ლოკალურ კოეფიციენტს და ჩავსვამთ (1) დამოკიდებულებაში, გამოვთვლით ძირითად ნაკადში ფსკერულ სიჩქარეს შემდეგი მაჩვენებლიანი დამოკიდებულებით:

$$U_{fs} = (1 + \alpha) \bar{U} \left(\frac{0.5d}{h} \right)^\alpha. \quad (10)$$

მიღებული გრაფიკული დამოკიდებულება (ნახაზი) ასახავს ექსპერიმენტული კვლევის ანალიზის შედეგებს.



დამოკიდებულება $\sqrt{\lambda}/\alpha \sqrt{\epsilon}/\Delta$ და
 Re შორის

ექსპერიმენტული კვლევის ანალიზმა დაგვანახა, რომ კალაპოტქეშა ზედაპირული დინების შრის სისქე არაერთგვაროვნად არის დამოკიდებული კალაპოტის შემადგენელი გრუნტის ფილტრაციულ მახასიათებლებზე, ხოლო ფილტრაციული ამოცანის ამოხსნა ექსპერიმენტებში შეიძლება განისაზღვროს $\bar{U}$ და α გაზომვებით.

3. დასკვნა

ექსპერიმენტული კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ მდინარის ნაკადის მდგრადობის საკითხი წყალგონვად კალაპოტში ინდუცირებული დინებისა და ჰიდრავლიკური წინაღობის კოეფიციენტის მახასიათებლებს შორის რჩება ერთ-ერთ მნიშვნელოვან საკითხად, კალაპოტური პროცესების შესწავლისას.

კალაპოტქვეშა ზედაპირული დინების შრის სისქე არაერთგვაროვნად არის დამოკიდებული კალაპოტის შემადგენელი გრუნტის ფილტრაციულ მახასიათებლებზე.

თუ გვეცოდინება $d, h, \nu, \alpha, \bar{U}$ და $U_{\text{ფ}}$ სიდიდეები, განვსაზღვრავთ ნაკადის $U_{\text{ფ}}$ სიჩქარეს.

ლიტერატურა

1. Джумагулова Н.Т., Дебольский В.К., Губеладзе Д.О. Математическая модель трансформации донных форм при наличии индуцированного течения. Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Методы математического моделирования в задачах охраны природной среды экологии". Новосибирск, 1990. с. 15.
2. Yamada T. Kawabata A. A theoretical study on the resistance law of the flow over a porous layer. Proc. JSGE. 1982 N 525. pp. 69-80 (in Japanese). M4.
3. Ward J.C. 'Turbulent flow in porous media, Proc. ASCE, - journal of the Hydraulics Division, vol. 90. N 15, 1964. pp. 1-12.
4. Walters G.Z., Manam V.P. Hydrodynamic effects of sediment on bed particles. Hydr. Div. Proc. ASCE. vol. 97 1971. pp. 421-459.
5. Zanke I. Grundlagen der sedimentbewegung. Berlin Heidelberg. New-York, 1982 s 401 pp. 55-59.

УДК 631.626.3

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОРЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ ДРЕНАЖНО – МОДУЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ С РАЗНОУРОВНЕВЫМИ РЕГУЛИРУЮЩИМИ ДРЕНАМИ

Р.Н. Ткачук, Н.Н. Ткачук, А.Н. Рокочинський

(Грузинский технический университет)

Резюме: Рассмотрены усовершенствованная конструкция дренажно - модульной системы с разноразновыми дренами и технология водорегулирования осушаемых земель. Получены зависимости суммарного стока с традиционных дрена (уложенных на одинаковую глубину) и дренажных модулей с разноразновым подключением регулирующих дрена и методика расчета параметров дренажно - модульной системы

Ключевые слова: дренажно – модульная система; дренажный модуль; конструкция дренажа; технология водорегулирования; осушаемые земли; методы расчета; эффективность.

1. ВВЕДЕНИЕ

Постоянно возрастающая потребность населения в продуктах питания требует от сельского хозяйства получения высоких и устойчивых урожаев. Этого можно достичь путем регулирования водно-воздушного режима почв. Необходимость регулирования водного режима обусловлена природными условиями, неблагоприятными для организации стабильного сельскохозяйственного производства. Влияние на водный режим почв значительно расширяет наши возможности в области водного хозяйства и позволяет улучшить мелиоративное и экологическое состояние сельскохозяйственных угодий и окружающей среды.

На переувлажненных землях гумидной зоны регулирование водно-воздушного режима почв осуществляется с помощью осушительных (осушительно – увлажнительных) систем. Однако эти системы еще недостаточно эффективны при эксплуатации. Современный традицион-

ный закрытый дренаж, запроектированный в соответствии с нормативными требованиями, решает задачу постоянного и интенсивного понижения УГВ на необходимую норму осушения (0,5...0,6м) в предпосевной период. Наблюдение за режимом УГВ во время весеннего наводнения на легких и средних почвах показало, что при глубине заложения дрен 1,2 м и больше, происходит интенсивное понижение УГВ (до 6 см в сутки), что во многих случаях приводит в первый месяц вегетации к переосушению корнеобитаемого слоя грунта. Исследованиями установлено также, что даже в средние по влажности годы, уже в начале вегетационного периода, УГВ снижается к глубине заложения дрен, а в июне, июле, августе – ниже этой величины на 0,1 м и больше. Таким образом, на протяжении значительного времени вегетационного периода грунтовые воды мало влияют на формирование динамики почвенной влаги. Влажность гумусного горизонта в значительной мере зависит от осадков, которые в гумидной зоне очень неравномерные во времени. Такое состояние режима УГВ заставляет уже в первые месяцы вегетации (апрель, май месяцы) подавать воду на осушаемый участок с целью увлажнения. Кроме того, традиционные дренажи капиталоемкие при эксплуатации и строительстве осушительных и осушительно – увлажнительных систем. Все это требует научно обоснованных и экономически оправданных технических решений при водорегулировании. Особое внимание необходимо уделять регулирующей сети гидромелиоративных систем, как основному антропогенному фактору влияния на естественно-мелиоративный режим территорий. Многообразие почвенных, гидрологических и климатических условий в гумидной зоне обусловило разработку различных конструкций регулирующей сети, а рост требований к осушительным системам выдвинул увеличение числа критериев (экономических и экологических), которым должны отвечать средства и способы регулирования водно – воздушного режима почвы.

Цель исследований – усовершенствовать существующие конструкции гидромелиоративных систем и технологии водорегулирования осушаемых земель по модульному принципу, который обеспечивает саморегулирование водного режима почв за счет гидравлической связи между разноуровневым подключением регулирующих дрен.

Объект исследований. Есть процессы водорегулирования осушительных земель саморегулирующими дренажными системами с разноуровневым подключением регулирующих дрен.

Методика исследований. Лабораторные исследования проводились на большой фильтрационной грунтовой модели кафедры природообустройства и гидротехнической мелиорации Национального университета водного хозяйства и природопользования и в полевых условиях гумидной зоны. Методика проведения исследований разработана, исходя из условий и особен-

ностей работы дренажно – модульной системы при разноуровневом подключении регулирующих дрен. При исследовании совместной работы мелкой и глубокой дрен изучались раздельный и общий сток с дрен, разделение линий равных напоров между дренами, зоны влияния дрен, аккумулирующая возможность дренажного модуля.

В полевых условиях изучались особенности работы модулей, их влияние на режим уровней грунтовых вод и систему дренажного стока, уточнялись конструктивные параметры, с целью обеспечения быстрее внедрения в производство.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Многолетний опыт эксплуатации осушительных и осушительно-увлажнительных систем показывает, что на мелиорируемых землях не всегда удается создавать оптимальный водно-воздушный режим почвы. В настоящее время изучению этого вопроса посвящено значительное количество научных работ [1,2,3,4,5,6], анализ которых побудил к проведению основательных и широкомасштабных исследований в Национальном университете водного хозяйства и природопользования.

Чтобы отвечать современным требованиям, предъявляемым к регулированию водно-воздушного режима почв, одним из путей совершенствования гидромелиоративных систем является улучшение технологии водорегулирования и выполнения других новых функций. В нашем университете этими вопросами, в разное время, занимались: Потоцкий Г.С., Кожушко Л.Ф., Ткачук Н.Н., Живица В.А. и другие. Ранее были разработаны, исследованы и внедрены дренажные модули и дренажные экранно-модульные системы с усовершенствованной регулирующей сетью [7,13]. Данная сеть представляет собой систематический дренаж в виде системы параллельных дрен-осушителей или собирателей, заложенных на периодически повторяющихся глубинах и расстояниях. Конструктивной особенностью дренажных модулей является:

- укладка соседних дрен на разную глубину в соотношении: мелкая-среднеглубокая; мелкая-глубокая; среднеглубокая-глубокая;
- разные режимы работы, предусматривающие в т. ч. отвод избыточных почвенных и грунтовых вод в критические периоды работы дренажно-модульной системы и регулирования УГВ в течение вегетационного периода.

Кроме того, в отличие от традиционных способов водорегулирования (осушительных, осушительно-увлажнительных систем) предложены конструкции двухъярусного дренажа

(Живица В.А. 1988) [12] и дренажно-аккумулярующие системы (Кожушко Л.Ф. 2001) [11], позволяющие более эффективно регулировать водный режим, по сравнению с традиционными способами, дополнительно аккумулировать влажность в корнеобитаемом слое почвы и повышать его влагообеспеченность и эффективность водорегулирования.

В настоящее время для реконструкции и модернизации осушительных и осушительно-увлажнительных систем нами разработана и исследована в лабораторных и производственных условиях дренажно-модульная система с разноуровневым подключением регулирующих дрен (конструкция защищена патентом [8, 9], общий вид и схема приведены на рис.1).

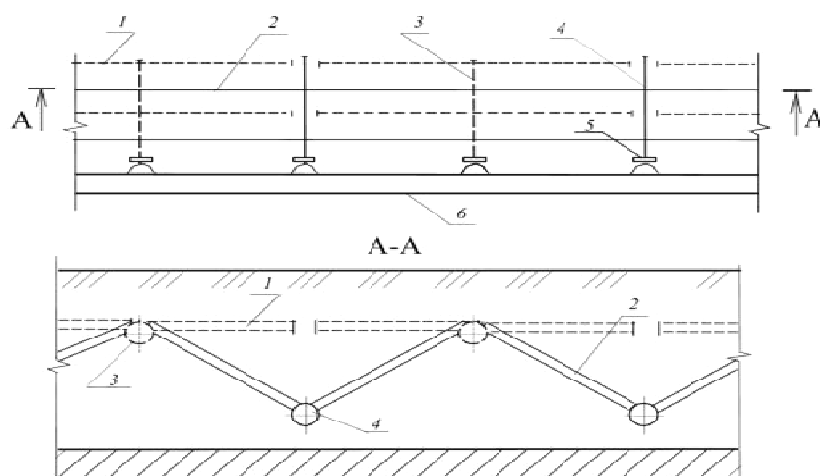


Рис. 1. Дренажно-модульная система с разноуровневым подключением регулирующих дрен: 1 – мелкая дрена; 2 – глубокая дрена; 3 – мелкий коллектор; 4 – глубокий коллектор; 5 – устье; 6 – открытый канал

Принципиальной особенностью такой дренажно-модульной системы является то, что соседние дрены гидравлически связаны между собой и выполняют такие важные функции:

- 1) интенсивно понижают УГВ до нормы осушения в критические периоды работы дренажа (летние ливневые дожди и в период половодья);
- 2) автоматически регулируют УГВ и аккумулируют избыточную воду на протяжении вегетационного периода (по принципу предупредительного шлюзования) в пределах глубин заложения мелкой и глубокой дрен с последующим пополнением дефицита воды в корнеобитаемом слое почвы в засушливый период.

Дренажно - модульные системы с разноуровневым подключением регулирующих дрен интенсифицируют сброс инфильтрационной воды при выпадении интенсивного дождя, а также аккумулируют воду на системе для эффективного ее использования в засушливые пери-

оды вегетации. При этом уменьшаются объемы сброса воды с осушаемых территорий, обеспечивается перераспределение влажности во времени и по почвенному профилю, что тем самым способствует более эффективному использованию природных запасов почвенных вод (Р. Ткачук, А. Рокочинский, 2014) [9].

Результаты исследований дренажно-модульных систем с разноуровневым подключением регулирующих дрен относительно формирования стока при почвенном питании дрен водой с перепадами глубин их укладки $\Delta h=0$, $\Delta h=0,2$ м, $\Delta h=0,4$ м и $\Delta h=0,6$ м приведены на рис. 2.

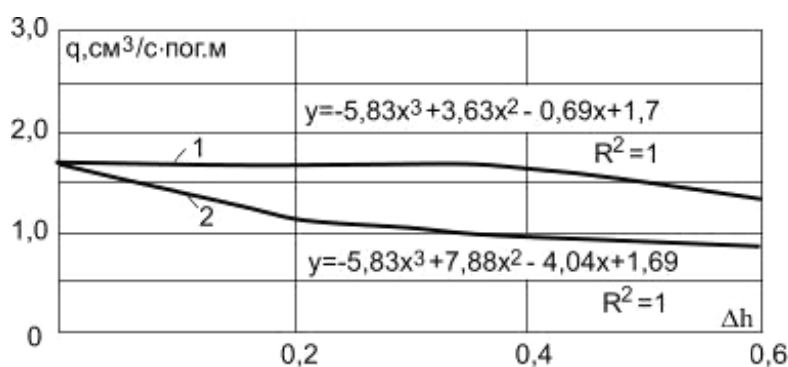


Рис. 2. График стока с глубокой (1) и мелкой (2) дренами при $\Delta h = 0$, $\Delta h = 0,2$ м, $\Delta h = 0,4$ м и $\Delta h = 0,6$ м (см. схему рис.1)

Приведенные данные свидетельствуют о том, что разница стока между мелкой и глубокой дренами, обусловленная разницей глубин Δh - укладки этих дрен в грунт, в свою очередь является определяющим фактором для создания регулирующего эффекта на осушительной сети. Вместе с тем, несмотря на характер и особенности формирования дренажного стока, сток с глубокой дрены существенно отличается от стока с мелкой дрены (при $\Delta t = 0,2$ м - 18%; $\Delta t = 0,4$ м - 30%; $\Delta t = 0,6$ м - 24%, что в среднем составляет 24%), поэтому понятно, что на сток с дрен влияют условия перепада Δh между глубинами укладки мелкой и глубокой дрен. А по мере увеличения разницы глубин укладки Δh , общий суммарный сток дренажного модуля уменьшается, но это уменьшение стока не превышает 23,4% (при $\Delta h=0,4$ м), что свидетельствует о высокой регулирующей и аккумулирующей способности дренажного модуля при регулировании уровней грунтовых вод. Вместе с тем, на графике (рис.2) видно, что сток с глубокой дрены уменьшается, а также имеет место тенденция к формированию экстремума при разнице глубин 0,4 м между дренами.

В результате сравнительного анализа работы традиционных дренах и дренажных модулей (рис.1) видно, что в зависимости от величины Δh (с увеличением Δh , рис.3) дренажный модуль существенно аккумулирует грунтовую воду в пределах Δh данного дренажного модуля. Так, при $\Delta h = 0,2\text{м}$ дренажный модуль аккумулирует воды 18,2%, при $\Delta h = 0,4\text{м}$ – 23,8% и $\Delta h = 0,6\text{м}$ – 36,2%. Относительно дренажного модуля с разноуровневым подключением регулирующих дренах, то этот модуль более медленно понижает УГВ ниже глубины 0,6...0,7м (рис.3) и обеспечивает пополнение зааккумулированного объема в среднем на 7...10%, в сравнении с первым случаем (рис.1). Так, при $\Delta h = 0,2\text{м}$ дренажный модуль аккумулирует воды 22,8%, при $\Delta h = 0,4\text{м}$ – 32,1% и $\Delta h = 0,6\text{м}$ – 46,2%. Таким образом, дренажный модуль с разноуровневым подключением регулирующих дренах одновременно аккумулирует в корнеобитаемом слое больший объем воды, а вместе с тем, и более продолжительное время питает сельскохозяйственные растения во время неблагоприятных погодных условий (неравномерные или отсутствие осадков в вегетационный период).

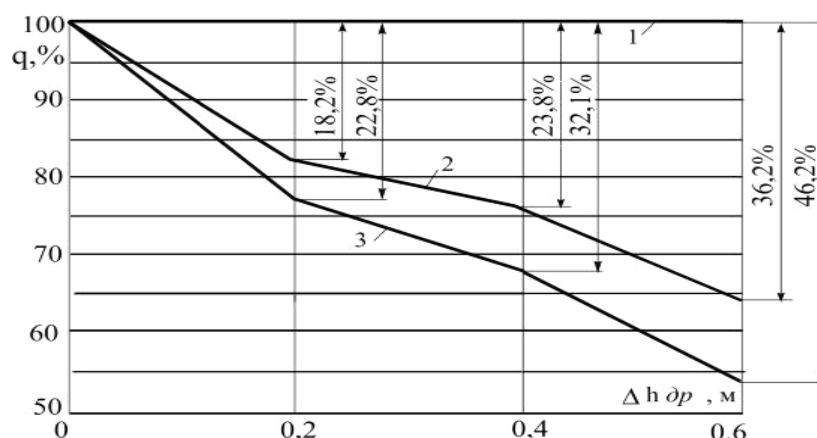


Рис. 3. График суммарного стока (q) от перепада Δh между глубинами укладки мелкой и глубокой дренах $q = f(\Delta h)$: 1 - для традиционных дренах (уложенных на одинаковую глубину); 2 - дренах дренажного модуля с параллельно уложенными мелкой и глубокой дренами; 3 - дренах дренажного модуля с разноуровневым подключением регулирующих дренах в зависимости от Δh

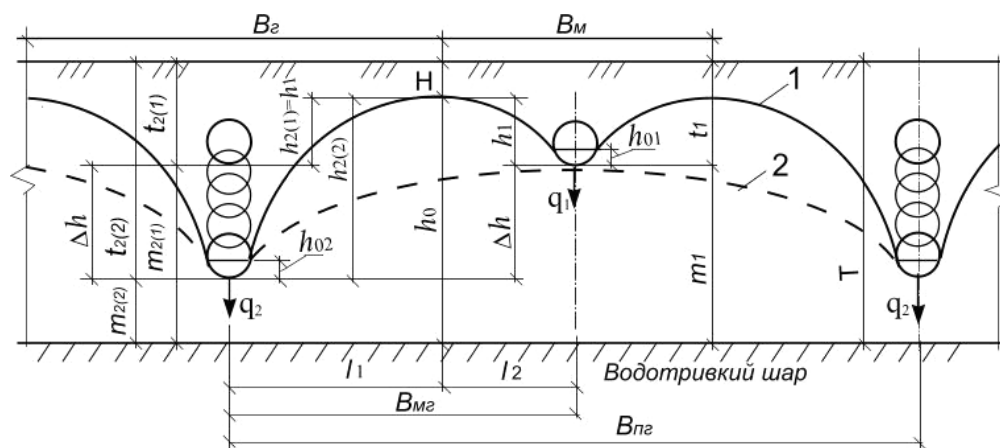


Рис. 4. Схема для расчета расстояния между дренами регулирующего дренажного модуля с разноуровневым подключением регулирующих дренажей: 1 - режим формирования дренажного стока в период паводкового цикла (режима интенсивного понижения УГВ к посевной норме осушения Н), 2 - режим регулирования УГВ в течение вегетационного периода

Результаты исследований дренажно-модульных систем с разноуровневым подключением регулирующих дренажей позволили нам получить, в соответствии с расчетной схемой, зависимость (1) для расчета расстояний $B_{мг}$ между материальными (несовершенными) глубокой и мелкой дренами (см. рис.4).

$$B_{мг} = \frac{2 \pi k_{\phi}}{\ln \frac{B_0}{d} + \eta \Phi_i - 1} \sqrt{\frac{1}{q_2} \left(1 + \frac{m_2^2 + \Delta h_{розр}^2}{h_0^2} \right) + \frac{1}{q_1} \left(1 + \frac{m_1^2}{h_0^2} \right)}, \quad (1)$$

где $B_{мг}$ - расстояние между материальными (несовершенными) глубокой и мелкой дренами (определяется с учетом типа водного питания на осушенном массиве), м; d - диаметр дрена, м; η - коэффициент защиты дрена фильтрующим материалом, $\eta = 0,9$; h_0 - максимальный уровень грунтовых вод между дренами (см. рис.4), м; k - коэффициент фильтрации грунта, м/сут.; $\Delta h_{розр}$ - усредненная разница напоров между глубокой и мелкой дренами (перепада между устьевой и истоковой глубинами укладки глубокой дрена), м; m_1 - мощность водоносного слоя под мелкой дрена, м; m_2 - мощность водоносного слоя под глубокой дрена, м; q_1, q_2 - интенсивность притока воды к дренам, соответственно к глубокой и мелкой, м/сут.; Φ_0 принимается соответственно табл.1; B_0 - теоретическое расстояние между глубокой и мелкой дренами, совершенными по степени и характеру вскрытия водоносного слоя (получена теоретически-эмпирическим путем).

Таблица 1

Фильтрационные сопротивления по характеру вскрытия водоносного слоя Φ_0 , в зависимости от конструкции дрена, в соответствии [10]

Тип дрена, характеристика фильтра и условия его укладки	Фильтрационные сопротивления по характеру вскрытия водоносного слоя Φ_0
Керамические трубы без фильтра	8
Керамические трубы с оберткой стыков рулонными защитно – фильтрующими материалами	3
Керамические трубы со сплошной оберткой	1
Гофрированные пластмассовые трубы без фильтра	4
То же, с оберткой рулонными защитно – фильтрующими материалами	0,5
При устройстве объемных фильтров толщиной 20 см и более	0

Для определения B_0 используется следующее, полученное нами, выражение:

$$B_0 = h_0 \sqrt{k \cdot \left(\frac{\alpha_1}{q_1} + \frac{\alpha_2}{q_2} \right)}, \quad (2)$$

Коэффициенты α_1 и α_2 зависят от разницы глубин Δh - укладки в грунт мелкой и глубокой дрена (учитывают несовершенство дрена по степени вскрытия водоносного слоя), и связаны между собой соотношением

$$\alpha_2 = 2 - \alpha_1. \quad (3)$$

Коэффициент α_1 установлен опытным путем для различных значений перепада Δh между мелкой и глубокой дренами, параллельно расположенными в плане и по высоте (табл. 2).

Таблица 2

Значение коэффициентов α_1 при различных перепадах Δh

Перепад между дренами $\Delta h, \text{м}$	0,2	0,4	0,6
Коэффициент α	1,069	1,092	1,116

Если глубокая дрена расположена на водоупорном слое, то $\alpha_1 = 1$.

Полусумма модулей притоков воды q_1, q_2 , соответственно к глубокой и мелкой дренам, представляет собой среднесуточную интенсивность инфильтрационного притока воды к грунтовым водам $\bar{q}$ (см. рис.4)

$$\bar{q} = \frac{q_1 + q_2}{2} . \quad (4)$$

Дренажный сток $\bar{q}$ распределяется между глубокой и мелкой дренами в соотношении

$$q_1 = a_1 \cdot \bar{q} ; \quad (5)$$

$$q_2 = a_2 \cdot \bar{q} . \quad (6)$$

Среднесуточную интенсивность притока воды к грунтовым водам $\bar{q}$ можно определить, используя уравнения водного баланса, при этом следует иметь в виду, что в отличие от традиционного дренажа дренажные модули регулируют водный режим в пределах мелкой и глубокой дрена. При использовании вместо обычного дренажа дренажные модули, и с учетом рекомендаций [1] уравнение водного баланса будет иметь вид

$$\bar{q} = (1 - \alpha)P - E + \Delta W , \quad (7)$$

где α - коэффициент, учитывающий часть атмосферных осадков, которые поступили на подпитку грунтовых вод;

P - сумма осадков, м³/га;

E - суммарное испарение за расчетный период, м³/га;

ΔW - продуктивный запас влаги на начало расчетного периода, м³/га.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложенный способ регулирования водного режима почв дренажными модулями с разноуровневым подключением регулирующих дрена объединяет известные традиционные способы регулирования водного режима – осушение и шлюзование (предупредительное и увлажнительное) без использования регулирующих сооружений на каналах и коллекторах. Разрешает в гумидной зоне на гидромелиоративных землях экономно и эффективно распределять во времени и пространстве, так называемую, избыточную влагу.

2. С уменьшением напора на глубокую дрена, подключенную одновременно до мелкого и глубокого коллекторов, сток из нее уменьшается к объему, равному объему с мелкой дрена, что позволяет уменьшать сток с дрена, особенно в летний период, и в большей степени

8. Рокочинський А.Н., Ткачук Н.Н., Ткачук Р.Н. Расчет расстояний между разноуровневыми дренами дренажно-модульных систем // Актуальные научно – технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: Сборник научных статей Международной научно-практической конференции, часть 3. (Брестский государственный технический университет, 23 – 25 апреля 2014). Брест, с.245 – 253.
9. Рокочинський А.М., Ткачук М.М., Ткачук Р.М. Покращення водного режиму ґрунтів дренажно-модульних систем дворівневими регулюючими дренами // Вісник НУВГП. -2013. Вип. 4 (64). - 3-11с.
10. ДБН В.2.4-1-99. Меліоративні системи та споруди. Частина 1. Норми проектування. Частина 2: Організація виконання робіт.- Київ, 1999. - 174 с.
11. Кожушко Л.Ф. Вдосконалення інженерних рішень при реконструкції дренажних систем //Науково-технічний збірник “Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво” Вип. 21. – Рівне. – 1997. – С. 88-93.
12. Живица В.А. Работа двухярусного дренажа на минеральных грунтах атмосферно-грунтового питания в зоне неустойчивого увлажнения: Дис. канд. техн. наук. – Ровно, 1988. – 207 с.
13. Патент України № 49770. МПК ЕО2В 3/00. Дренажно-модульна система / Ткачук Р.М, Ткачук М.М. / БВ № 17, 2010.

УДК 541.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

И.Г. Бердзенишвили, К.Н. Камкамидзе, Д.Л. Кикнадзе

(Грузинский технический университет)

Резюме: Работа посвящена численному моделированию поведения элементов в водных растворах. Представлены алгоритмы решения данной задачи. Показано, что в водных растворах в результате протекания реакций гидролиза изменяется pH раствора. Рассчитаны формы нахождения алюминия в разных средах. Выявлены доминирующие формы кальция в растворе в зависимости от величин pH .

Ключевые слова: водный раствор; гидролиз; формы кальция.

1. ВВЕДЕНИЕ

В природе наиболее распространены водные растворы. Они распространены в живой и неживой природе и имеют огромное значение для жизнедеятельности людей, а состав этих растворов во многом контролирует ее безопасность. В водных растворах в силу протекания различных процессов и химических реакций (гидролиза, комплексообразования и т.д.), элементы, которые образуют вещество и которые перешли в раствор, будут находиться в самых разных формах, т.е. довольно большие группы атомов химических элементов в каждый промежуток времени находятся в конкретных относительно устойчивых сочетаниях между собой [1–3].

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Данные сочетания или формы нахождения химических элементов подчиняются различным физико-химическим закономерностям и возможны только при определенных внешних условиях. Как уже указывалось, формы нахождения элементов в растворе в значительной

степени определяются реакциями гидролиза, в результате которых изменяется рН раствора, что приводит к зависимости форм нахождения элементов в растворе от концентрации ионов водорода $[H^+]$ [1, 4-7].

Концентрация ионов водорода зависит от ионного произведения воды (константы диссоциации воды). При 25°C константа диссоциации воды (K_w) равна:

$$K_w = [H^+][OH^-] = 10^{-14} \text{ моль}^2/\text{л}^2.$$

Если в растворе $[H^+] > 10^{-7}$ моль/л, то такой раствор является кислым; при $[H^+] < 10^{-7}$ моль/л – раствор щелочной, а для нейтральных растворов – $[H^+] = 10^{-7}$ моль/л ($T = 25^\circ\text{C}$). При анализе кислотности раствора часто вместо абсолютных значений молярной концентрации ионов водорода пользуются понятием рН раствора [1, 3, 8]. По определению

$$pH = \lg(1/[H^+]) = -\lg[H^+].$$

На рис. 1 кислотность раствора выражена через рН раствора.



Рис. 1. Шкала значений рН

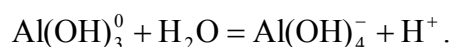
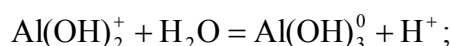
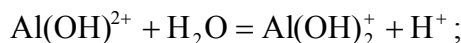
Целью настоящей работы является прогноз поведения алюминия и кальция в водных растворах путем расчета форм нахождения данных элементов в природных водах при определенных значениях рН раствора и последующий анализ состава раствора при изменении этого параметра.

Существует два алгоритма решения данной задачи [3, 5, 9, 10]:

- использование констант равновесия реакций гидролиза;
- расчет равновесного состава исследуемой системы методом минимизации свободной энергии Гиббса.

В соответствии с первым алгоритмом в основе исследования лежит расчет термодинамических параметров, характеристических для следующих гидролитических взаимодействий с молекулами воды:





Константы равновесия реакций (K) вычисляли по уравнению Вант-Гоффа:

$$RT \lg K = -(\Delta G_{298}^0) / 2,3.$$

Расчетные методы определения константы равновесия сводятся к вычислению стандартного изменения свободной энергии Гиббса (ΔG_{298}^0) в ходе реакции [3, 8, 11]. Исходные термодинамические данные (ΔH_{298}^0 и S_{298}^0), необходимые для расчета ΔG_{298}^0 , взяты из [8, 12].

Термодинамическая модель поведения алюминия в растворе показывает, что в кислых условиях до $\text{pH} = 3,75$ алюминий в растворе присутствует в виде «простого» иона Al^{3+} . По мере возрастания pH среды, концентрация ионов Al^{3+} начинает уменьшаться, а концентрация частиц Al(OH)^{2+} возрастать и при $\text{pH} = 3,75$ имеет место равновесие $[\text{Al}^{3+}] = [\text{Al(OH)}^{2+}]$. При pH выше 3,75 концентрация ионов Al^{3+} продолжит резко уменьшаться, начнет уменьшаться также концентрация частиц Al(OH)^{2+} , а концентрация частиц Al(OH)_2^+ возрастать; при $\text{pH} = 5,43$ наблюдается равенство концентраций следующих форм алюминия – Al(OH)^{2+} и Al(OH)_2^+ . В нейтральных и близких к ним по кислотности водных растворах с pH в интервале 5,58–7,42 преобладающей формой алюминия является нерастворимый гидроксид алюминия Al(OH)_3^0 ; в щелочных (при $\text{pH} > 7,42$) – Al(OH)_4^- .

Ниже дана графическая интерпретация результатов расчета в виде диаграммы (рис. 2).

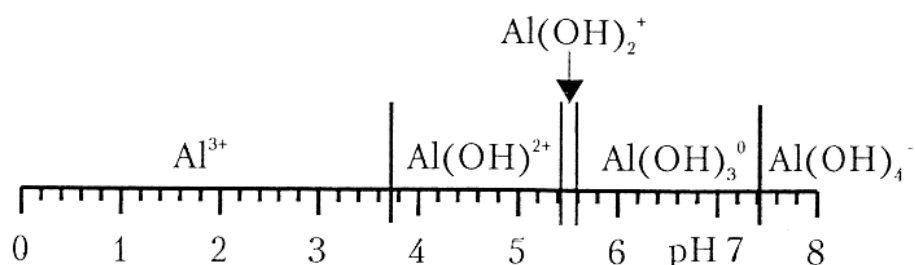


Рис. 2. Формы нахождения алюминия в растворе в зависимости от pH среды

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, алюминий становится растворимым при низких и высоких значениях pH. Понимание контроля за растворимостью алюминия важно, поскольку его токсичность может вызвать гибель рыб в подкисленных пресных водах. Так, при pH ниже 4,5 не обнаруживаются никакие ракообразные, улитки, мидии, и при этом не может жить никакая, имеющая промысловое значение, пресноводная рыба [13].

В таблице 1 приведены результаты расчета $[m]$ (моль/кг) – концентрации частиц, в состав которых входит кальций в зависимости от pH раствора. Расчеты выполнены с привлечением метода компьютерного моделирования для концентрации элемента 10^{-3} (моль/кг) и давления углекислого газа $3 \cdot 10^{-4}$ бар; температура раствора 25°C .

**Результаты расчетов форм нахождения
кальция в растворе**

pH	pH 3	pH 7	pH 12
Ca^{2+}	4,36	4,15	5,48
$\text{Ca}(\text{OH})^{+}$	9,85	5,65	6,33
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)^{+}$	7,19	7,34	3,66
CaCO_3^0	12,52	4,35	4,15

Отметим, что наличие в воде растворенного гидрокарбоната кальция во многом определяет временную жёсткость воды. Определение компонентного состава водного бассейна имеет большое значение при оценке пригодности природных вод для различных целей водопотребления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калибачук В.А., Грищенко Л.И., Галинская В.И., Гождинский С.М. и др. Медицинская химия. – К.: Медицина, 2008. – 399 с.
2. Appelo C.A.J., Postma D. Geochemistry, Groundwater and Pollution. Rotterdam: A.A. Balkema, 1993. p. 536.
3. ი. ბერძენიშვილი. ფიზიკური ქიმიის საფუძვლები. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2010. – 308 გვ.

4. Parkhurst D.L., Revised Chemical Equilibrium Data for major Water-mineral Reactions and their Limitations, *in* Bassett R.L. and Melchior D. eds., Chemical modeling in aqueous systems II: Washington D.C., American Chemical Society Symposium Series 416, 1990, Chapt. 31, – pp. 398-413.
5. Борисов М.В., Шваров Ю.В. Термодинамика геохимических процессов. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 256 с.
6. Шваров Ю.В. О термодинамических моделях реальных растворов // Геохимия, 2007, № 6, с. 670-679.
7. Glynn P.D., Modeling Solid-solution Reactions in low-temperature Aqueous Systems, *in* Bassett, R.L. and Melchior D. eds., Chemical modeling in aqueous systems II: Washington D.C., American Chemical Society Symposium Series 416, 1990, Chapt. 6, – pp. 74-86.
8. Горшков В.И., Кузнецов И.А. Основы физической химии. Изд. 3-е, М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. – 407 с.
9. Карпов И.К. Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии. Новосибирск: Наука, 1981. – 247 с.
10. Шваров Ю.В. Алгоритмизация численного равновесного моделирования динамических геохимических процессов // Геохимия, 1999, № 6. – с. 646-652.
11. Крайнов С.Р. Обзор термодинамических компьютерных программ, используемых в США при геохимическом изучении подземных вод. Система компьютеризации научных лабораторий США// Геохимия, 1993, № 5. – с. 685-695.
12. Nordstrom D.K., Munoz J.L. Geochemical Thermodynamics. Boston: Brackwell Scientific, 1994. p. 367.
13. <http://www.ekol.oglib.ru/bgl/8155/292.html>.

შპს 621.1: 621.6

თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს რეალური თერმოდინამიკური ციკლის ანალიზი

ი. შეყრილაძე, მ. მეფარიშვილი, ე. მაჭავარიანი, გ. გიგინეიშვილი
(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

რეზიუმე: გაანალიზებულია თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს რეალური თერმოდინამიკური ციკლი. მიღებულია მარგი ქმედების კოეფიციენტის საანგარიშო განტოლება. დამუშავებულია ციკლის რიცხვითი მოდელი, რომელიც საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ ციკლის პარამეტრები სხვადასხვა საწყისი პირობებისათვის. მოყვანილია მოდელირების შედეგები.

საკვანძო სიტყვები: ტუმბო; მემბრანა; თერმოჰიდროდინამიკა; ციკლი; თხევადი დგუში; მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

1. შესავალი

ენერგიის განახლებადი წყაროების, მაგალითად, ბრტყელი ჰელიოკოლექტორის სითბოს ან დაბალი ტემპერატურული პოტენციალის სხვა ტიპის იაფი ან ნარჩენი სითბოს ბაზაზე წყლის სატუმბო მოწყობილობის შექმნა აქტუალური ამოცანაა. ბოლო ათწლეულში ამ ამოცანის პოტენციურად ეფექტური გადაწყვეტის კონტექსტში დამუშავებელთა ყურადღება თხევადდგუშიანმა თბურამძრავიანმა მემბრანულმა ტუმბომ (თამბ) მიიპყრო [1-4].

რამდენადაც თამბ-ში ტუმბოს მთავარ კვანძს (ამძრავს) სპეციფიკური ტიპის თბური ძრავა (თხევადდგუშიანი ორთქლის მანქანა) წარმოადგენს, მისი დახვეწა და ფუნქციონირების კანონზომიერების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა, თამბ-ს ეფექტური კონსტრუქციის შექმნის გზაზე, ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ეტაპია [5-7].

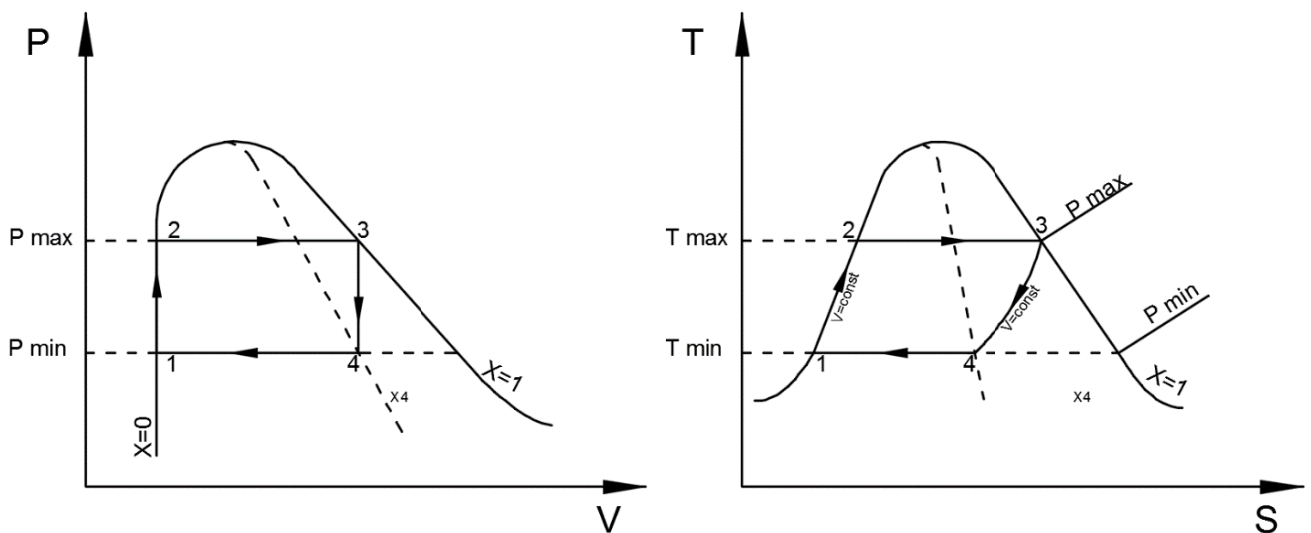
ქვემოთ წარმოდგენილია თამბ-ს დაზუსტებული თერმოდინამიკური ციკლის ანალიზი, მარგი ქმედების კოეფიციენტის (მმპ) საანგარიშო განტოლება და კომპიუტერული მოდელირების შედეგები.

2. ძირითადი ნაწილი

თამბ-ს პულსაციური საკნის თერმოდინამიკური ციკლი (როგორც იდეალური, ასევე რეალური) განხილული იყო შესაბამის ლიტერატურაში [2].

ქვემოთ ხელახლა განვიხილავთ პულსაციური საკნის რეალურ თერმოდინამიკურ ციკლს მნიშვნელოვანი დაზუსტებით, რომელიც გადახურებულ აორთქლების ზედაპირზე შედარებით ცივი სითხის დგუშის დაჯახების შემდგომ განვითარებული თერმოჰიდროდინამიკური პროცესის აქამდე გაუთვალისწინებელ თავისებურებებს უკავშირდება.

დავიწყოთ თამბ-ს პულსაციური საკნის იდეალიზებული თერმოდინამიკური ციკლის მოკლე აღწერით, რომელიც წარმოდგენილია P-V და T-S კოორდინატებში (ნახ. 1).



ნახ.1. თამბ-ს პულსაციური საკნის იდეალური თერმოდინამიკური ციკლი P-V და T-S კოორდინატებში

1-2 პროცესი ციკლის მინიმალური წნევის ($P_{\min}$) პირობებში მიმდინარეობს. მუშა აგენტის შედარებით ცივი თხევადი ფაზა (თხევადი დგუშის ზედაპირი) კონტაქტში შედის გახურების მანამდე გამშრალ და ამის გამო გადახურებულ ზედაპირთან, იწყება სითხის იზოქორული გახურება გაჯერების წნევისა და ტემპერატურის ზრდით. პროცესი თავდება წერტილში 2, წნევა აღწევს ციკლის მაქსიმუმს ($P_{\max}$) და ხსნის დამჭირხნ სარქველს. ითვლება, რომ იდეალიზებულ ციკლში 1-2 პროცესი მთლიანად სითხის ფაზაში მიმდინარეობს (ნულოვანი ორთქლშემცველობით), გაჯერების მრუდის გასწვრივ, მუშა სხეულისათვის სითბოს მიწოდებით.

2-3 პროცესში ხდება სითბოს იზობარულ-იზოთერმული მიწოდება. მუშა სხეული (თხევადი დგუშის მცირე ზედა ნაწილი) ორთქლდება და სითხის ზედაპირი გადაადგილდება ზემოდან ქვემოთ. სრულდება გაფართოების მუშაობა და სითხე მიეწოდება დამჭირხნი სარქველის გავლით. ითვლება, რომ იდეალიზებულ ციკლში 2-3 პროცესის დროს ორთქლის კონდენსაციას ადგილი არა აქვს და პროცესის ბოლოს ორთქლი მშრალ გაჯერებულ მდგომარეობაშია $P_{\max}$ წნევით. პროცესი მთავრდება გახურების ზედაპირზე წინა პროცესში მოხვედრილი სითხის მასის სრული აორთქლებით, რის შემდეგაც ზედაპირი შრება და მისი გადახურება იწყება. აქედან ცხადი ხდება გახურების ზედაპირზე მოხვედრილი და შერჩენილი სითხის მასის პარამეტრული როლი.

3-4 პროცესში ხდება მუშა სხეულის ორთქლის ნაწილობრივი კონდენსაცია მუდმივი მოცულობის პირობებში. პრაქტიკულად ეს არის მეტად ხანმოკლე პროცესი, როცა, ერთი მხრივ, გამშრალ გახურების ზედაპირზე ორთქლის გენერაციის შეწყვეტის გამო და, მეორე მხრივ, დგუშის ზედაპირზე ორთქლის კონდენსაციის გამო, გაჯერების წნევა $P_{\max}$ -დან $P_{\min}$ -მდე სწრაფად ეცემა. დამჭირხნი სარქველი იკეტება და შემწოვი სარქველი იღება. ითვლება, რომ პროცესის ბოლოს ორთქლი გარკვეული ტენიანობით ხასიათდება. პროცესი ადიაბატურად მიიხნევა, რაც მიუთითებს გამშრალი გახურების ზედაპირიდან სითბოს მოდენის უმნიშვნელო როლზე საერთო თბურ ბალანსში.

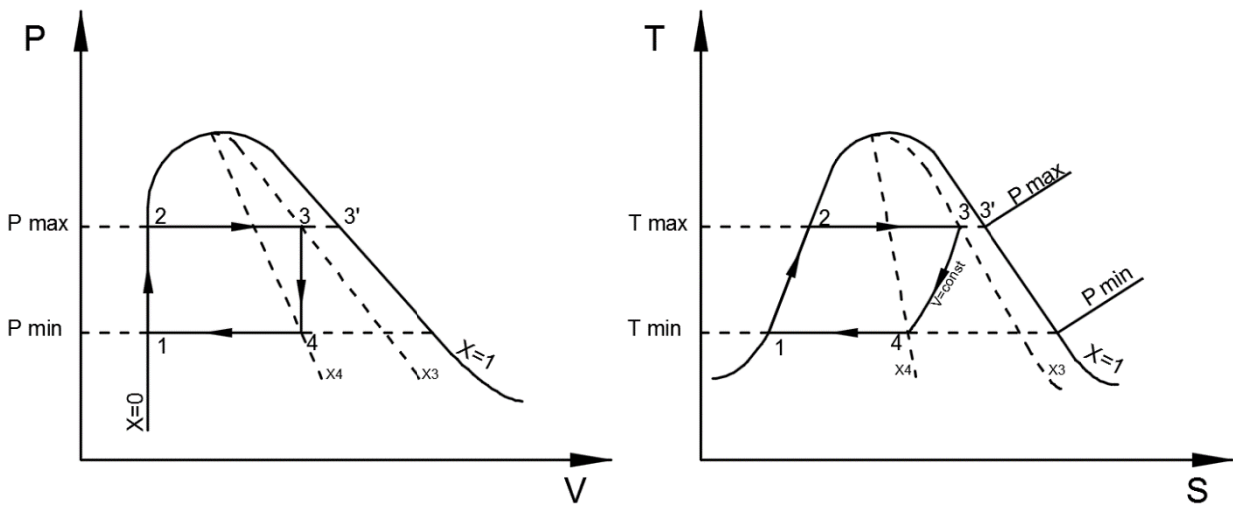
4-1 პროცესში ხდება მუშა სხეულის ორთქლის სრული კონდენსაცია სითბოს იზობარულ-იზოთერმული ართმევით $P_{\min}$ -ის პირობებში. გამშრალი გახურების ზედაპირიდან სითბოს მოდენის როლს ამ შემთხვევაშიც უგულებელვყოფთ. კონდენსაციის შედეგად თხევადი დგუში გახურების ზედაპირისაკენ გადაადგილდება, მდის სითხის შეწოვა შემწოვი სარქველიდან. პროცესის ბოლოს დგუშის ზედაპირი

ეჭახება გახურების ზედაპირს, ციკლი სრულდება და სისტემა კვლავ ზემოთ აღწერილ საწყის მდგომარეობაში აღმოჩნდება. სამუშაოში [1] ჩატარებული ანალიზის თანახმად, თამბ-ს იდეალიზებული თერმოდინამიკული ციკლის მქ კოეფიციენტი შემდეგი განტოლებით განისაზღვრება:

$$\eta = \frac{v_3 \Delta P}{h_3 - h_1}, \quad (1)$$

სადაც v_3 არის ორთქლის კუთრი მოცულობა ციკლის წერტილში 3; $\Delta P = P_{max} - P_{min}$; h_3 და h_1 – ორთქლის ენთალპია, შესაბამისად, ციკლის 3 და 1 წერტილებში.

სამუშაოში [1] გაანალიზებულია აგრეთვე თამბ-ს რეალური თერმოდინამიკური ციკლი გახურების ზედაპირზე გენერირებული ორთქლის ნაწილის დაჭირხნის სტადიის დამთავრებამდე ანუ გაფართოების მუშაობის შესრულების გარეშე კონდენსაციის გათვალისწინებით. თუ დაჭირხნის სტადია შედარებით ხანმოკლეა, ასეთი “პარაზიტული” კონდენსაციის გავლენა მინიმალურია, თუმცა გაანალიზებას მოითხოვს.



ნახ. 2. თამბ-ს პულსაციური საკნის რეალური თერმოდინამიკური ციკლი P-V და T-S კოორდინატებში

როგორც შესაბამისი რეალური ციკლიდან გამომდინარეობს (ნახ.2), “პარაზიტული” კონდენსაციის გავლენა 3-4 პროცესს უფრო ტენიან ორთქლის ზონაში გადაანაცვლებს, რაც, რა თქმა უნდა, ციკლის მქ კოეფიციენტს ამცირებს.

შესაბამის ლიტერატურაში [1] ჩატარებული ანალიზის თანახმად, ოამბ-ს რეალური თერმოდინამიკული ციკლის მძკოეფიცენტტი, ასეთი გავლენის გათვალისწინებით, შემდეგი განტოლებით განისაზღვრება:

$$\eta = \frac{X_3(v''-v_1)\Delta P}{(h_3 - h_1) - v_1\Delta P}, \quad (2)$$

სადაც v'' არის მშრალი გაჯერებული ორთქლის კუთრი მოცულობა P_{max} -ს დროს.

როგორც აღვნიშნეთ, ჩვენი მიზანია რეალური ციკლის დაზუსტება მშრალ, გადახურებულ აორთქლების ზედაპირზე, შედარებით ცივი სითხის დგუშის დაჯახების შემდგომ განვითარებული თერმოჰიდროდინამიკური პროცესის თავისებურების გათვალისწინებით. მხედველობაში გვაქვს ორფაზა არის შესაძლო სტრუქტურა გადახურებულ კედელსა და მასაში გადაცივებულ (გაჯერების ტემპერატურის მიმართ) სითხეს შორის.

რამდენადაც, გახურების ზედაპირის ტემპერატურა 1-2 პროცესის განმავლობაში ყოველთვის მეტია ნაჯერობის ტემპერატურაზე, ზედაპირის მიმდებარე სითხის მიკროშრეში ყოველთვის რჩება პირობები ორთქლის შენარჩუნებისათვის, კედელთან შეხებაში მეოფი მიკრობუშტების სახით. აქედან გამომდინარე, სამუშაოში [1] მიღებული დაშვება 1-2 პროცესის მთლიანად სითხის ფაზაში მიმდინარეობის ანუ ორთქლშემცველობის ნულოვანი (ანუ ტენიანობის 100%-იანი) დონის შესახებ, უფრო დეტალური განხილვისას, მთლიანად გამართლებული აღარ არის.

მოყვანილი გარემოებები განაპირობებს 1-3 პროცესში, ტენიანობის რეალური დონის გათვალისწინებით, რეალური ციკლის დაზუსტების აუცილებლობას.

როგორც შესაბამისი ანალიზი გვიჩვენებს, 1-3 პროცესში გახურების ზედაპირის ტემპერატურა თუმცა თანდათანობით ეცემა, მაინც ყოველთვის რჩება გაჯერების ტემპერატურაზე მნიშვნელოვნად უფრო მაღალი. შესაბამისად, ორთქლის მიკრობუშტების კვება ორთქლით გახურების ზედაპირის მხრიდან თუმცა ეცემა, მაგრამ ყოველთვის ინტენსიური რჩება.

რაც შეეხება ორთქლის კონდენსაციას მიკრობუშტებში ცივი წყლის მხრიდან, რამდენადაც სითხის ტემპერატურა გაჯერების ტემპერატურას უახლოვდება და ბოლოს ტოლი ხდება, ასეთი კონდენსაციის ინტენსიურობა 1-2 პროცესის განმავლობაში მკვეთრად ეცემა და ბოლოს ნულზე დადის.

საბოლოოდ აორთქლება-კონდენსაციის მასური ბალანსი აორთქლების მხარეს იხრება და ორთქლის მასის წილი სითხის სასაზღვრო შრეში მუდმივად იზრდება.

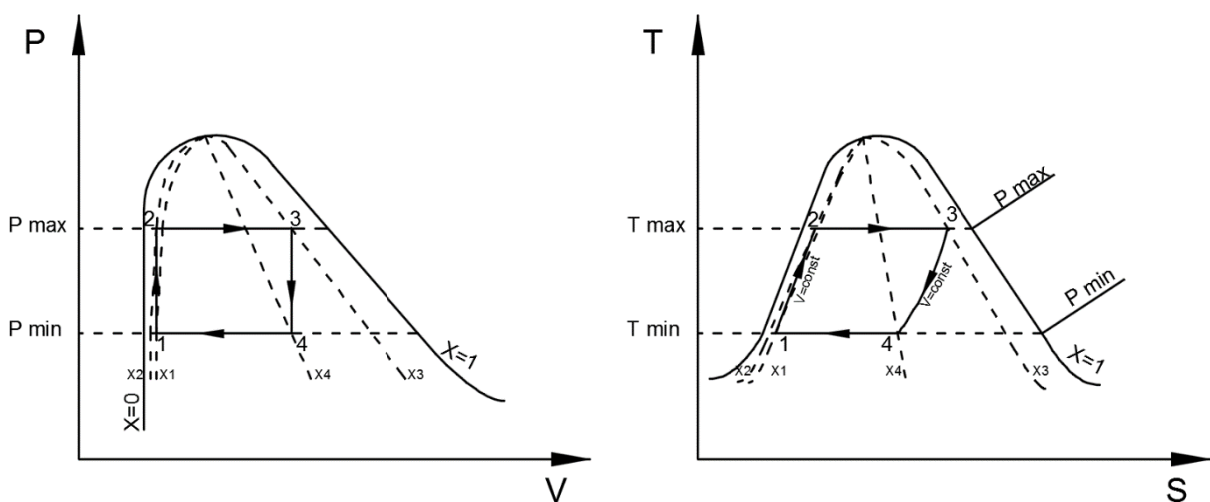
ამასთან ერთად, 1-2 პროცესში წნევა იზრდება, რაც ზრდის ორთქლის სიმკვრივეს მიკრობუშტებში. ე.ი. 1-2 პროცესში ერთდროულად იზრდება მიკრობუშტების საერთო მასა და სიმკვრივე.

მოყვანილი მნიშვნელოვანი გარემოებები საშუალებას გვაძლევს პირველ მიახლოებაში სითხის სასაზღვრო ფენაში დაგუშვათ ორთქლის მიკრობუშტების საერთო მოცულობის მუდმივობა მთელი 1-2 პროცესის განავლობაში (ე.ი. ორთქლის საერთო მოცულობაზე ორივე პარამეტრის – ორთქლის საერთო მასისა და ორთქლის სიმკვრივის ზრდის საწინააღმდეგო გავლენათა თანაბრობა).

ამგვარად, 1-2 პროცესი რჩება იზოქორულ გახურებად გაჯერების მრუდზე წნევის თანდათანობით ზრდით, ოღონდ 100%-ზე ნაკლები ტენიანობით (ტენიანობა მასური პარამეტრია), რომელიც თანდათან მცირდება 1 წერტილიდან 2 წერტილამდე.

უნდა აღინიშნოს, რომ ზოგადად თხევადღებშიან ორთქლის ძრავაში თერმოდინამიკური ციკლი ვრცელდება მხოლოდ ღებში ზემოთ სითხის თხელი ფენის მასაზე, რომელიც ციკლში მთლიანად ორთქლდება და კონდენსირდება. რადგან ამ მასის თეორიული გაანგარიშება საკმარისად რთული ამოცანაა, იგი ციკლის ექსპერიმენტული კვლევის მონაცემების ბაზაზე უნდა შეფასდეს.

თამბ-ს დაზუსტებული რეალური თერმოდინამიკური ციკლი მოყვანილია მე-3 ნახაზზე.



ნახ. 3. თამბ-ს პულსაციური საკნის დაზუსტებული რეალური თერმოდინამიკური ციკლი P-V და T-S კოორდინატებში

დაზუსტებული რეალური თერმოდინამიკური ციკლის მდგენელი, პროცესების თანამიმდევრული ანალიზის გზით, დამუშავებულია ციკლის კომპიუტერული მოდელით, რომელიც საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ ციკლის პარამეტრები სხვადასხვა საწყისი პირობებისათვის.

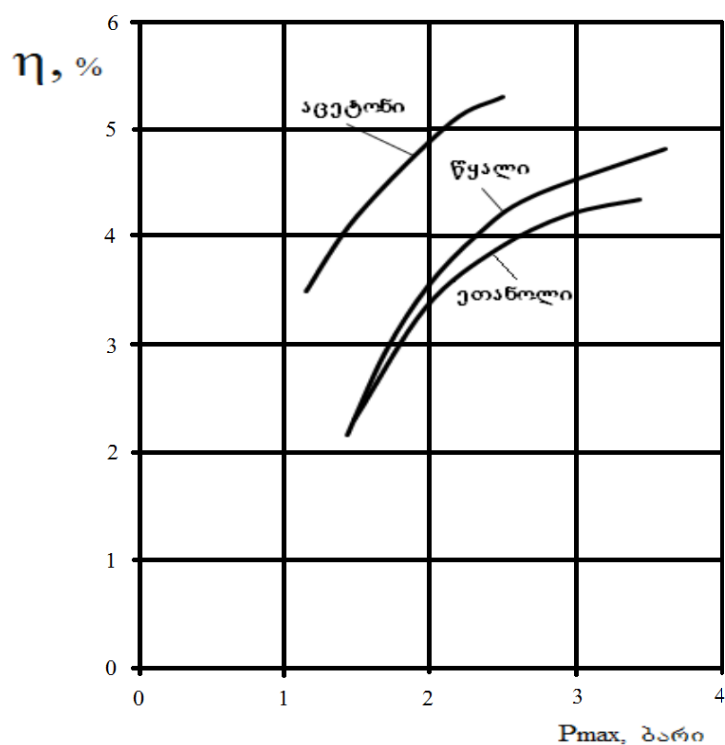
ამასთან, დაზუსტებული რეალური თერმოდინამიკური ციკლის ანალიზის შედეგად მიღებულია შემდეგი მიახლოებითი განტოლება ციკლის მშ კოეფიციენტისათვის:

$$\eta_t = 1 - \frac{h'_{Pmax} + X_3 r_{Pmax} - h'_{Pmin} - X_1 r_{Pmin} - \Delta P(v'_{Pmax} + X_3 v''_{Pmax} - X_3 v'_{Pmax})}{h'_{Pmax} + X_3 r_{Pmax} - h'_{Pmin} - X_1 r_{Pmin} - \Delta P(v'_{Pmin} + X_1 v''_{Pmin} - X_1 v'_{Pmin})} \quad (3)$$

სადაც X_1 და X_3 მუშა სხეულის სიმშრალის ხარისხებია, შესაბამისად 1 და 3 წერტილებში (ნახ. 3); h'_{Pmax} და h'_{Pmin} – ნაჯერობის მდგომარეობაში მყოფი მუშა სითხის ენთალპია ციკლის მაქსიმალურ და მინიმალურ წნევებზე; r_{Pmax} და r_{Pmin} – მუშა სითხის აორთქლების ფარული სითბო ციკლის მაქსიმალურ და მინიმალურ წნევებზე; v'_{Pmax} და v'_{Pmin} – ნაჯერობის მდგომარეობაში მყოფი მუშა სითხის კუთორი მოცულობა ციკლის მაქსიმალურ და მინიმალურ წნევებზე; v''_{Pmax} და v''_{Pmin} – მუშა სითხის მშრალი ნაჯერი ორთქლის კუთორი მოცულობა ციკლის მაქსიმალურ და მინიმალურ წნევებზე; ΔP – სხვაობა ციკლის მაქსიმალურ და მინიმალურ წნევებს შორის.

აღსანიშნავია, რომ იმ შემთხვევაში, თუ მუშა სხეულის სიმშრალის ხარისხი 1 წერტილში (ნახ. 3) იქნება ნულის ტოლი, მაშინ (3) განტოლების გარკვეული გარდაქმნების შემდეგ მიიღება (2)-ის ტოლფასი გამოსახულება; თუ ამავედროულად მუშა სხეულის სიმშრალის ხარისხი 3 წერტილში (ნახ. 3) იქნება ერთის ტოლი, მაშინ (3) გამოსახულება გარდაიქმნება ოამტ-ს იდეალიზებული თერმოდინამიკური ციკლის მშ კოეფიციენტის გამოსათვლელ ოამტ-ს (1) გამოსახულებად.

მე-4 ნახაზზე მოყვანილია სხვადასხვა შუალედური მუშა აგენტების გამოყენების ეფექტურობა, რომელიც კომპიუტერული მოდელირებით არის დადგენილი.



ნახ. 4. თამტ-ს პოტენციური მუშა აგენტების შედარება
კომპიუტერული მოდელის გამოყენებით

3. დასკვნა

თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს (თამტ) პულსაციური საკნის დაზუსტებული რეალური თერმოდინამიკური ციკლის ანალიზის შედეგები (კომპიუტერული მოდელი და მარგი ქმედების კოეფიციენტის საანგარიშო განტოლება) თეორიულ საფუძველს ქმნის ტუმბოს კონსტრუქციული დახვეწისა და სხვადასხვა პირობისათვის ოპტიმალური მუშა აგენტის შერჩევისას.

ლიტერატურა

1. I. Shekriladze, E. Machavariani, J. Rusishvili, E. El-Negiri, D.. Shekriladze. Solar Powered Membrane Pump on the Basis of Pulsating Heat Pipe. Proc. 9th Int. Heat Pipe Conf., Albuquerque, USA, 1995, vol.2, pp. 811-815.

2. S. Yatsuzuka, Y. Niiyama, K. Fukuda, Y. Hagiwara, K. Nishizawa, N. Shikazono, A Liquid-Piston Steam Engine, Proceedings of the ASME 2011 Power Conference (POWER 2011) and the International Conference on Power Engineering 2011 (ICOPE-11), July 12-14, 2011, Denver, Colorado, USA, 7 pages.
3. C. Gopal, M.Mohanraj, P.Chandramohan, P.Chandrasekar, Renewable Energy Source Water Pumping Systems—A Literature Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 25, 2013, pp. 351–370.
4. R. Shukla, K. Sumathy, Ph. Erickson, J. Gong, Recent Advances in the Solar Water Heating Systems: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 19, 2013, pp. 173–190.
5. I. Shekriladze, E. Machavariani, J. Rusishvili, D. Shekriladze, K. Goncharov, A.Tarabrin. Solar powered water pumping system on the basis of LHP and TPMP.Proc. 5th Int. Heat Pipe Symp., Melbourne, Australia, Pergamon Press, 1997, pp. 418-423.
6. I. Shekriladze, E. Machavariani, G. Gigineishvili, J. Rusishvili, D. Shekriladze, Flat-Plate Collector with Solar-Powered Pump and Problem of Boiling on Downward-Facing Surface, WSEAS Transactions on Heat and Mass Transfer, 2009, vol. 4, # 4, pp. 108-117.
7. I. Shekriladze, E. Machavariani, G. Gigineishvili, J. Rusishvili, D. Shekriladze, M. Meparishvili, Solar-Powered Steam Engine-Pump: Achieved Performance and Prospects for Further Development, Proc. Int. Conf. Basic Paradigms in Science and Technology Development for the 21st Century. Tbilisi, Georgia, September 19-21, 2012. v.1, pp. 190-197.

შპს 621.1: 621.6

თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს ექსპერიმენტული მოდელის შექმნა და თერმოჰიდროდინამიკური პროცესების გამოკვლევა

ი. შეყრილაძე, მ. მეფარიშვილი, ე. მაჭავარიანი,
გ. გიგინეიშვილი, ჯ. რუსიშვილი, დ. შეყრილაძე
(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

რეზიუმე: შექმნილია თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს (თამტ) ახალი მოდიფიკაციის ექსპერიმენტული მოდელი. გამოკვლეულია გახურების ზედაპირის ტემპერატურის პულსაციისა და თხევადი დგუშის გამოდევნის ამპლიტუდები და ურთიერთკორელაცია. გამოკვლეულია აგრეთვე დამოკიდებულება მარგი ქმედების კოეფიციენტსა და დაწნევას შორის. დასახულია ტუმბოს შემდგომი დახვეწის გზები.

საკვანძო სიტყვები: ტუმბო; მემბრანა; თერმოჰიდროდინამიკა; ციკლი; თხევადი დგუში; მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

1. შესავალი

წყლის გადატუმბვა მზის ენერგიის გამოყენების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი სფეროა [1]. როგორც მსგავს სისტემათა განვითარების თანამედროვე მიღწევათა ანალიზი აჩვენებს [2], სატუმბო პელიოსისტემების უმრავლესობაში გამოყენების თვალსაზრისით უპირატესობას ფოტოელექტრული ენერგიის წყაროს ბაზაზე მომუშავე ელექტროტუმბომ მიაღწია. მიუხედავად ამისა, ეკონომიკურად მომგებიან ნიშას ბრტყელი პელიოკოლექტორის დაბალი ტემპერატურული პოტენციალის სიბოხოზე მომუშავე ტუმბოც ინარჩუნებს. ამასთან, რამდენადაც ასეთი ტუმბო არასაკმარისადაა გამოკვლეული, მას დახვეწისა და მარგი ქმედების კოეფიციენტის (მქკ) ამაღლების მნიშვნელოვანი პოტენციალი აქვს და მომავალში მისი კონკურენციის სფეროს გაფართოებაც არ არის გამორიცხული.

ამ მიმართებით გარკვეულ ინტერესს იწვევს 1990-იან წლებში შემოთავაზებული თბური მანქანა-მემბრანული ტუმბო [3], რომლის ფუნქციონირება ერთ საკანში შუალედური მუშა აგენტის აორთქლებისა და კონდენსაციის პროცესების მონაცვლეობაზეა დაფუძნებული. ბოლო წლებში ამ თბურ მანქანა-ტუმბოს იაპონური კონკურენტიც გამოუჩნდა, ერთ საკანში აორთქლება-კონდენსაციაზე დაფუძნებული თხევადდგუშიანი ორთქლის მანქანის სახით [4].

გასულ წლებში საინიციატივო წესით შეიქმნა ტუმბოს რამდენიმე მოდიფიკაცია [3,5-8], ნახევრები იყო მოქმედების პრინციპის ქმედითობა, გადაწყდა ტუმბოს თვითგაშვების პრობლემა და მიღწეულ იქნა მძკოეფიცენტის გარკვეული საწყისი დონე. ამასთან, მაღალი საიმედოობისა და ეფექტურობის მიღწევა ტუმბოს შემდგომ კონსტრუქციულ და ტექნოლოგიურ დახვეწას უკავშირდება.

თამბ-ს გამოყენების პირველ ობიექტად შერჩეულია ერთეულ ბრტყელ ჰელიოკოლექტორზე დაფუძნებული ცხელი წყლის მომარაგების ავტონომიური სისტემა. ასეთ არჩევანს ორი გარემოება განაპირობებს: პირველია წყლის საჭირო ხარჯის სიმცირე (დაახლოებით 20 ლ საათში), რაც ამსუბუქებს ასეთი პროექტის რეალიზაციის ტექნიკურ, ფინანსურ და მატერიალურ ასპექტებს; მსგავსი სიმბიოზის პირობებში მეორე და უმნიშვნელოვანესი მომენტია თამბ-ს ჰელიოკოლექტორის სითბოს ხარჯზე მუშაობა, ართმეული სითბოს თითქმის მთლიანად ცხელი წყლის სისტემაში დაბრუნებით. შედეგად საკუთრივ ტუმბოს მუშაობისათვის თბური ენერგიის დანახარჯების ფაქტიურად მთლიანი გამორიცხვა რამდენჯერმე აიაფებს წყლის გადატუმბვის ხარჯებს. ერთდროულად კრიტიკულ მნიშვნელობას კარგავს ტუმბოს მძკოეფიცენტის დონე.

მოცემულ კონკრეტულ სიტუაციაში თუ თამბ-ს გამოყენებით იგი სათანადოდ იქნება რეალიზებული, ფოტოელექტრული სატუმბი სისტემა კონკურენტუნარიანი ვეღარ იქნება, რადგან ელექტროტუმბოს ფუნქციონირებისათვის საჭიროა მისი დაკომპლექტება ელექტროენერგიის ძვირად ღირებული წყაროთი.

თამბ-ს შემდგომი გამოყენებით შეიძლება შესაძლებელი გახდეს სტაციონარული დიზელის დანადგარის გაცივების სისტემის ტუმბოს ჩანაცვლება ცირკულაციის გამონაბოლქვი აირების სითბოს ხარჯზე (ისევ მომსახურების ობიექტთან სიმბიოზით და ამ ობიექტის უფასო ნარჩენი სითბოს გამოყენებით). ამისათვის საჭირო იქნება მაღალი წარმადობის ტუმბოს შექმნა. შედეგად დიზელის დანადგარის მიერ გამომუშავებული ძვირფასი მექანიკური ენერგიის ნაწილი საკუთარი გაცივე-

ბის სისტემის ტუმბოს ენერგომომარაგებაზე აღარ დაიხარჯება და მისი ტექნიკური და ეკონომიკური ეფექტიანობა საგრძნობლად გაუმჯობესდება.

ვფიქრობთ, რომ მხოლოდ ამის შემდეგ, თანაც, თუ დამუშავების პროცესში ტუმბოს მძკოეფიციენტის სერიოზული ამაღლება იქნება მიღწეული, შეიძლება დღის წესრიგში დადგეს ფოტოელექტრულ სატუმბ სისტემებთან უფრო ფართო სპექტრით კონკურენციის ამოცანა.

ამასთან, იმ მნიშვნელოვან გარემოებასაც უნდა გაესვას ხაზი, რომ ტამბტ-ს დამუშავების მიზანშეწონილობისათვის ჩამოთვლილი ამოცანებიდან მხოლოდ პირველის ეფექტური რეალიზაციაა საკმარისი.

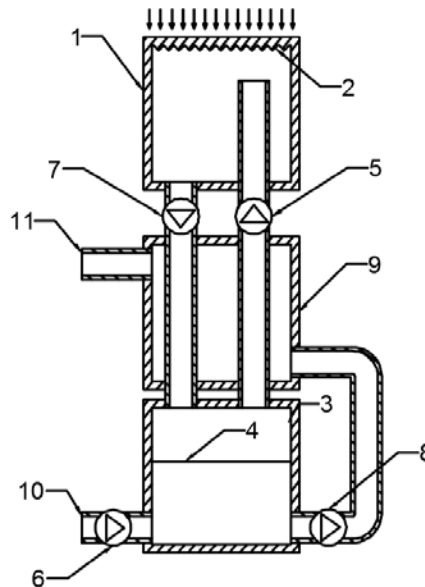
ქვემოთ წარმოდგენილია ტამბტ-ს დამუშავების ბოლო ეტაპის შედეგები, კერძოდ ტუმბოს ახალი მოდიფიკაციის ექსპერიმენტული მოდელი, რომლის ძირითადი თავისებურებაა მუშა აგენტის ორთქლის კონდენსაციის ორსიქქარიანი რეჟიმის განხორციელებასა და მემბრანის, თხევადი დგუშის ქვედა ზონაში გადატანასთანაა დაკავშირებული. მოცემულია აგრეთვე მოდელში რეალიზებული თერმოჰიდროდინამიკური პროცესების გამოკვლევის შედეგები.

2. ძირითადი ნაწილი

ტამბტ-ს ახალ მოდიფიკაციაში, პრინციპული სქემის თანახმად (ნახ. 1), მთავარი ელემენტებია თბური ძრავას მუშა საკანი 1, გახურების ზედაპირი 2, სატუმბი საკანი 3, მემბრანა 4, შემწოვი სარქველები 5 და 6, დამჭირხნი სარქველები 7 და 8, თბომცვლელი 9, წყლის შემწოვი მილტუჩი 10 და წყლის დამჭირხნი მილტუჩი 11.

გახურების შედეგად ტემპერატურის გარკვეული დონის მიღწევისას ზედაპირზე 2 იწყება აორთქლების პროცესი, რაც მოწვევს ამ ზედაპირს შუალედური მუშა აგენტის თხევად დგუშს და გადაადგილებს ზემოდან ქვემოთ. სითხე სარქველის 7 გავლით ჩადის სატუმბ საკანში 3, ჩაზნექს მემბრანას 4 და სარქველის 8 გავლით დაჭირხნის წყალს ჰელიოკოლექტორის სისტემაში. მას შემდეგ, რაც კაპილარული ზედაპირით 2 შენარჩუნებული სითხე მთლიანად აორთქლდება, ხოლო თხევადი დგუშის ზედაპირზე ორთქლის კონდენსაცია გაგრძელდება, საკანში 1 ორთქლის წნევა დაეცემა, მოხდება სითხის შეწოვა ქვემოდან ზემოთ სარქველის 5 გავლით. მემბრანა 4 ამოიზნიქება, სარქველის 6 გავლით შეიწოვს წყლის ახალ ულუფას, თბომცვლელში 9 გაცივებული აღმაგალი თხევადი დგუში შეეჯახება

სიმშრალის პერიოდში გადახურებულ ზედაპირს 2 და აღწერილი ციკლი კვლავ გამეორდება (წყლის გადატუმბვის ეფექტით) და ა.შ., სანამ ტუმბოს სითბო მიეწოდება.



ნახ. 1. ტამბ-ს ახალი მოდიფიკაციის პრინციპული სქემა

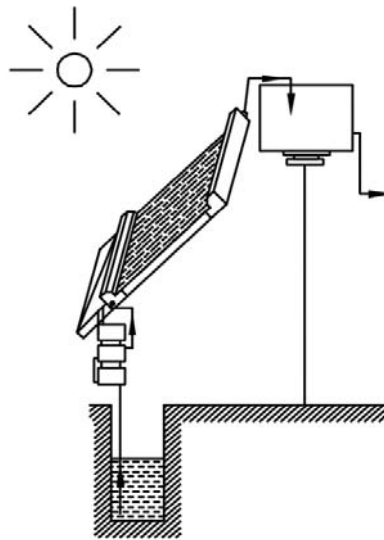
უნდა აღინიშნოს, რომ უკუსვლისას გაცივებული მუშა აგენტის თხევადი ფაზის მიწოდება სარქვლით 5 პირდაპირ თხევადი დგუშის ზედა ნაწილში, წინა სვლასთან შედარებით, მკვეთრად აჩქარებს კონდენსაციას წყლის შეწოვის სტადიაზე და ამადღებს ტუმბოს წარმადობას და ეფექტურობას. სწორედ ამაში მდგომარეობს ორთქლის კონდენსაციის ორსიქარიანი რეჟიმის მნიშვნელობა.

მე-2 ნახაზზე წარმოდგენილია ბრტყელ ჰელიოკოლექტორთან ტამბ-ს თხევად-დგუშიანი მოდიფიკაციის ინტეგრაციის პრინციპული სქემა.

ჰელიოკოლექტორის აბსორბციის დაახლოებით ქვედა მეათედი გამორთულია წყლის გაცხელების პროცესიდან და გადართულია ტამბ-ს გახურებაზე, რაც სპეციალური კონსტრუქციის თხური მილით შეიძლება განხორციელდეს. თვით ტამბ ჰელიოკოლექტორის სწორედ ამ ნაწილთან არის შეთანწყობილი.

მიიღებს რა სითბოს ჰელიოკოლექტორიდან, ტამბ ამ სითბოს თითქმის მთლიანად გადასცემს ჭიდან შეწოვილ წყალს მუშა აგენტიდან მემბრანის გავლით და თბომცვლელით, შედეგად შემთბარი წყალი შედის ჰელიოკოლექტორში. ტამბ თითქმის მთლიანად აბრუნებს უკან ართმეულ სითბოს (სხვაგვარად რომ ვთქვათ, იმ

სიბოროს, რომელიც გასაცხელებელ წყალს კოლექტორის გათიშულ ნაწილში უნდა მიედო, რასაც თითქმის მთლიანად თამბ-ს გავლით დებულობს). შემდეგ წყალი გახურების ძირითად ეტაპს გადის კოლექტორში და ზემოთ განლაგებულ რეზერვუარში იტუმბება.

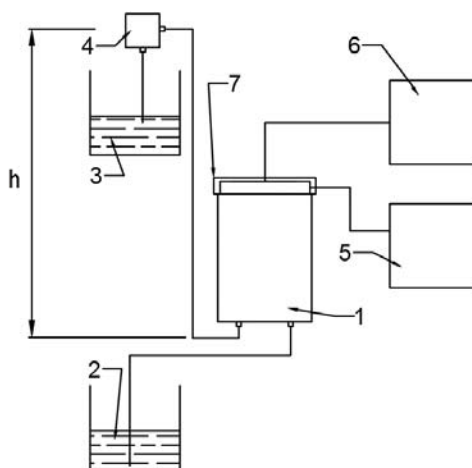


ნახ. 2. თამბ-ს თხევადდგუშიანი მოდიფიკაციის ინტეგრირება
ბრტყელ პელიოკოლექტორზე დაფუძნებული ცხელი წყლის
მომარაგების სისტემაში

თამბ-ში რეალიზებული თერმოჰიდროდინამიკური პროცესების კვლევის მიზნით შეიქმნა სპეციალური საკვლევი ექსპერიმენტული სტენდი (ნახ. 3).

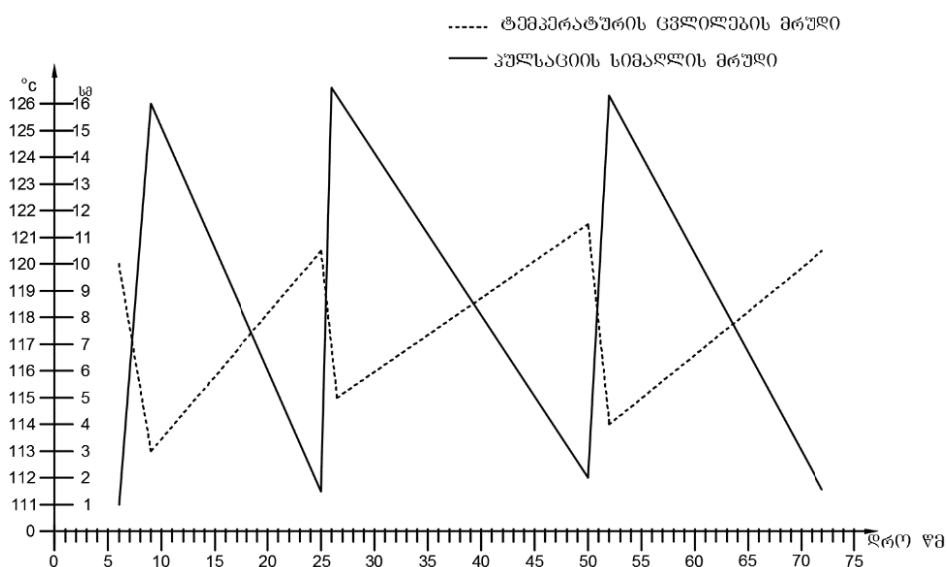
ტემპერატურებისა და წნევების გამზომი და ჩამწერი სისტემა შექმნილია შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის სადოქტორო გრანტის ფარგლებში, რისთვისაც მადლობას ვუხდით ფონდს.

პირველ ეტაპზე სტენდზე ჩატარდა ექსპერიმენტული მოდელის პულსაციური, წყლის გადატუმბვის გარეშე ფუნქციონირების თერმოჰიდროდინამიკური პროცესების გამოკვლევა. ასეთ შემთხვევაში გადაკეტილია წყლის შემწოვი სარქველი და დასაჭირხნ მილსადენზე დაყენებულია ვერტიკალური მინის მილი, რომლის საშუალებითაც ფიქსირდება დროში წყლის დონის პულსაციის ამპლიტუდა და განისაზღვრება პულსაციის ციკლში გამოდევნილი წყლის მოცულობა. ფიქსირდება გახურების ზედაპირის ტემპერატურის პულსაციები და მათი კორელაცია თხევადი დგუშის გამოდევნის ციკლთან.



ნახ. 3. მოდიფიცირებული თბურამპრავიანი მემბრანული ტუმბოს ექსპერიმენტული მოდელის საკვლევი სტენდი: 1 – თამბ-ს ექსპერიმენტული მოდელი; 2 – გადასატუმბი წყლის რეზერვუარი; 3 – გადატუმბული წყლის რეზერვუარი; 4 – წყლის ხარჯის გამზომი კვანძი; 5 – გახურების ზედაპირის ტემპერატურული რეჟიმის მარეგისტრირებელი კვანძი; 6 – მუშა კამერის წნევების რეჟიმის მარეგისტრირებელი კვანძი; 7 – თამბ-ს ელექტროგამხურებელი

მე-4 ნახ-ზე მოყვანილია გახურების ზედაპირის ტემპერატურის პულსაციებისა და თხევადი დგუშის გამოდენის ციკლების ექსპერიმენტული მონაცემები.

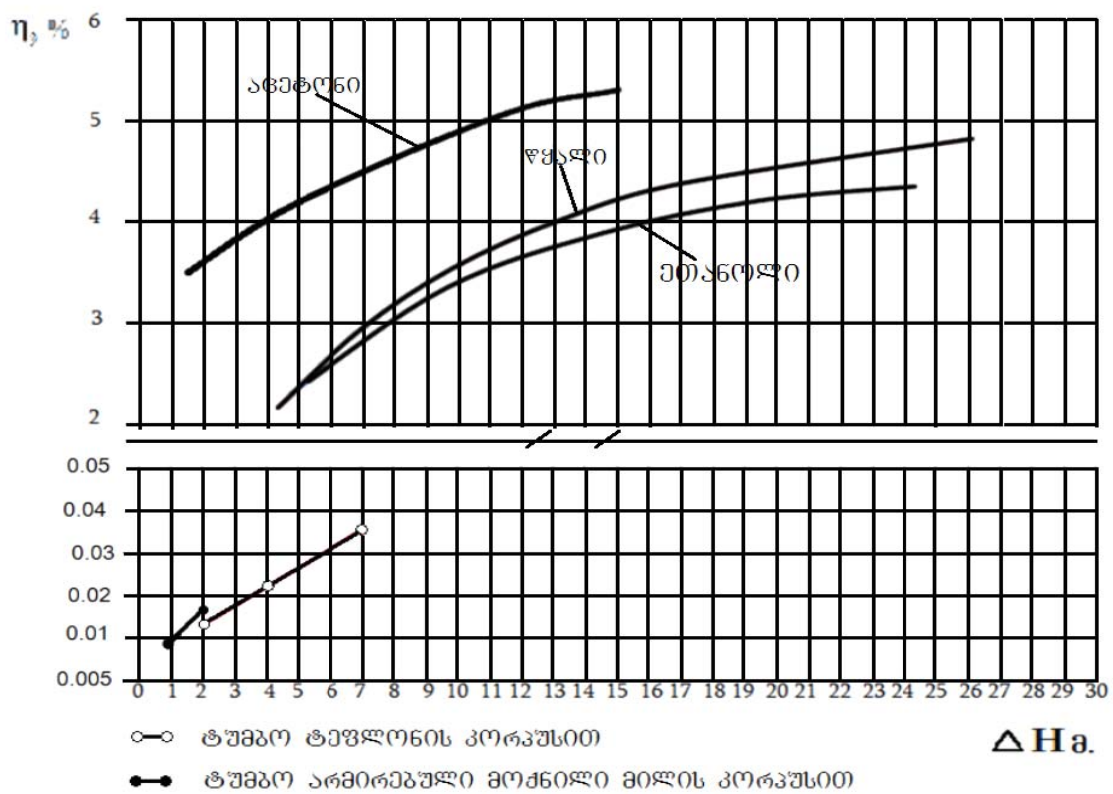


ნახ. 4. გახურების ზედაპირის ტემპერატურის პულსაციები და გამოდენილი წყლის დონის ცვლის ციკლები (მუშა აგენტი – წყალი, წნევა – 1 ბარი, გახურების სიმძლავრე – 50 ვტ)

მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე გაკეთდა წინასწარი დასკვნა თამბ-ს ახალი მოდიფიკაციის ექსპერიმენტული მოდელის კმედითობაზე და განისაზღვრა მოდელის ტუმბოს რეჟიმში ფუნქციონირების პოტენციური პარამეტრები.

მეორე ეტაპზე ჩატარდა თერმოჰიდროდინამიკური პროცესების გამოკვლევა მოდელის ძირითადი ელემენტის – მუშა საკნის ტუმბოს რეჟიმში მუშაობის დროს.

მე-5 ნახ-ზე მოყვანილია თამბ-ის მოდელის მძ კოეფიციენტსა და დაწნევას შორის დამოკიდებულების ექსპერიმენტული მრუდი. როგორც მოყვანილი მონაცემებიდან ჩანს, მოდელის მძ კოეფიციენტის დაფიქსირებული სიდიდეები საკმარისად დაბალია (0.009 – 0.035 %), თუმცა ტუმბოს ახალი მოდიფიკაციის დამუშავების მოცემულ ეტაპზე, მოწყობილობის მცირემასშტაბიანი მოდელის სახით რეალიზაციის პირობებში ეს მოულოდნელი შედეგი არ არის.



ნახ. 5. თამბ-ს ახალი მოდიფიკაციის ექსპერიმენტული მოდელის თერმოჰიდროდინამიკური პარამეტრები

მიმდინარე ეტაპის მთავარი შედეგია მამბტ-ს ახალი მოდიფიკაციის ქმედითობის დადგენა, რაც სრულფასოვან საფუძველს ქმნის კონსტრუქციის სამრეწველო მასშტაბში რეალიზაციის, დახვეწისა და ოპტიმიზაციისათვის.

3. დასკვნა

შექმნილია თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს ახალი მოდიფიკაციის ექსპერიმენტული მოდელი, მუშა აგენტის ორთქლის კონდენსაციის ორსიჩქარიანი რეჟიმითა და მემბრანის თხევადი დგუშის ქვედა ზონაში განლაგებით. მოდელის პულსაციურ რეჟიმში ფუნქციონირებისას გამოკვლეულია თერმოჰიდროდინამიკური პროცესების ისეთი მახასიათებლები, როგორიცაა გახურების ზედაპირის ტემპერატურის პულსაციები, თხევადი დგუშის გამოდევნის ციკლები და მათ შორის კორელაცია. მოდელის ტუმბოს რეჟიმში მუშაობისას გამოკვლეულია დამოკიდებულება მარგი ქმედების კოეფიციენტსა და მამბტ-ს დაწნევას შორის. მოდელი სრულფასოვან საფუძველს ქმნის სამრეწველო მასშტაბის ეფექტური კონსტრუქციის შექმნისათვის.

ლიტერატურა

1. T.D. Short, Solar Powered Water Pumps: The Past, the Present—and the Future? Journal of Solar Energy Engineering, 2003, vol. 125, # 2, pp. 76-82.
2. C. Gopal, M.Mohanraj, P.Chandramohan, P.Chandrasekar, Renewable Energy Source Water Pumping Systems—A Literature Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 25, 2013, pp. 351–370.
3. I. Shekriladze, E. Machavariani, J. Rusishvili, E. El-Negiri, D. Shekriladze. Solar Powered Membrane Pump on the Basis of Pulsating Heat Pipe. Proc. 9th Int. Heat Pipe Conf., Albuquerque, USA, 1995, vol.2, pp., 811-815.
4. S. Yatsuzuka, Y. Niiyama, K. Fukuda, Y. Hagiwara, K. Nishizawa, N. Shikazono, A Liquid-Piston Steam Engine, Proceedings of the ASME 2011 Power Conference (POWER 2011) and the International Conference on Power Engineering 2011 (ICOPE-11), July 12-14, 2011, Denver, Colorado, USA, 7 pages.

5. I. Shekriladze, E. Machavariani, J. Rusishvili, D. Shekriladze, K. Goncharov, A. Tarabrin. Solar Powered Water Pumping System on the basis of LHP and TPMP. Proc. 5th Int. Heat Pipe Symp., Melbourne, Australia, Pergamon Press, 1997, pp. 418-423.
6. I. Shekriladze, E. Machavariani, G. Gigineishvili, J. Rusishvili, D. Shekriladze, Flat-Plate Collector with Solar-Powered Pump and Problem of Boiling on Downward-Facing Surface, WSEAS Transactions on Heat and Mass Transfer, 2009, vol. 4, # 4, pp. 108-117.
7. I. Shekriladze, E. Machavariani, G. Gigineishvili, J. Rusishvili, D. Shekriladze, M. Meparishvili, Solar-Powered Steam Engine-Pump: Achieved Performance and Prospects for Further Development, Proc. Int. Conf. Basic Paradigms in Science and Technology Development for the 21st Century. Tbilisi, Georgia, September 19-21, 2012. v.1, pp. 190-197.
8. დიაფრაგმული ტუმბო. საქართველოს პატენტი N P-5606, 2011.

შპს 551.578

ღვარცოფსადინარში ტალღურად მოძრავი გმული ღვარცოფის მახასიათებლების დადგენა

ე. კუხალაშვილი, ი. ინაშვილი, კ. ბზიავა,

ი. ყრუაშვილი, დ. ლორთქიფანიძე

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

რეზიუმე: მთის რელიეფის პირობებში კაშხლის გარღვევა იწვევს დიდი გამრეცხი ენერგიის მქონე გამრღვევი ტალღის წარმოქმნას, რომელიც სწრაფად გარდაიქმნება ღვარცოფულ ნაკადად. განხილულია ღვარცოფული ნაკადის ერთი მიმართულების გრძივი ტალღების გაანგარიშების საკითხი. მიღებულია საანგარიშო დამოკიდებულებები, რომელთა მეშვეობითაც შესაძლებელია განსაზღვრულ იქნეს ნაკადის სიმაღლე ტალღის სიმაღლის გათვალისწინებით როგორც რეოლოგიური მახვენებლის გათვალისწინებით, ისე მათ გარეშე.

საკვანძო სიტყვები: ღვარცოფსადინარი; დეფორმაცია; ნაკადის მახასიათებლები.

1. შესავალი

ღვარცოფსადინარში ნაკადის ჰიდრავლიკური პარამეტრები და კალაპოტის მორფომეტრია ხშირად შეუსაბამო კავშირშია. ადგილი აქვს სადინარის კალაპოტის დეფორმაციას და მწყობრიდან გამოსვლას. გარდა ზემოაღნიშნულისა, დეფორმაციის განვითარების გამომწვევ მიზეზად შეიძლება კალაპოტების გაგანიერებული ან შევიწროებული უბნები იქნეს მიჩნეული. ასეთ სურათს შესაძლებელია ადგილი ჰქონდეს ისეთ შემთხვევაშიც, როცა ნაკადის რეგულირება აქტიური განივი ნაგებობებით ხდება.

კალაპოტის შევიწროება-გაფართოების ადგილებში ნაკადის სიღრმეთა ცვალებადობის პროცესს, კერძოდ მატებას ან შემცირებას თუ მივიჩნივთ გაჭიმვა-კუმშვის მოვლენად, მაშინ ფარდობითი დეფორმაციები, რომელსაც შეესაბამება ნაკადის ზემოთ აღნიშნული პროცესი, შესაძლებელია შეფასდეს ფარდობითი დეფორმაციის კოეფიციენტით.

თუ მივიჩნევთ, რომ ტალღურად მოძრაობის ნაკადის ჩამოყალიბება მისი გაჭიმვით ან კუმშვით ხდება, მაშინ გაჭიმული ზონის ფარდობითი დეფორმაცია დადებითი მნიშვნელობისაა.

კალაპოტის შევიწროება-გაფართოების გამო ხდება მასში გამდინარე ნაკადის ფორმის ცვლილება, რაც, თავისთავად, სტრუქტურის, ელექტრომაგნიტური და სითბური მდგომარეობის ცვლილების გამომწვევ მიზეზადაც შეიძლება ჩაითვალოს. დეფორმაციაზე დახარჯული ენერგია გარდაიქმნება ნაკადის პოტენციურ ენერგიად და ნაკადი იღებს ტალღის ფორმას [1]. ამ შემთხვევაში ტალღის სიდიდე უშუალო კავშირშია ჩამოყალიბებული ნაკადის საწყის სიღრმესა და სიმაღლესთან.

ზემოთ მოყვანილი მახასიათებლების დაზუსტებით შესაძლებელია შეფასდეს ნაკადის მდგრადობის კრიტერიუმები და დადგინდეს სიგანისა და სიღრმის ფარდობითი სიდიდის ცვლილება.

პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტის დროს ხშირად გვიწევს ერთი მიმართულების გრძივი ტალღების ჰიდრავლიკის ამოცანებთან შეხება, სადაც განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ნაკადის ტალღის ფორმით ჩამოყალიბებას [2]. ერთ-ერთ ასეთ შემთხვევად შეიძლება მიჩნეულ იქნეს ღვარცოფწარმოქმნელ კერაში ჩამოყალიბებული მასის დაძაბული მდგომარეობის რღვევა და კერიდან ღვარცოფის დაძვრის პროცესი.

ღვარცოფული ნაკადების მოძრაობის დამახასიათებელი თვისებაა მისი პულსაციური ან ტალღური ხასიათი. ღვარცოფის მოვარდნისას (საშუალოდ 1–4 საათის განმავლობაში) წარმოიქმნება ათობით და შესაძლებელია ასობით ტალღა. ტალღის ციცაბო “შუბლი” წარმოქმნის ღვარცოფის “თავს”. ტალღის “შუბლი” 1.5-ჯერ მაღალია ნაკადის ტანზე და ძირითადად მთის ქანების მსხვილი მონატეხებისაგან შედგება. ღვარცოფული ნაკადების სიმაღლე 2–10 მეტრს აღწევს, ხოლო სიგანე – 3–5 მეტრიდან 50–100 მეტრამდე მერყეობს. გადაადგილებული ნატეხების მაქსიმალური ზომა 2–4 მეტრიდან 8–10 მეტრამდეა. ღვარცოფის სიჩქარე 1–2-დან 8–10 მ/წმ-მდე. მაქსიმალური ხარჯი – 10–50-დან 5000–10000 მ³/წმ [3].

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ნაშრომში არის მცდელობა მიახლოებით გადაწყვეტილ იქნეს საკითხი, რომელიც ერთი მიმართულების გრძივი ტალღების გაანგარიშების პრობლემებს ეძღვნება. ასეთი ამოცანების გადაწყვეტის მიზანი ზოგ შემთხვევაში, შეიძლება ფორმალურ ხასიათს ატარებდეს, მაგრამ იგი აქტუალურ ხასიათს იძენს, როცა ღვარცოფებით შექმნილი ხერგილების (ხელოვნური კაშხლების) გარღვევას აქვს ადგილი.

2. ძირითადი ნაწილი

მთის რელიეფის პირობებში მიწის კაშხლის გარღვევა იწვევს დიდი გამრეცხი ენერგიის მქონე გამრღვევი ტალღის წარმოქმნას, რომელიც სწრაფად გარდაიქმნება ღვარცოფულ ნაკადად.

კაშხლის გარღვევის შედეგად წარმოქმნილი ტალღის ხარჯი დონის დაწვეის სიჩქარისა და მისი შესაბამისი სიღრმის ნამრავლის ტოლია [4]. დონის დაწვეა გარღვევის დროს H საწყისი სიმაღლიდან $h=h_0$ კრიტიკულ სიღრმემდე ხდება და ნაკადის სიჩქარე ამ სიდიდეთა ცვლილების ფუნქციაა, ე.ი.

$$V = V_0 \pm 2\sqrt{gH} \mp 2\sqrt{gh}. \quad (1)$$

შემხვედრი ნაკადისადმი ტალღის საწინააღმდეგო მიმართულებით გავრცელების შემთხვევაში სიჩქარე, როცა მისი საწყისი მნიშვნელობა 0-ის ტოლია, შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი ფორმულით:

$$V = -2\sqrt{gH} + 2\sqrt{gh}. \quad (2)$$

შესაბამისად, ღვარცოფის ხარჯი

$$q = Vh = h(-2\sqrt{gH} + 2\sqrt{gh}) \quad (3)$$

როცა ტალღის სიმაღლე მნიშვნელოვანია, C ტალღის სიჩქარესა და ნაკადის მახასიათებლებს შორის დამოკიდებულება კალაპოტის ფუძის ჰორიზონტთან α კუთხით დახრის შემთხვევაში იქნება:

$$C = \sqrt{gh\left(1 - \frac{h_0}{h}\right)} \varphi \cos \alpha \left(1 + \frac{3\Delta h}{4h} \frac{1}{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right)\varphi}\right), \quad (4)$$

სადაც C არის ტალღის გავრცელების სიჩქარე (მ/წმ); g – სიმძიმის ძალის აჩქარება (მ/წმ²); h_0 – ბმულობის შესაბამისი ეკვივალენტური სიღრმე (მ); φ – კოეფიციენტი, რომელიც შინაგანი ხახუნის კუთხის ფუნქციას ასრულებს; Δh – ტალღის გავრცელების სიჩქარე; h – ნაკადის სიღრმე (მ).

როცა ტალღის სიმაღლე უმნიშვნელოა, $\Delta h=0$, მაშინ ტალღის სიჩქარე

$$C = \sqrt{gh\left(1 - \frac{h_0}{h}\right)} \cos \alpha. \quad (5)$$

როცა $h_0=0$ და $\varphi=1$, ე.ი. რეოლოგიური მახასიათებლების 0-თან გატოლებისას გვექნება:

$$C = \sqrt{gh \cos \alpha}. \quad (6)$$

ტალღის წარმოშობის უბანზე, როცა ტალღის სიმაღლე მნიშვნელოვანია, ნაკადის ხარჯი გამოითვლება დამოკიდებულებით:

$$q = h \sqrt{gh \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi \cos \alpha} \left(1 + \frac{3\Delta h}{4h} \frac{1}{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi}\right). \quad (7)$$

როცა ტალღის სიმაღლე უმნიშვნელოა, $\Delta h=0$, მაშინ

$$q = h \sqrt{gh \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi \cos \alpha}. \quad (8)$$

რეოლოგიური მახასიათებლების 0-თან გატოლებისას, ე.ი., როცა $h_0=0$, $\varphi=1$, ნაკადის ხარჯი იქნება:

$$q = h \sqrt{gh \cos \alpha}. \quad (9)$$

როცა $\alpha=0$

$$q = h \sqrt{gh}. \quad (10)$$

(1) და (7) დამოკიდებულებების გატოლების შემთხვევაში, როცა ტალღის სიმაღლე მნიშვნელოვანია, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} h \sqrt{gh \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi \cos \beta} \left(1 + \frac{3\Delta h}{4h} \frac{1}{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi}\right) = \\ = h \left(-2\sqrt{gh} + 2\sqrt{gh}\right) \end{aligned} \quad (11)$$

თუ (11) ფორმულას ამოვხსნით h -ის მიმართ, ტალღის სიმაღლის საწყის სიღრმესთან ფარდობა იქნება:

$$\frac{h}{H} = \frac{4}{\left(2 + \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi \cos \alpha} \left(1 + \frac{3\Delta h}{4h}\right) \frac{1}{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi}\right)^2}. \quad (12)$$

როცა ტალღის სიმაღლე უმნიშვნელოა, $\Delta h=0$, მაშინ

$$\frac{h}{H} = \frac{4}{\left(2 + \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi \cos \alpha}\right)^2}. \quad (13)$$

როცა რეოლოგიური მახასიათებლები $h_0=0$, $\varphi=1$, მაშინ

$$\frac{h}{H} = \frac{4}{\left(2 + \sqrt{\cos \alpha}\right)^2}. \quad (14)$$

როცა $\alpha=0$, $h_0 \neq 0$, $\varphi \neq 0$

$$\frac{h}{H} = \frac{4}{9} \frac{4}{\left(2 + \sqrt{\varphi}\right)^2}. \quad (15)$$

როცა $\alpha=0$, $\varphi=1$, $h_0=0$

$$\left(\frac{h_0}{H}\right) = \frac{4}{9}. \quad (16)$$

3. დასკვნა

ზემოთ მოყვანილი საანგარიშო დამოკიდებულებებით შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს ნაკადის სიმაღლე ტალღის სიმაღლის როგორც რეოლოგიური მახვევების გათვალისწინებით, ისე მის გარეშე.

ლიტერატურა

1. Suwa H, Akamatsu J, Nagai Y, Energy Radiation by Elastic Waves from Debris Flows. In: Rickenmann D, Chen C-L (eds) Debris flow hazards mitigation: mechanics, prediction, and assessment. Proceedings of the third international conference. Millpress, Rotterdam, 2003, pp. 895–904.
2. Натишвили О. Г., Тевзадзе В.И. Волны в селях. Национальная академия наук Грузии, Институт водного хозяйства, Тбилиси: Мецниереба, 2011. - 162 с.
3. Перов В.Ф. Селеведение. Московский государственный университет им. Ломоносова. Москва, 2012. - 274 с.
4. Маккавеев В.М., Коновалов И.М. Гидравлика. М.Л.: Региздат. 1940. - 643 с.

შპს 628.1.

წყალმომარაგების სისტემებში მექანიკური ზემოქმედებისას დეფექტების წარმოქმნის შესახებ

ლ. კლიმიაშვილი, მ. ნაცვლიშვილი
(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

რეზიუმე: განხილულია წყალმომარაგების სისტემებში გამოყენებული ლითონის მილებში ბზარებისა და წერტილოვანი დეფექტების წარმოქმნის პროცესი მექანიკური ზემოქმედებისას. გაანალიზებულია ლითონის ელემენტების სიმტკიცის დაკარგვის დისლოკაციური მექანიზმი, რომელთა მოძრაობამ ორ გადამკვეთ დაცურების სიბრტყეში შეიძლება ბზარის წარმოქმნა გამოიწვიოს.

საკვანძო სიტყვები: სიმტკიცე; დაშლა; დისლოკაცია; წერტილოვანი დეფექტები; პოლიკრისტალები.

1. შესავალი

როგორც ცნობილია, მექანიკური ზემოქმედება ელემენტების სიმტკიცის დაკარგვით და დაშლით ვლინდება; მასში ძირითად როლს ასრულებს დისლოკაციური მექანიზმი. დისლოკაცია ლითონის კრისტალური აგებულების დეფექტების ძირითადი ტიპია, წერტილოვან და ზოგიერთ სხვა დეფექტთან ერთად (წყალმომარაგების სისტემის ნაგებობების ელემენტების ძირითადი ნაწილი ლითონის შენადნობია, თანაც პოლიკრისტალები), რომელიც ყოველთვის არის მასალებში გარკვეული წონასწორული კონცენტრაციით. მასალის დეფორმაცია და შესაძლო დაშლა პირველ რიგში დაკავშირებულია დისლოკაციების მოძრაობასთან – რაც უფრო მოძრავია კრისტალის დისლოკაციები, მით უფრო პლასტიკურია და, როგორც წესი, ნაკლებად მტკიცე და პირიქით. ამიტომ, მასალის მექანიკური სიმტკიცის გაზრდის ერთ-ერთი ეფექტური საშუალებაა მათ სტრუქტურაში დისლოკაციების მუხრუჭების შექმნა, რაშიც შეიძლება ჩაითვალოს წერტილოვანი დეფექტები (ლი-

თონის გამოწრობა), მარცვლების საზღვრები (მარცვლების ზომის შემცირება – დეფორმაცია, განკრისტალება) და ა.შ. (უცხო ფაზების ჩანართები, მინარევის ცალკეული ატომები და სხვა).

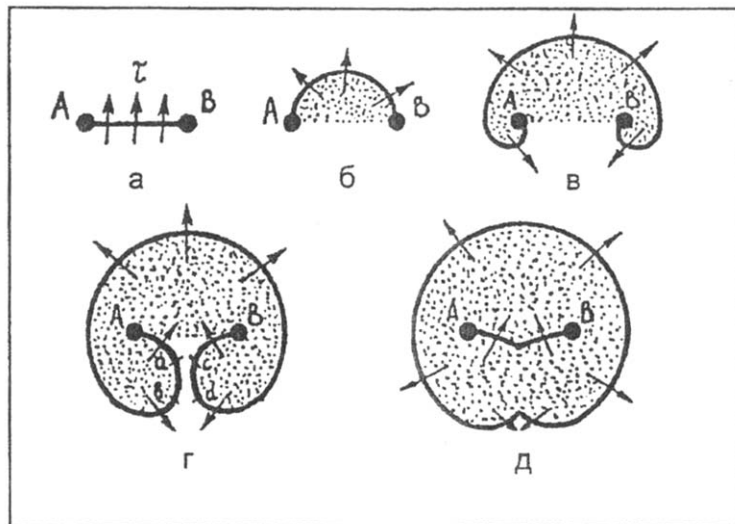
2. ძირითადი ნაწილი

კრისტალურ მასალაში მექანიკური დაძაბულობა იწვევს დისლოკაციების წარმოქმნას. თუ დისლოკაცია დაცურების სიბრტყეშია და მოდებულ მექანიკურ დაძაბულობას აქვს ამ სიბრტყის პარალელური, ორი საპირისპიროდ მიმართული კომპონენტი, მისი მოძრაობა კრისტალურ მესერში გამოიწვევს a ერთი პარამეტრით წანაცვლებას, რადგან კრისტალი პლასტიკურად დეფორმირებული აღმოჩნდება. შემდეგ გაგრძელება გარე დატვირთვის მოქმედება, კრისტალში წარმოიქმნება და მოძრაობას დაიწყებს კიდევ ერთი დისლოკაცია, რის შედეგადაც წანაცვლება $2a$ გახდება და ა.შ. როგორც ამ მარტივი მაგალითიდან ჩანს, მექანიკური დაძაბულობა არის დისლოკაციების წარმოქმნის და მოძრაობის მიზანი, მაშინ როდესაც სწორედ დისლოკაციების მოძრაობა უზრუნველყოფს (წარმოშობს) პლასტიკურ დეფორმაციას. თუ დაძაბულ კრისტალურ მასალაში არ ხდება დისლოკაციების წარმოქმნა, მაშინ მისი დეფორმაცია მთავრდება იმ მომენტში, როდესაც ადრე არსებული ყველა დისლოკაცია ზედაპირზე ამოვა. გარდა ამისა, მასალის დეფორმაცია შეუძლებელი ხდება, თუ მასში არსებული ყველა დისლოკაცია რაიმე სახით დამაგრებული აღმოჩნდება.

გარე მექანიკური დაძაბულობის ზემოქმედებით დისლოკაციების წარმოქმნა შეიძლება მოხდეს მათი გამრავლების გზითაც. ამასთან, ეს გამრავლება ხორციელდება სხვადასხვა შემთხვევაში სხვადასხვა მექანიზმის მიხედვით. თვალსაჩინო მაგალითის სახით შეიძლება განვიხილოთ დისლოკაციების გამრავლება ფრანკ-რიდის წყაროს მეშვეობით.

1-ელ ნახ-ზე ნაჩვენებია დისლოკაციის მონაკვეთი, რომელიც თავისი დაცურების სიბრტყეში იმყოფება (იგი ემთხვევა ნახაზის სიბრტყეს). ამ დისლოკაციის ნაწილები, რომლებიც არ არის ნაჩვენები და A და B წერტილებს ესაზღვრება, მდებარეობს სხვა სიბრტყეში, რომელშიც მათი დაცურება შეუძლებელია. ამრიგად, A და B წერტილებში დამაგრებულია დისლოკაციის AB მონაკვეთი. თუ ასეთი დისლოკაციის შემცველ კრისტალს გარედან მოვდებთ მექანიკურ დაძაბულობას შესა-

ბამისი დაცურების სიბრტყეში (ნახ.1ა, τ), AB მონაკვეთი დაცურებისას დაიწყებს თანდათან ამოზნექას. ამასთან, იგი თანამიმდევრულად მიიღებს 1-ელ ნახ-ზე (1,ბ-რ) ნახევრებ ფორმებს. Δ სიტუაციაში ან და Δ დისლოკაციების მეზობელი მონაკვეთები (სხვადასხვა ნიშნის მსგავსი დისლოკაციებია ანუ ერთმანეთისკენ მიიზიდება) შეერთდება და ერთმანეთს სპობს, მაშინ როდესაც aA და cB მონაკვეთები შეერთდება δ და Δ წერტილებში, წარმოქმნის A და B წერტილებში დამაგრებული ახალი დისლოკაციის მონაკვეთს დაცურების სიბრტყეში. თუ გარე დაძაბულობის მოქმედება გრძელდება, AB დისლოკაციის გათვალისწინებით, ისევ გამეორდება იგივე გარდაქმნა და ა.შ.; წარმოქმნილი დისლოკაციური მარყუქები იმავე მექანიკური დაძაბულობის მოქმედებით გაფართოვდება.

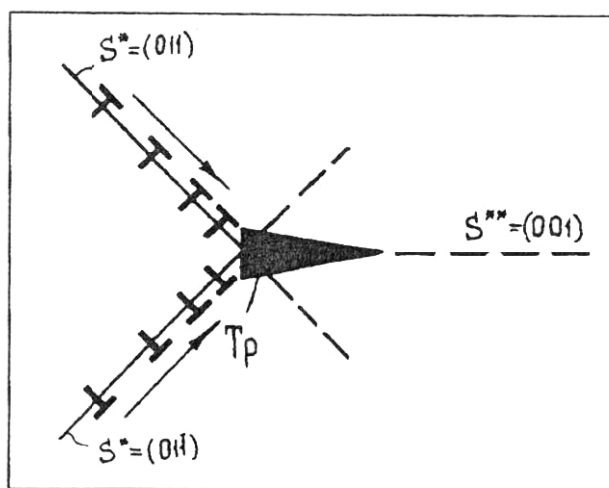


ნახ. 1. დისლოკაციების გამრავლების თანამიმდევრული სტადიები ფრანკ-რიდის მექანიზმის მიხედვით

უნდა აღინიშნოს, რომ დისლოკაციის დამაგრების წერტილები (A, B 1-ელ ნახ-ზე) შეიძლება იყოს არა მარტო გადაღუნვის ადგილები, არამედ დისლოკაციური და ატომური მინარევების ელემენტები და ა.შ. გარდა ამისა, ფრანკ-რიდის მექანიზმი უნივერსალური არ არის, მისი რეალიზაცია მოითხოვს სრულიად განსაზღვრული პირობების შექმნას.

სხვა მექანიზმებიდან დავასახელებთ დისლოკაციების გამრავლებას მრავალჯერადი განივი დაცურების გზით. ასეთი დაცურება არის დისლოკაციის მოძრაობის ერთ-ერთი სახეობა საკუთარი დაცურების სიბრტყეში, ერთი დაცურების

სიბრტყიდან მეორეში გადასვლით. გარე მექანიკური დაძაბულობის ზემოქმედებით, მცირე დისლოკაციური მარყუქების გაფართოებას თან ახლავს მათი გადასვლა მეზობელი (პარალელური) დაცურების სიბრტყეებში. რადგან ზღვრული დისლოკაციები ac და bd უძრავია, დაცურების სიბრტყეში არსებობს დისლოკაციები ორი დამაგრების წერტილით (c და d), ანუ რეალიზდება ზემოთ განხილულის მსგავსი სიტუაცია და a ტიპის დისლოკაციები შეიძლება გამრავლდეს ფრანკ-რიდის მექანიზმის მიხედვით. დისლოკაციის აღნიშნული მონაკვეთები ფართოვდება (ანუ იწეებს მუშაობას, როგორც ფრანკ-რიდის წყაროებზე), მაგრამ სანამ შეიკვრება (ნახ. 1, Δ), გადადის დაცურების შემდეგ სიბრტყეში და ა.შ. შედეგად წარმოიქმნება უწყვეტი დისლოკაციური მარყუქი, რომელიც გადის დიდი რაოდენობის პარალელური დაცურების სიბრტყეში ანუ იზრდება არა მარყუქების რაოდენობა, არამედ ჯამური სიგრძე.



ნახ. 2. **ОЦК** კრისტალში ორი დაცურების სიბრტყის გადაკვეთის არეში ბზარის წარმოქმნის ერთ-ერთი შესაძლო მექანიზმი

3. დასკვნა

გარე დატვირთვის ზემოქმედებით კრისტალში განვითარებულმა მექანიკურმა დაძაბულობამ, ხელსაყრელ შემთხვევაში, შეიძლება მოძრაობა უზრუნველყოს. ორი ან მეტი მოძრავი დისლოკაციის „შეხვედრამ“ შეიძლება გამოიწვიოს მათი დამუხრუჭება (წარმოიქმნება დაჭიმულობა, დისლოკაციური კვანძები და ა.შ.), ერთეუ-

ლოვანი წერტილოვანი დეფექტების წარმოქმნა და დისლოკაციების ურთიერთმოს-
პობა.

დასასრულ, დისლოკაციების მოძრაობამ ორი გადამკვეთი დაცურების სიბრ-
ტეში შეიძლება გამოიწვიოს ბზარის წარმოქმნა.

მე-2 ნახ-ზე მოცემულია მსგავსი მაგალითი ОЦК კრისტალური მესრის კრის-
ტალისთვის.

ასეთ სტრუქტურებში არსებობს გადამკვეთი დაცურების სიბრტყეები.
სწორედ ამ სიბრტყეების (011) და (011) გადაკვეთის წერტილში ადგილი აქვს დის-
ლოკაციურ რეალიზაციას:

$$\frac{a}{2}[\bar{1}\bar{1}1] + \frac{a}{2}[111] \rightarrow a[001].$$

წარმოქმნილი დისლოკაციის $\vec{b} = a[001]$ ბლოკავს $b = \frac{a}{2} \langle 111 \rangle$ დისლოკაციის
მოძრაობას, რის შედეგადაც იქმნება მათი შეჯგუფება და შედეგად – ბზარი.

ლიტერატურა

1. ნ. აბრამოვი. წყალმომარაგების სისტემების საიმედოობა. სახელმძღვანელო უმაღ-
ლესი სასწავლებლების სტუდენტებისათვის. მოსკოვი: სტროიიზდატი, 1982.
2. ლ. კლიმიაშვილი. წყალმომარაგების სისტემების ნაგებობათა მტყუნებათა წინა-
პირობებისა და მიზეზების გამოვლენა / მიმოხილვითი ინფორმაცია. “წყლის მე-
ურნეობა. მედიორაცია”, თბილისი: საქართველოს სამეცნიერო ტექნიკური ინ-
ფორმაციის კვლევითი ინსტიტუტი, 1987.
3. ლ. კლიმიაშვილი. წყლის მიწოდებისა და განაწილების სისტემების საიმედოობა.
მონოგრაფია. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2011.

შპს 627.8

ექსპერტული სისტემების აგების შესახებ

ლ. კლიმაშვილი, ნ. ნაცვლიშვილი, დ. გურგენიძე

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

რეზიუმე: განხილულია ექსპერტული სისტემის შექმნის და პრობლემური სფეროს საკვანძო კონცეპტების გამოვლენის პროცესი. გაანალიზებულია ექსპერტისგან ცოდნის ამოღების, გადაცემის, წარმოდგენის, მართვის სტრატეგიის, აგრეთვე მომხმარებელთან ურთიერთქმედების ქვესისტემისა და სისტემის რეალიზაციის ადეკვატური ხერხების არჩევა.

მიღებულია, რომ რაიმე იდეის ექსპერიმენტული შემოწმების, მაგალითად, სამრეწველო სისტემის ან პროტოტიპის შექმნის, შემდგომში მისი სამრეწველო ვარიანტში გადაყვანისთვის არჩეული საშუალებების ეფექტურობის საკითხი უაღრესად აქტუალურია.

საკვანძო სიტყვები: ექსპერტული სისტემები; ცოდნის ამოღება; გადაცემა; წარმოდგენა; სტრატეგია; კონცეპტები; ქვესისტემები; რეალიზაცია; ადეკვატური ხერხები.

1. შესავალი

ცოდნის მიღების პროცესის მნიშვნელოვანი ეტაპია პრობლემური სფეროს საკვანძო კონცეპტების გამოვლენა, მათი წარმოდგენა ცხადი და ზუსტი ფორმით. არჩეული კონცეპტების სიმრავლე განსაზღვრავს შექმნილი სისტემის პოტენციურ შესაძლებლობებს, მისი მოქნილობისა და უნივერსალურობის ჩათვლით. ექსპერტისგან ცოდნის ამოღება ექსპერტული სისტემის აგების ყველაზე შრომატევადი ნაწილია. ერთ-ერთი ტრადიციული ხერხია ექსპერტების ინტერვიუება. ის, ვინც ექსპერტს გამოკითხავს, ძირითად ყურადღებას მათ ემპირიულ ცოდნას უთმობს, ვარაუდისა და მიხედვრის ჩათვლით, მათ საკუთარ განმარტებას ცნებების შესახებ,

სტრატეგიას და ა.შ. ექსპერტისგან ინტერვიუს ამდები სპეციალისტი ინჟინერ-ინტერპრეტატორია.

როგორც წესი, ექსპერტული სისტემის შექმნის პროცესი ითვალისწინებს შემდეგი ოპერაციების ჩატარებას – ინტენსიურად მუშავდება ცოდნის მიღების ავტომატიზებული სისტემები; ექსპერტისგან ცოდნის მიღების ავტომატიზებული ხერხები მოიცავს ექსპერტის მუშაობას კითხვა-ანგარიშის სისტემით და მაგალითების წარდგენის საშუალებით. უნდა აღინიშნოს, რომ ცოდნის მიღების კითხვა-პასუხის რეჟიმი აადვილებს სისტემაში ცოდნის ელემენტარული ერთეულების ფორმირებას და მათ დაზუსტებას.

2. ძირითადი ნაწილი

გამოკითხვის პროცესს ინტერაქტიული ხასიათი აქვს. თავიდან ექსპერტმა უნდა გადმოსცეს გადასაწყვეტი ამოცანის არსი. ამ დროს ექსპერტის წინაშე დასმულია ჰიპოთეზური პრობლემები და მათი პირობები ისე იცვლება, რომ პასუხიდან მაქსიმალური ინფორმაცია მიიღონ მინიმალური ძალისხმევით. ძირითადი ცნებები (საკვანძო მომენტები) და დამოკიდებულებები გამოჰყავთ იმ წესებიდან, რომელთაც ექსპერტი იყენებს დასკვნის შემთხვევაში. შემდეგ მან დეტალურად უნდა დააზუსტოს წესების შემადგენელი ნაწილები (კომპონენტები). ამავდროულად, დასაწყისში დეტალიზაციის დონეს ინჟინერ-ინტერპრეტატორი ინტუიციურად ადგენს.

თავიდან ინტერვიუერის როლს თავის თავზე იღებს სპეციალური სისტემა, რომელიც ექსპერტისგან გამოითხოვს ინფორმაციას, დაწყებული მის მიერ გამოყენებული ტერმინების განმარტებით და დამთავრებული საკვანძო კონცეპტების განსაზღვრით.

ცოდნის მიღების მეორე მეთოდი გულისხმობს სისტემის სასურველი ქცევის გამოყვანას – ტიპურ სიტუაციაში მართვის სწორი ქცევის მაგალითების წარდგენა. აღნიშნული ამოცანა პროგრამის სინთეზის ამოცანის ანალოგიურია, სინთეზირების სისტემისთვის კორექტული პროგრამების იმ მაგალითების ჩვენების საფუძველზე, რომლებიც გარკვეულ ამოცანას გადაწყვეტს.

ექსპერტული სისტემის შექმნის შემდგომი ეტაპია მიღებული ცოდნის წარმოდგენა. ექსპერტულ სისტემაში ცოდნის წარმოდგენის ხერხი დამოკიდებულია გადასაწყვეტ ამოცანასა და მის სპეციფიკაზე. ჩვეულებრივ, გამოიყენება შემდეგი

ფორმალიზმები: ლოგიკური აღრიცხვა; ფრეიმი; სემანტიკური ქსელი; პროდუქციული სისტემები.

ისინი საკმაოდ დეტალურადაა განხილული და ცნობილია ლიტერატურაში. როგორც წესი, ლოგიკური აღრიცხვა შემოიფარგლება პირველი რიგის პრედიკატების აღრიცხვით. უმარტივეს შემთხვევაში, ამა თუ იმ ფაქტის ჩანაწერია: $P(X, Y, Z, \dots)$, სადაც P არის დამოკიდებულება, ხოლო $X, Y, Z, \dots$ ის ობიექტები, რომლებზეც იგია მოცემული. რადგან სინამდვილე ყოველთვის ვერ თავსდება კლასიკური ლოგიკის ჩარჩოებში, საჭიროა გამოვიგონოთ ახალი ლოგიკა ან შევცვალოთ ძველი, რათა მასში ჩავრთოთ დროითი, სივრცითი და სხვა კატეგორიები.

ფრეიმის ცნება შემოტანილ იქნა იმ სტრუქტურის აღნიშვნისთვის, რომელიც საჭირო იყო სტერეოტიპური სიტუაციის წარმოსადგენად. ფრეიმების სახით ცოდნის წარმოდგენა, კონცეპტების რიცხვის მიხედვით, არ აღემატება პირველი რიგის პრედიკატების აღრიცხვას. მიუხედავად ამისა, ცოდნის ასეთი ორგანიზება საკმაოდ მოხერხებულია მისი მოდულობით, წარმოსახვის თვალსაჩინოებით, შეძლებისდაგვარად ცვლადების მნიშვნელობის მითითებით, დუმილის მეშვეობით და ა.შ.

სემანტიკურ ქსელებს საფუძვლად უძევს ცოდნის ფორმალიზება ორიენტირებული გრაფის სახით, მონიშნული წვეროებით და რკალებით. ამ დროს გრაფის წვეროებს შეესაბამება ობიექტები ან სიტუაციები, მაშინ როდესაც რკალებს – მათ შორის დამოკიდებულება. წვეროები შეიძლება შეესაბამებოდეს ზოგად ცნებებს, კონსტანტებს, ტიპობრივ ცვლადებს, მოვლენის ფრეიმებს, ფრეიმ-მახასიათებლებს, ლოგიკურ ფუნქციებს და პრედიკატებს. გრაფის რკალი წარმოადგენს თეორიულ-მრავლობით, ლოგიკურ, კვანტიფიცირებულ და ლინგვისტურ თანაფარდობებს.

როგორც ფრეიმების შემთხვევაში, ცოდნის ორგანიზება სემანტიკურ ქსელებში ხორციელდება აღწერილი ობიექტების ირგვლივ.

პრედიკატების აღრიცხვის ენასთან შედარებით, ფრეიმებით ან სემანტიკური ქსელებით წარმოდგენა უფრო ბუნებრივი, თვალსაჩინო და გასაგებია.

უმარტივეს შემთხვევაში პროდუქციული წესები სიმბოლოების ჯაჭვის მოწესრიგებული წყვილია, რომელიც შეიცავს მარცხენა და მარჯვენა ნაწილებს (ანტიცედენტს და კონსეკვენტს). უმეტესი წესების სიმრავლისთვის მოცემულია გარკვეული თანაფარდობა. პროდუქციული წესები შეიძლება განვიხილოთ, როგორც გარკვეული პირობითი მტკიცებები. ცოდნის წარმოსადგენად პროდუქციის წესების

გამოყენების პარადიგმა იმაში მდგომარეობს, რომ მარცხენა ნაწილს ენიჭება გარკვეული პირობა, ხოლო მარჯვენას – მოქმედება.

შემდეგი ეტაპია იმ მართვის სტრატეგიის არჩევა, რომელიც დაკავშირებულია წარმოდგენის ხერხთან, გადასაწყვეტი ამოცანის ხასიათსა და მისი გადაწყვეტისთვის საჭირო მონაცემებთან.

დღეს შემუშავებულია გადაჭრის გზების პოვნის ზოგადი მეთოდები, საწყისი მონაცემების მოცემული სიმრავლისთვის. ჩვეულებრივ, გადაწყვეტა განიხილება, როგორც ძიების პროცედურა მდგომარეობათა სივრცეში.

მდგომარეობათა სივრცის დათვალიერება ხორციელდება პირდაპირი (დაწყებული საწყისი მდგომარეობიდან მიზნობრივ მდგომარეობამდე, გზის პოვნის ოპერატორების გამოყენებით) ან პირუკუ (მიზნობრივი მდგომარეობიდან საწყის მდგომარეობამდე, ოპერატორების ინვერსიის გამოყენებით) მიმართულებით.

თუ ძიების პროცესში სისტემა ჩიხში შედის, მაშინ გამოსვლისთვის გამოიყენება პირუკუ აღდგენის პროცედურა (ბექტერკინგი). ამ დროს ძიების პროცესი დაბრუნდება განშტოების უახლოეს წერტილში და გაიკვლევს სხვა გზას ანუ ახალი ოპერატორი მდგომარეობის ახალი მიმართულებით აირჩევა განსახილველად.

ძიების სხვა მეთოდი ე.წ. ძიება გრაფზე ითვალისწინებს ერთდროულად რამდენიმე „მიმდინარე მდგომარეობის“ გზის გაკვალვას. თვით ძიების პროცედურა შეიძლება იყოს ერთ-ერთი რომელიმე: ძიება „ჯერ სივანეში“, როდესაც საწყისი წერტილიდან ყველა გზა ერთნაირი სიჩქარით განიხილება; გზის ძიება თითოეულ იტერაციაში მინიმალური ღირებულებით, რომლის პროცესში გზა გარკვეული კრიტერიუმით აირჩევა მინიმალური დაგროვილი ღირებულებით; ევრისტიკულად მართვადი პროცესი, როდესაც ძიების გაგრძელების კრიტერიუმი სხვადასხვა ევრისტიკაა.

ექსპერტული სისტემის მნიშვნელოვანი კომპონენტია განმარტების ქვესისტემა, მისი არჩევა ექსპერტული სისტემის აგების მომდევნო, მეოთხე ეტაპად. განმარტების ქვესისტემის ძირითადი ამოცანაა მომხმარებლისთვის ექსპერტული სისტემის მუშაობის სხვადასხვა ასპექტის ახსნა.

მისი შექმნა შემდეგ მიზნებს ისახავს: უპასუხოს კითხვებს სისტემის ცოდნის ყველა ასპექტის და მოქმედების შესახებ; მომხმარებელს მისცეს განმარტება, რომელიც მთლიანად და ამომწურავად უპასუხებს მის შეკითხვებს; მოსახერხებელი იყოს ყველა კატეგორიის მომხმარებლისათვის – დამწყებიდან ექსპერტამდე.

განმარტების უმარტივესი სახეა პასუხი კითხვაზე ცოდნის ბაზის შინაარსის შესახებ. თუმცა, ხშირად, ეს არასაკმარისია. ყველაზე დიდი სირთულე დაკავშირებულია განმარტებასთან, როგორ იყენებს პროგრამა მასში ჩადებულ ცოდნას და არა იმას, რა იცის; ე.წ. მომხმარებელმა უნდა გაიგოს მსჯელობის მიმდინარეობა.

ექსპერტული სისტემის შექმნის მეხუთე ეტაპი დაკავშირებულია მომხმარებელთან ურთიერთობის ქვესისტემის არჩევასთან. რადგან ექსპერტულ სისტემასთან უნდა იმუშაოს სხვადასხვა კატეგორიის ადამიანებმა (სპეციალისტებმა, მომსახურე პერსონალმა და ა.შ.), თითოეულს უნდა მიეცეს სისტემასთან ურთიერთქმედების შესაძლებლობა. ამ საკითხებს (კომპიუტერთან ურთიერთობა სხვადასხვა ენაზე – დაწვრილი დიალოგური პროგრამული რედაქტორებით და დამთავრებული პროფესიული ბუნებრივი ენით) მრავალი ლიტერატურა ეძღვნება და აქ მასზე არ ვიმსჯელებთ.

დასასრულ, ექსპერტული სისტემის შექმნის ბოლო, მეექვსე ეტაპია საშუალების არჩევა მისი რეალიზებისთვის. ფაქტობრივად, იგი განისაზღვრება სისტემის შექმნის მიზნებით.

3. დასკვნა

იმ შემთხვევაში, როდესაც რაიმე სისტემა იქმნება ამა თუ იმ იდეის ექსპერტული შემოწმებისათვის, რომელიც დაკავშირებულია ცოდნის წარმოდგენასა და მასზე მსჯელობის მეთოდთან, საშუალებების საკითხის განხილვა მიზანშეწონილი არ არის; კარგი და გამოსადეგია პრაქტიკულად ყველა ხელმისაწვდომი საშუალება. თუ საუბარია სამრეწველო სისტემის ან პროტოტიპის შექმნაზე სამრეწველო ვარიანტში მისი გადაყვანისთვის, მაშინ არჩეული საშუალებების ეფექტურობის საკითხი უადრესად აქტუალურია.

ლიტერატურა

1. ნ. აბრამოვი. წყალმომარაგების სისტემების საიმედოობა. სახელმძღვანელო უმაღლესი სასწავლებლების სტუდენტებისათვის. მოსკოვი: სტროიიზდატი, 1982.
2. ლ. კლიმიაშვილი. წყლის მიწოდებისა და განაწილების სისტემების საიმედოობა. მონოგრაფია. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2011.

შპს 51:6

ონოს სამეულის სტრუქტურის აბეზა ნებისმიერ ლოგოსში

ა. კლიმიაშვილი

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

რეზიუმე: შესწავლილია ნებისმიერ ლოგოსში არსებული მონადური ჰეიტინგის ლოგოკა, ნახვენებია ამ ლოგოკის კავშირი ონოს სამეულთან. გამოყენებულია შეუღლებული ფუნქტორებისა და ბუნებრივი გარდაქმნების ძირითადი თვისებები. შესაძლო გამოყენებები მოიცავს მოდალობების შემცველ ნებისმიერ მათემატიკურ მოდელების კლასს, მათ შორის წყალთან დაკავშირებულ მოდელებსაც.

საკვანძო სიტყვები: მათემატიკური ლოგოკა; კატეგორიათა თეორია; ტოპოსთა თეორია; ტოპოლოგია.

1. შესავალი

ნაშრომის მიზანია ლოგოსის ლოგიკური სტრუქტურების შესწავლა ტოპოსთა თეორიაში გამოყენებული მეთოდების გათვალისწინებით. ლოგოსში არსებული სტრუქტურები ტოპოსის შესაბამისი სტრუქტურის შესუსტებულ ვარიანტს წარმოადგენს.

2. ძირითადი ნაწილი

ონოს სამეული ეწოდება ჰეიტინგის ალგებრას ორი ერთადგილიანი ოპერატორით $(H, \forall, \exists)$, რომლებიც შემდეგ აქსიომებს აკმაყოფილებს:

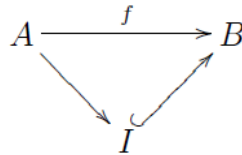
1. $\forall p \leq p, p \leq \exists p$;
2. $\forall \forall p \geq \forall p, \exists \exists p \leq \exists p$;
3. $\forall (p \wedge q) = \forall p \wedge \forall q, \exists (p \vee q) = \exists p \vee \exists q$;

4. $\forall 1 = 1, \exists 0 = 0$;
5. $\forall p \rightarrow \forall q \leq \forall (p \rightarrow q)$;
6. $\exists (p \wedge q) = \exists p \wedge \exists q$;
7. $\forall \exists p = \exists p, \exists \forall p = \forall p$.

ეს სამეულები შემოტანილია ონოს ლოგიკის ინტერპრეტაციისთვის, რომლის შესახებაც დაწვრილებით ქვემოთ ვისაუბრებთ. საინტერესოა რა მიმართებაშია ონოს სამეულები ნაწილობრივად დალაგებულ სიმრავლეებთან, რომლებიც მიიღება ნებისმიერი კატეგორიის ობიექტებიდან Sub ფუნქტორის მეშვეობით.

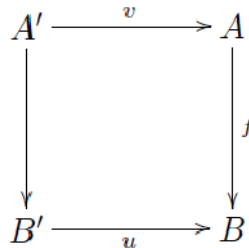
კატეგორიას ეწოდება რეგულარული, თუ:

1. გააჩნია სასრული ობიექტი 1;
2. ნებისმიერი A -სა და ნებისმიერი B -თვის არსებობს $A \times B$;
3. ყოველი $I \rightarrow A$ და $I' \rightarrow A$ ორი ქვეობიექტისთვის არსებობს თანაკვეთა $I' \wedge I \rightarrow A$;
4. ნებისმიერი f -თვის $A \xrightarrow{f} B$ არსებობს უმცირესი $I \rightarrow B$ ქვეობიექტი, ისეთი, რომ



დიაგრამა კომუტაციურია. ასეთი ქვეობიექტი აღინიშნება $\text{Im}(f)$ -ით.

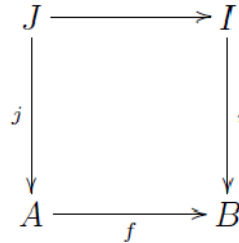
5. ნებისმიერი პულბეკი ინარჩუნებს სახეს, ე. ი. ნებისმიერი პულბეკდიაგრამისთვის



თუ $\text{Im } f = B$, მაშინ $\text{Im } f' = B'$.

თუ ყველა ეს პირობა შესრულებულია, მაშინ კატეგორიას ეწოდება რეგულარული. აღვნიშნოთ $\text{Sub}(A)$ -თი ნაწილობრივ დალაგებული სიმრავლე, რომელიც

მიიღება A ქვეობიექტების მეშვეობით f^{-1} (ან f^*): $\text{Sub}(B) \rightarrow \text{Sub}(A)$. აღვნიშნოთ თანადობა, რომელიც ყოველ $I \rightarrow B$ ქვეობიექტს უთანადებს $J \rightarrow A$ ქვეობიექტს, მიიღება შემდეგი პულბეკდიაგრამიდან (კვადრატიდან):



ეს თანადობა არის ფუნქტორი $\text{Sub}(A)$ -სა და $\text{Sub}(B)$ -ს შორის, განიხილება როგორც დალაგების კატეგორიები.

რეგულარულ კატეგორიას ეწოდება კატეგორია გაერთიანებით, თუ ა) მისი ნებისმიერი A ობიექტისთვის $\text{Sub}(A)$ ნაწილობრივ დალაგებული სიმრავლე არის მესერი უმცირესი ელემენტით და ბ) თუ ნებისმიერი f -თვის $f^{-1}(f^*)$ ინახავს მესერულ გაერთიანებას და უმცირეს ელემენტს.

ნებისმიერ რეგულარულ კატეგორიაში f^{-1} ფუნქტორისთვის შესაძლებელია აიგოს მარცხენა შეუღლებული ფუნქტორი. იგება შემდეგნაირად: ყოველი f -თვის, $f: A \rightarrow B$ და ყოველი i -თვის $i: I \rightarrow A$ $\exists f(i)$ -ით აღვნიშნოთ ქვეობიექტი $\text{Im}(f \circ i)$. მიღებულ $\text{Sub}(A)$ თანადობას ობიექტი გადაჰყავს $\text{Sub}(B)$ -ში. დამტკიცებულია, რომ მიღებული თანადობა ფუნქტორია და რომ ნებისმიერ რეგულარულ კატეგორიაში $\exists f$ მარცხენა შეუღლებულია f^{-1} -თვის, $\exists f \dashv f^{-1}$.

ვიტყვი, რომ რეგულარული კატეგორია არის კატეგორია $\forall$, თუ ნებისმიერი f -თვის $f: \text{Sub}(B) \rightarrow \text{Sub}(A)$ არსებობს, f^{-1} -ის (f^*) მარჯვენა შეუღლებულია $\forall f: \text{Sub}(A) \rightarrow \text{Sub}(B)$, $f^{-1} \dashv \forall f$.

რეგულარულ კატეგორიათა გაერთიანებით $\forall$ ეწოდება ჰეიტინგის კატეგორია ანუ ლოგოსი. სახელწოდება ჰეიტინგის კატეგორია მომდინარეობს იქიდან, რომ ასეთ კატეგორიაში $\text{Sub}(A)$ ნებისმიერი A ობიექტისთვის ჰეიტინგის ალგებრას წარმოადგენს. არსებობს ლოგოსის სხვა განმარტებაც, რომელიც პიტსს ეკუთვნის.

ამ განმარტების მიხედვით ლოგოსი ეწოდება L კატეგორიას, რომელსაც

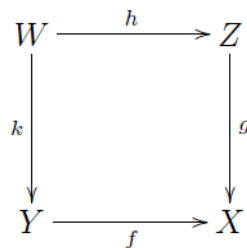
ა) აქვს სასრული ზღვრები;

ბ) ყოველი A -თვის $\text{Sub}(A)$ ჰეიტინგის ალგებრაა;

გ) ყოველი f -თვის $f : A \rightarrow B$ $f^{-1} : \text{Sub}(B) \rightarrow \text{Sub}(A)$ -ს გააჩნია მარჯვენა და მარცხენა შეუღლებულები, $\forall f, \exists f^{-1}$.

დ) ბეკ-შევალიეს პირობა.

ყოველი კომპუტაციური კვადრატისთვის



ეს ორი განმარტება ეკვივალენტურია. დამტკიცებულია, რომ ნებისმიერ ლოგოსში სრულდება შემდეგი თეორემები.

თეორემა 1. ნებისმიერ ლოგოსში ყოველი $f : A \rightarrow B$ -თვის

$$f^{-1} : \text{Sub}(B) \rightarrow \text{Sub}(A)$$

წარმოადგენს $\text{Sub}(A)$ და $\text{Sub}(B)$ ჰეიტინგის ალგებრების ჰომომორფიზმს, ე. ი. ინახავს $\vee, \wedge, \Rightarrow$, უმცირეს და უდიდეს ელემენტებს.

თეორემა 2. შემდეგი საბი პირობა ეკვივალენტურია ნებისმიერ ლოგოსში:

$$1) \quad \exists f(p \wedge f^{-1}(q)) = q \wedge \exists f(p);$$

$$2) \quad f^{-1}(p \Rightarrow q) = f^{-1}(p) \Rightarrow f^{-1}(q);$$

$$3) \quad \forall f(p \Rightarrow f^{-1}(q)) = \exists f(p) \Rightarrow q \text{ და ისინი ჭეშმარიტია.}$$

უნდა აღინიშნოს, რომ ლოგოსში იმპლიკაცია $\Rightarrow$ მიიღება, როგორც მარჯვენა შეუღლებული შემდეგი ფუნქტორისა $x \Rightarrow (*): \text{Sub}(A) \rightarrow \text{Sub}(A)$ კატეგორიაში არის მარჯვენა შეუღლებული ფუნქტორისა $x \wedge (*): \text{Sub}(A) \rightarrow \text{Sub}(A)$ (x ფიქსირებულია). მტკიცდება, რომ ლოგოსშია ასეთი შეუღლება. მართლაც, ყოველთვის არსებობს და რომ მიღებული ოპერაცია აკმაყოფილებს იმპლიკაციის მოთხოვნებს. აქედან

ჩანს, რომ ლოგოსის პირობები საკმაოდ ძლიერია და ლოგოსში შეიძლება $\text{Sub}(A)$ ონოს სამეულად იქცეს. უპირველეს ყოვლისა, საჭიროა $\text{Sub}(A)$ პეიტინგის ალგებრაზე განისაზღვროს $\exists$ და $\forall$ ოპერატორები. ეს ოპერატორები განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\begin{aligned}\exists(i) &= f^{-1} \cdot \exists f(i), \quad i: I \rightarrow A, \\ \forall(i) &= f^{-1} \cdot \forall f(i), \quad i: I \rightarrow A.\end{aligned}$$

გვინდა დავამტკიცოთ, რომ მიღებული ოპერატორები მართლაც ონოს სამეულს გვაძლევს $(\text{Sub}(A); \forall, \exists)$ ანუ უნდა შევამოწმოთ, რომ ოპერატორები აკმაყოფილებს ონოს აქსიომატიკას. შეუღლების პირობები მოცემული შემთხვევისთვის შეიძლება გადაიწეროს შემდეგნაირად:

$$p \leq f^{-1}(q), \text{ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, თუ } \exists f(p) \leq q,$$

$$p \leq \forall f(q), \text{ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, თუ } f^{-1}(p) \leq q,$$

ნებისმიერი f , p და q -თვის

$$\frac{p \leq f^{-1}(q)}{\exists f(p) \leq q},$$

$$\frac{p \leq \forall f(q)}{f^{-1}(p) \leq q}.$$

დავამტკიცოთ ონოს აქსიომის 1) პირობები

$$p \leq \exists p \Leftrightarrow p \leq f^{-1} \exists f(p) \stackrel{(I)}{\Leftrightarrow} \exists f(p) \leq \exists f(p),$$

$$\forall p \leq p \Leftrightarrow f^{-1} \forall f(p) \leq p \stackrel{(I')}{\Leftrightarrow} \forall f(p) \leq \forall f(p).$$

დამტკიცებულია.

დავამტკიცოთ 2):

$$\exists \exists p \leq \exists p \Leftrightarrow f^{-1} \exists_f f^{-1} \exists_f(p) \leq f^{-1} \exists f(p) \Leftarrow \exists_f f^{-1} \exists_f(p) \leq \exists_f$$

(რადგან f^{-1} პეიტინგების ჰომომორფიზმია)

$$\stackrel{(I)}{\Leftrightarrow} f^{-1} \exists f(p) \leq f^{-1} \exists f(p),$$

$$\forall \forall p \geq \forall p \Leftrightarrow f^{-1} \forall_f f^{-1} \forall_f(p) \leq f^{-1} \forall f(p) \Leftarrow \forall_f f^{-1} \forall_f(p) \geq \forall_f(p) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \forall_f(p) \leq \forall_f f^{-1} \forall_f(p) \stackrel{(I')}{\Leftrightarrow} f^{-1} \forall_f(p) \leq f^{-1} \forall_f(p).$$

დამტკიცებულია.

დავამტკიცოთ 3) პირობები:

$$\exists(p \vee q) = \exists p \vee \exists q$$

გვევალებურია ორი მტკიცების

$$\exists(p \vee q) \leq \exists p \vee \exists q, \quad \exists(p \vee q) \geq \exists p \vee \exists q.$$

$$\exists(p \vee q) \geq \exists p \vee \exists q \Leftrightarrow f^{-1}\exists_f(p \vee q) \geq f^{-1}\exists_f p \vee f^{-1}\exists_f q,$$

$$p \vee q \geq p, \quad p \vee q \geq q \Rightarrow f^{-1}\exists_f(p \vee q) \geq f^{-1}\exists_f p \quad \text{და} \quad f^{-1}\exists_f(p \vee q) \geq f^{-1}\exists_f q$$

(რადგან f^{-1} და $\exists_f$ ფუნქციებია). აქედან

$$f^{-1}\exists_f(p \vee q) \geq f^{-1}\exists_f p \vee f^{-1}\exists_f q.$$

დავამტკიცოთ

$$\begin{aligned} f^{-1}\exists_f(p \vee q) &\leq f^{-1}\exists_f p \vee f^{-1}\exists_f q \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow \exists_f(p \vee q) \leq \exists_f(p) \vee \exists_f(q) \stackrel{(1)}{\Leftrightarrow} p \vee q \leq f^{-1}(\exists_f(p) \vee \exists_f(q)) \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow f^{-1}\exists_f p \vee f^{-1}\exists_f q \Leftrightarrow p \vee q \leq \exists p \vee \exists q, \end{aligned}$$

მაგრამ $p \leq \exists p$ და $q \leq \exists q$, ამიტომ $p \vee q \leq \exists p \vee \exists q$.

დამტკიცებულია.

ანალოგიურად დამტკიცდება:

$$\begin{aligned} \forall(p \wedge q) &= \forall p \wedge \forall q, \\ \forall(p \wedge q) &\leq \forall p \wedge \forall q \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow f^{-1}\forall_f(p \wedge q) \leq f^{-1}\forall_f p \wedge f^{-1}\forall_f q \Leftrightarrow \forall_f(p \wedge q) \leq \forall_f p \wedge \forall_f q, \\ p \wedge q &\leq p \quad \text{და} \quad p \wedge q \leq q \Rightarrow f^{-1}\forall_f(p \wedge q) \leq f^{-1}\forall_f p, \\ f^{-1}\forall_f(p \wedge q) &\leq f^{-1}\forall_f q \Rightarrow f^{-1}\forall_f(p \wedge q) \leq f^{-1}\forall_f p \wedge f^{-1}\forall_f q. \end{aligned}$$

დამტკიცებულია.

$$\begin{aligned} \forall(p \wedge q) &\geq \forall p \wedge \forall q \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow f^{-1}\forall_f(p \wedge q) \geq f^{-1}\forall_f p \wedge f^{-1}\forall_f q \Leftrightarrow f^{-1}\forall_f(p \wedge q) \geq f^{-1}(\forall_f p \wedge \forall_f q) \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow \forall_f(p \wedge q) \geq \forall_f p \wedge \forall_f q \stackrel{(1')}{\Leftrightarrow} p \wedge q \geq f^{-1}(\forall_f p \wedge \forall_f q) \Leftrightarrow p \wedge q \geq \forall p \wedge \forall q. \end{aligned}$$

მაგრამ $p \geq \forall p$ და $q \geq \forall q$, ამიტომ $p \wedge q \geq \forall p \wedge \forall q$ და 3) პირობები დამტკიცებულია.

დავამტკიცოთ 4) პირობები:

$$\exists 0 = 0 \Leftrightarrow f^{-1}\exists_f 0 = 0$$

(0) აქ აღნიშნავს $\text{Sub}(A)$ -ს მინიმალურ ობიექტს ($f : A \rightarrow B$), 0_1 -ით აღნიშნოთ $\text{Sub}(B)$ -ს მინიმალური ობიექტი, ასევე 1-ელ შემთხვევაშიც) $\Leftrightarrow f^{-1}\exists_f 0 \leq 0$ და $f^{-1}\exists_f 0 \geq 0$. აქ $f^{-1}\exists_f 0 \geq 0$. დავამტკიცოთ $f^{-1}\exists_f 0 \leq 0$. $0 = f^{-1}(0_1)$ (რადგან f^{-1} ჰეიტინგების ჰომომორფიზმია)

$$f^{-1}\exists_f 0 \leq f^{-1}(0_1) \stackrel{(I)}{\Leftrightarrow} \exists_f 0 \leq 0_1 \Leftrightarrow 0 \leq f^{-1}(0_1)$$

მაგრამ $f^{-1}(0_1) = 0$ და $\Leftrightarrow 0 \leq 0$, რაც ჭეშმარიტია. ასევე $\forall 1 = 1$. $\forall 1 \leq 1$ ცხადია.

$$\forall 1 \geq 1 \Leftrightarrow f^{-1}\forall_f 1 \geq f^{-1}(1_1) \stackrel{(I')}{\Leftrightarrow} \forall_f 1 \geq 1_1 \Leftrightarrow 1 \geq f^{-1}(1_1) \Leftrightarrow 1 \geq 1$$

პირობები დამტკიცებულია.

დავამტკიცოთ 6) და 5) პირობები:

$$\begin{aligned} \exists(p \wedge \exists q) = \exists p \wedge \exists q &\Leftrightarrow f^{-1}\exists_f(p \wedge f^{-1})\exists_f q = f^{-1}\exists_f p \wedge f^{-1}\exists_f q \Leftarrow \\ &\Leftarrow \exists_f(p \wedge f^{-1}\exists_f q) = \exists_f p \wedge \exists_f q, \end{aligned}$$

მაგრამ ეს პირდაპირ გამომდინარეობს მე-2 თეორემის 1 პირობიდან, თუ q -ს ჩავთვლით $\exists_f q$ -ს ტოლად. ამრიგად, 6) დამტკიცებულია. დავამტკიცოთ 5) პირობა:

$$\begin{aligned} \forall p \rightarrow \forall q &\leq \forall(\forall p \rightarrow \forall q) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow f^{-1}\forall_f p \rightarrow f^{-1}\forall_f q &\leq f^{-1}\forall_f(f^{-1}\forall_f p \rightarrow f^{-1}\forall_f q) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow f^{-1}(\forall_f p \rightarrow \forall_f q) &\leq f^{-1}\forall_f(f^{-1}\forall_f p \rightarrow f^{-1}\forall_f q) \Leftarrow \\ \Leftarrow \forall_f p \rightarrow \forall_f q &\leq \forall_f(f^{-1}\forall_f p \rightarrow f^{-1}\forall_f q) \stackrel{(I')}{\Leftrightarrow} \\ \stackrel{(I')}{\Leftrightarrow} f^{-1}(\forall_f p \rightarrow \forall_f q) &\leq f^{-1}\forall_f p \rightarrow f^{-1}\forall_f q \Leftrightarrow f^{-1}\forall_f p \rightarrow f^{-1}\forall_f q \leq f^{-1}\forall_f p \rightarrow f^{-1}\forall_f q. \end{aligned}$$

ეს ჭეშმარიტია და ამრიგად 5) პირობა დამტკიცებულია.

ახლა დავამტკიცოთ 7) პირობები:

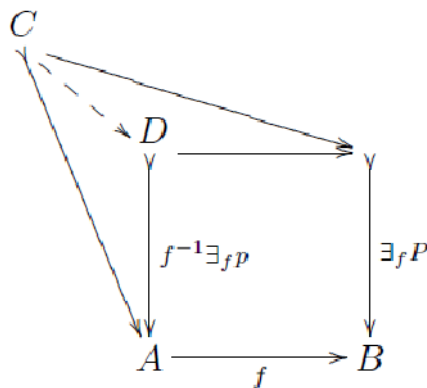
$\exists \forall p = \forall p$ ეკვივალენტურია ორი პირობის: $\exists \forall p \geq \forall p$ და $\exists \forall p \leq \forall p$. აქედან პირველი ცხადია (ავიღოთ p -ს როლში $\forall p$ და გამოვიყენოთ 1) პირობა). დავამტკიცოთ

$$\begin{aligned} \forall p \leq \forall p &\Leftrightarrow f^{-1}\exists_f f^{-1}\forall_f p \leq f^{-1}\forall_f p \Leftarrow \\ \Leftarrow \exists_f f^{-1}\forall_f p &\leq \forall_f p \stackrel{(I)}{\Leftrightarrow} f^{-1}\forall_f p \leq f^{-1}\forall_f p. \end{aligned}$$

რაც ჭეშმარიტია და ამრიგად $\exists \forall p = \forall p$ დამტკიცებულია. დავამტკიცოთ $\forall \exists p = \exists p$. აქაც ეს მტკიცება ეკვივალენტურია ორი პირობის: $\forall \exists p \leq \exists p$ და $\forall \exists p \geq \exists p$. აქედან პირველ ცხადია, ხოლო მეორე დავამტკიცოთ.

$$\begin{aligned} \forall \exists p \geq \exists p &\Leftrightarrow f^{-1} \forall_f f^{-1} \exists_f p \geq f^{-1} \exists_f p \Leftarrow \forall_f f^{-1} \exists_f p \geq \exists_f p \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow \exists_f p \leq \forall_f f^{-1} \exists_f p \stackrel{(1')}{\Leftrightarrow} f^{-1} \exists_f p \leq f^{-1} \exists_f p. \end{aligned}$$

ამრიგად, $\forall \exists p = \exists p$ პირობაც დამტკიცებულია. ე. ი. 7) პირობებიც დამტკიცებულია. ამგვარად, დავამტკიცეთ რომ ნებისმიერ ლოგოსში სრულდება 1)–7) პირობები. ამრიგად, ყოველი A -თვის $(\text{Sub}(A), f^{-1} \exists f, f^{-1} \forall f)$ წარმოადგენს ონოს სამეულს ანუ მონადურ ჰეიტინგურ ალგებრას. აღსანიშნავია, რომ 1)–7) პირობები ადვილად შეიძლება დამტკიცდეს, ასე ვთქვათ, სუფთა კატეგორიულად შეუღლების პირობებისა და f^{-1} ჰომომორფიზმობის პირობის გარეშე. მაგალითად, $p \leq \exists p$ პირობა, რომელიც გადაიწერება, როგორც $p \leq f^{-1} \exists_f p$, შეიძლება დავამტკიცოთ შემდეგი დიაგრამის მეშვეობით.



ამ დიაგრამაზე შიგა კვადრატი პულბეკია f^{-1} -ის განმარტებით, ხოლო გარე კომუტაციურია ($\exists f$ -ის განმარტებით). ეს კი ნიშნავს, რომ არსებობს ერთადერთი (უნივერსალური) ისარი $C \rightarrow D$, რომელიც დიაგრამას კომუტაციურად აქცევს, მაგრამ ეს ნიშნავს, რომ $p \leq f^{-1} \exists_f p$. ამრიგად, $p \leq \exists p$.

3. დასკვნა

ლოგოსში არსებული ლოგიკური სტრუქტურა აღმოჩნდა გარკვეული მოდალური ტიპის თვისებების მატარებელი. ეს თვისებები არ ემთხვევა სრულად მოდალური ლოგიკის რაიმე ძირითად სისტემას და მიუთითებს ლოგოსის სტრუქტურის ზოგადობაზე, ტოპოსის სტრუქტურასთან შედარებით.

ლიტერატურა

1. W. A. J. Luxemburg and A. Robinson (Eds.) (1972), Contributions to Non-standard analysis. A collection of papers based on lectures given at the Symposium on Non-standard Analysis, Oberwolfach, July 19 – July 25, 1970. Studies in Logic and the Foundations of Mathematics, Vol. 69. North-Holland Publishing Co., Amsterdam-London.
2. E. Weiss (1963), Algebraic Number Theory. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York-San Francisco-Toronto-London.
3. B. L. van der Waerden (1967), Algebra. Teil II. Unter Benutzung von Vorlesungen von E. Artin und E. Noether. Fünfte Auflage. Heidelberger Taschenbücher, Band 23 Springer-Verlag, Berlin-New York (in German).
4. M. Machover, J. Hirschfeld (1969), Lectures on Non-standard Analysis. Lecture Notes in Mathematics, Vol. 94 Springer-Verlag, Berlin-New York.
5. H. Rasiowa, R. Sikorski (1963), The Mathematics of Metamathematics. Monografie Matematyczne, Tom 41 Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warsaw.
6. S. MacLane (1971), Categories for the working mathematician. Graduate Texts in Mathematics, Vol. 5. Springer-Verlag, New York-Berlin.
7. P. Freyd (1972), Bull. Austral. Math. Soc. 7, 1-76.
8. L. Esakia (1979), On the theory of Modal and Superintuitionistic systems. (Russian) Logical inference (Moscow, 1974), 147-172, “Nauka”.

შპს 69.05.(0758)

თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ტენგამტარობის პარამეტრების განსაზღვრა

ა. საყვარელიძე

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

რეზიუმე: შესრულებულია თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ტენგამტარობის მახასიათებლების (ტენის დიფუზიის, ტენგადაცემის კოეფიციენტისა და ტენგადაცემის კუთრი კოეფიციენტის) განსაზღვრის ექსპერიმენტულ-თეორიული გამოკვლევა. დადგენილია ცილინდრული ფორმის ნიმუშების ტენშემცველობის და წონის ცვლილება დროში (გამოშრობისას). რეალიზებულია უსასრულო ცილინდრის ამოცანა მესამე რიგის სასაზღვრო პირობებში. განსაზღვრულია მასალის დროში ტენშემცველობის ცვლილების ექსპერიმენტული მრუდი. თეორიულად მიღებულია მრუდების მთელი ოჯახი.

თეორიული და ექსპერიმენტული მონაცემების შედარებით და ანალიზით დადგენილია თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ტენგამტარობის მახასიათებლები: ტენის დიფუზიის, ტენგადაცემის კოეფიციენტისა და ტენგადაცემის კუთრი კოეფიციენტის სიდიდეები.

საკვანძო სიტყვები: თვითშემჭიდროებადი ბეტონი; ტენშემცველობა; დიფუზიის კოეფიციენტი; ტენგადაცემის კოეფიციენტი; ტენგადაცემის კუთრი კოეფიციენტი; გამოშრობა; უსასრულო ცილინდრი.

1. შესავალი

ჩატარდა თეორიულ-ექსპერიმენტული გამოკვლევა თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ტენგამტარობის მახასიათებლების დასადგენად.

წონით ექსპერიმენტებში გამოიცადა ცილინდრული ფორმის ნიმუშები, რომლებიც განიცდის გამოშრობას (ტენის დაკარგვას) დროში. ცილინდრების ბოლოები იზოლირებული იყო პარაფინით და ნიმუშები ტენს კარგავდა გვერდითი ზედაპირიდან.

რიდან, ხდებოდა თავისუფალი ტენგაცვლა ნიმუშების ზედაპირსა და გარემოს შორის, რეალიზდებოდა უსასრულო ცილინდრის ამოცანა მესამე რიგის სასაზღვრო პირობებში.

თვითშემჭიდროებადი ბეტონის გამოშრობისას დადგენილია დროში ტენის კარგვის ექსპერიმენტული მრუდი. ავტორის მიერ შემუშავებული ცემენტისფუძიანი სამშენებლო კომპოზიტების ტენგამტარობის თეორიის გამოყენებით [1] განისაზღვრა ცილინდრის ტენის კარგვა დროის ნებისმიერ მომენტში.

კვლევის თეორიული და ექსპერიმენტული შედეგების ანალიზით გამოთვლილი და დადგენილია თვითშემჭიდროებადი ტენგამტარობის პარამეტრები: ტენის დიფუზიის, ტენგადაცემის კოეფიციენტი და ტენგადაცემის კუთრი კოეფიციენტი.

2. ძირითადი ნაწილი

თვითშემჭიდროებადი ბეტონი არის კაპილარულ-ფოროვანი ტანი, რომელშიც წყალი სტრუქტურასთან დაკავშირებულია სხვადასხვა ფიზიკური ძალებით. ასეთ ტანში ტენგადაცემის მექანიზმი ძალიან რთულია. ჩვენ მიერ შემუშავებულია ცემენტისფუძიანი სამშენებლო კომპოზიტების ტენგამტარობის ახალი სრულყოფილი თეორია. მისი მათემატიკური აპარატი საშუალებას გვაძლევს აღვწეროთ მასალის ტენგამტარობის რეალური სურათი, რომელიც ითვალისწინებს მასალებში ტენგადაცემის პროცესებზე ტენიანობის, ტემპერატურისა და ჰიდროსტატიკური წნევის გრადიენტების მოქმედების ყველა შესაძლო ასპექტს [1].

კაპილარულ-ფოროვან ტანში ტენგადაცემის პროცესებს განვიხილავთ მუდმივი ტემპერატურისა და წნევის დროს.

ამ შემთხვევაში ტენგამტარობის დიფერენციალურ განტოლებას ექნება სახე:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \lambda'_w \cdot \Delta W = \lambda'_w \cdot \operatorname{div}(\operatorname{grad} W), \quad (1)$$

სადაც W ტენშემცველობაა; λ'_w – ტენის დიფუზიის კოეფიციენტი.

განტოლების ამოხსნისას (ტანის ტენშემცველობის განსაზღვრა დროის (t) ნებისმიერ მომენტში) საჭიროა ვიცოდეთ:

1. ტენის გავრცელება ტანის შიგნით დროის საწყის მომენტში, $t=0$ (საწყისი პირობა);

2. ტანის გეომეტრიული ფორმა;

3. ტანის ზედაპირსა და გარემოს შორის ურთიერთქმედების კანონი (სასაზღვრო პირობა).

საწყისი პირობა განისაზღვრება დროის საწყის მომენტში ($t=0$) ტანის შიგნით ტენის გავრცელების კანონით.

ჩვეულებრივ ამოცანებში მიღებულია, რომ დროის საწყის მომენტში ტანში გვაქვს ტენის თანაბარი განაწილება:

$$W(x, y, z; t = 0) = W_0,$$

სადაც W_0 არის ტანის ტენშემცველობა დროის საწყის მომენტში, $t=0$.

განვიხილოთ მესამე რიგის სასაზღვრო პირობა: მოცემულია გარემოს ტენიანობა, ტანის ტენშემცველობა, ტანის ზედაპირისა და გარემოს შორის ტენის გაცვლის კანონი.

ტენგაცვლის პროცესი საკმარისი სიზუსტით აისახება ნიუტონის კანონით: ტენის რაოდენობა (ტანის გამოშრობისას და ფარდობითი ტენიანობის გარემოში), რომელიც დროის ერთეულში ტანის ზედაპირიდან გადაიცემა და ფარდობითი ტენიანობის გარემოში, პირდაპირპროპორციულია შემდეგი სხვაობის:

$$W_0 - W_c,$$

სადაც W_0 არის ტანის ტენშემცველობა დროის საწყის მომენტში, $t=0$; W_c – ტანის ტენშემცველობა, რომელიც აქვს მოცემულ ტანს ტენიანობის თანასწორობის პირობებში ტენგაცვლის პროცესის ბოლოს და ფარდობითი ტენიანობის გარემოში.

ნიუტონის კანონს ექნება სახე:

$$q_w(t) = K_w[W(t) - W_c], \quad (2)$$

სადაც q_w არის ტანის ზედაპირიდან გაცემული ტენის რაოდენობა; K_w – ტენგაცვლის პროპორციულობის კოეფიციენტი; $W(t)$ – ტანის ტენშემცველობა t დროის ნებისმიერ მომენტში, $W_0 \leq W(t) \leq W_c$.

პროცესის ბოლოს, როცა $W(t) = W_c = 0$, გარემოს და ტანის ზედაპირს შორის ტენგაცვლა შეწყვეტილია ტენიანობის გათანაბრების გამო.

ჩვენ მიერ გამოკვლეული გარემოს ფარდობითი ტენიანობის $0 \div 100\%$ დიაპაზონში მივიღებთ: $K_w = \text{const}$.

სხვა გეომეტრიულ ფორმებთან შედარებით, ტანის ცილინდრული ფორმა საშუალებას იძლევა უფრო მაღალი სიზუსტით დავადგინოთ ტენგამტარობის პარამეტრები – ტანის მთლიან გვერდით ზედაპირსა და გარემოს შორის თავისუფალი ტენგაცვლის პირობებში (მესამე რიგის სასაზღვრო პირობა). ცილინდრული ფორმის ნიმუშებზე დავამუშავეთ ტენგამტარობის პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდოლოგია და დავადგინეთ თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ტენგამტარობის მახასიათებლები. თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ტექნოლოგიური და სიმტკიცის პარამეტრები მოცემულია შესაბამის ლიტერატურაში [2], ნარევი №2.

თვითშემჭიდროებად ექსპერიმენტებში გამოიყენა ცილინდრული ფორმის ($d=70$ და $l=70$ მმ) ზემოაღნიშნული შედგენილობის თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ნიმუშები. დამზადების შემდეგ ყველა ნიმუში მოათავსეს 100%-იანი ფარდობითი ტენიანობის გარემოში. ჩატარებულ ექსპერიმენტებში გამოიყენა 28 დღის ნიმუშები, ცდების დაწყების წინ ნიმუშების ტენშემცველობა $W_0=3,95\%$ იყო (მასის მიხედვით); ცდების დაწყების წინ ყველა ნიმუშის ბოლოების იზოლირება პარაფინით მოხდა. შემდეგ ნიმუშები მოათავსეს 20%-იანი ფარდობითი ტენიანობის გარემოში (ოთხი ტყუპისცალი ნიმუში). ასეთ პირობებში, ტენის გრადიენტის გამო, ნიმუშები გამოშრობისას გამოიყენა. გარემოში ტენგადაცემა ხდებოდა ცილინდრის გვერდითი ზედაპირიდან. უსასრულო ცილინდრის ამოცანა ამოიხსნა მესამე რიგის სასაზღვრო პირობებში.

ნიმუშების ტენის კარგვა დროში ფიქსირდებოდა სპეციალურ სასწორზე ნიმუშების პერიოდული აწონით. ტენგაცვლის პროცესის ხანგრძლივობა ჩვენს პირობებში 160 დღეს შეადგენდა. ნიმუშების წონისა და ტენშემცველობის ცვლილება დროში მოცემულია ცხრილში.

მასალებში ტენგამტარობის პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდოლოგია შედგება ორი ნაწილისაგან: თეორიული და ექსპერიმენტული. ექსპერიმენტით მიღებული მონაცემების და თეორიული გამოთვლების შედეგის შედარებით და ანალიზით დადგინდება ტენგამტარობის პარამეტრები.

**ნიმუშების წონის და
ტენზომეტრების ცვლილება დროში**

აწონის დრო, დღე	28 დღის ნიმუშები	
	ნიმუშის წონა, გ	ნიმუშის ტენზომეტრების ც/გ
0	603,1	0,0395
2	597,64	0,0304
4	596,70	0,029
9	594,66	0,025
20	593,75	0,024
35	589,51	0,016
50	588,41	0,015
70	587,31	0,013
90	586,96	0,012
120	586,27	0,011
180	585,81	0,01
250	585,81	0,01

წონითი ექსპერიმენტებიდან გვაქვს:

$$\frac{P - P_0}{P_0} = \frac{1}{V} \int_v W \cdot dv = 2 \int_0^1 W_\rho \cdot d\rho, \quad (3)$$

სადაც $P(t)$ არის ნიმუშის წონა დროის ნებისმიერ t მომენტში; P_0 – მუდმივ წონამდე გამომშრალი ნიმუშის წონა; ჩვენს შემთხვევაში $P_0=580$ გ; V – ცილინდრის მოცულობა: $\rho=r/R$, $0 \leq r \leq R$, $0 \leq \rho \leq 1$.

(3) დავიყვანოთ შემდეგ სახემდე:

$$\frac{P - P_0}{P_0(W_0 - W_c)} = \frac{W}{W_0 - W_c} + 2 \int_0^1 \nu \rho \cdot d\rho, \quad (4)$$

სადაც

$$\nu = \frac{W - W_c}{W_0 - W_c}.$$

აღვნიშნოთ

$$2 \int_0^1 \nu \rho \cdot d\rho = \nu_c(t). \quad (5)$$

(5)-ის შეგანით (4)-ში მივიღებთ:

$$v_c(t) = \frac{P - P_0(1 + W_c)}{P_0(W_0 - W_c)} \equiv \tilde{P}(t, W_c, W_0). \quad (6)$$

ცხრილის მონაცემებით (6)-დან მასალისათვის მივიღებთ ექსპერიმენტულ მრუდს $v_c \sim t$ კოორდინატებში.

ცხადია: $0 \leq v_c \leq 1$; $0 \leq t \leq 160$; $t=0$; $v_c=1$; $t=160$ $v_c=0$.

თეორიიდან გვაქვს [1, 4]

$$v_c = 2 \sum_{i=n}^{\infty} \frac{A_n}{\mu_n} I_1(\mu_n) \cdot e^{-\mu_n^2 \tau}, \quad (7)$$

სადაც I_1 ბესელის ფუნქციაა; μ_n – დამახასიათებელი განტოლების ფესვები; A_n – მუდმივი კოეფიციენტები ე.წ. საწყისი ამპლიტუდები.

μ_n და A_n დამოკიდებულია χ კოეფიციენტზე. χ კოეფიციენტის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის A_n , μ_n და $I_1(\mu_n)$ განისაზღვრება სპეციალური ცხრილებით და შესაბამისი ფორმულებით [1,3,4]. თეორიიდან მივიღებთ $v_c \sim \tau$ დამოკიდებულების გრაფიკების მთელ ოჯახს χ -ის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის, $0 \leq \tau \leq 1$. მიღებული გრაფიკებიდან აირჩევა მრუდი, რომელიც მაქსიმალური სიზუსტით აღწერს ექსპერიმენტულს.

როდესაც ვიცით χ კოეფიციენტის მნიშვნელობა და v_c -ს დროზე დამოკიდებულების მრუდი, შესაბამისი ფორმულებიდან გამოითვლება ტენგამტარობის პარამეტრები: λ'_w – ტენის დიფუზია; K_w – ტენგადაცემის კოეფიციენტი და K – ტენგადაცემის კუთრი კოეფიციენტი.

გამოთვლებამ და ექსპერიმენტებმა გვიჩვენა, რომ 28 დღის ასაკის აღნიშნული მასალისათვის $\chi=20$.

დადგინდა, რომ $\lambda'_w=0,077$ სმ²/დღე; $K_w=0,44$ სმ/დღე; $K=5,71$ 1/სმ.

3. დასკვნა

ჩვენ მიერ შემუშავებული ცემენტისფუძიანი სამშენებლო კომპოზიტების ტენგამტარობის თეორიაზე დაყრდნობით და სათანადო მეთოდით შესრულებულმა თეორიულ-ექსპერიმენტულმა გამოკვლევამ საშუალება მოგვცა მაღალი სიზუსტით

დაგვედგინა 28 დღის ასაკის თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ტენგამტარობის პარამეტრები: ტენის დიფუზიის, ტენგადაცემის კოეფიციენტის და ტენგადაცემის კუთრი კოეფიციენტის სიდიდეები.

ლიტერატურა

1. Сакварелидзе А.В. Некоторые задачи механики строительных композиционных материалов. Тбилиси: Мецниереба, 1998. - 131 с.
2. A. Sakvarelidze. Self-compacting Concrete, ISS advantages and production in Georgia 2-d International Scientific and Technical conference “Architecture and constraction contemporary problem” 30.09-3.10-2010, Yrevan-Jermik, Conference proceeding pp. 311-315.
3. ა. საყვარელიძე. თვითშემჭიდროებადი ბეტონის სიმტკიცის მახასიათებლებზე დეფორმაციის სიჩქარის გავლენა გაჭიმვისას // „მშენებლობა“, №1(32), თბილისი: სტუ, 2014 წ. გვ. 125-128.
4. Боли Б.А. Уеннер Д.Х. Теория температурных напряжений, М. Мир, 1964. - 517 с.

შპს 636.32/38

**ცხოველთა კვებაში გამოყენებული
სასოფლო-სამეურნეო წარმოებისა და მრეწველობის
ანარჩენების ზოგადი დახასიათება**

მ. ცინცაძე, ნ. ორჯანელი, ნ. ნატროშვილი, გ. ცქვიტინიძე
(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

რეზიუმე: მოცემულია ცხოველთა კვებაში გამოყენებული სასოფლო-სამეურნეო წარმოებისა და მრეწველობის ანარჩენების ზოგადი დახასიათება, მათი ქიმიური შედგენილობის შესწავლა და გამოყენება სასოფლო-სამეურნეო ცხოველთა კვებაში.

საკვანძო სიტყვები: საკვები ბაზა; ანარჩენები; შაქრის ჭარხლის ფოჩი; ვაშლის ნაქაჩი; ტომატის ანარჩენი; მსხლის ნაქაჩი; ტრიფტოფანი; ლიზინი; მეთიონინი; ცისტინი; მონელეზადი პროტეინი; კაროტინი; უაზოტო ექსტრაქტული ნივთიერება.

1. შესავალი

დიდი და სერიოზული ამოცანებია დასახული მეცხოველეობის წინაშე, როგორც პირუტყვის სულადობის ზრდის, ისე პროდუქციის შემდგომი გადიდებისათვის. დიდი მასშტაბით პროდუქციის წარმოება მეცხოველეობისათვის მტკიცე და სტაბილური საკვები ბაზის შექმნის შედეგადაა შესაძლებელი. ცხოველთა სრულფასოვანი, მრავალფეროვანი კვება აუცილებელია იმისათვის, რომ ყოველთვის კარგ სანაშენო და სამეურნეო კონდიციაში გვყავდეს ცხოველები და მივიღოთ მაქსიმალურად მაღალი პროდუქცია.

საკვები ბაზის განმტკიცების საკითხი განსაკუთრებით მწვავედ დგას საქართველოში, რადგან მცირემიწიანი ქვეყანაა და არსებული ფართობის მეტი ნაწილი ბაღებს, ვენახებს, ტექნიკურ და სუბტროპიკულ კულტურებს უკავია. ამის გამო,

ადგილი აქვს სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებზე პირუტყვის დიდ სიმჭიდროვეს, რაც აფერხებს პირუტყვის რიცხოვრივ ზრდას და აუცილებელს ხდის მის ინტენსიურ განვითარებას.

ჩვენს ქვეყანაში მეცხოველეობის განვითარებისათვის, საკვები მარაგის გაზრდისა და პროდუქციის თვითღირებულების შემცირებისათვის, პირველ რიგში, აუცილებელია ერთეულ ფართობზე გაიზარდოს საკვები კულტურებისა და საფურაჟე მარცვლეულის საჰექტარო მოსავლიანობა, ნამჯისა და ჩალის გამოსავლიანობა და ა.შ. გარდა ამისა, ეს საქმე ორგანულადაა დაკავშირებული ცხოველის საკვებად ვარგის სასოფლო-სამეურნეო წარმოებისა და მრეწველობის ანარჩენების რაციონალურ გამოყენებასთან.

2. ძირითადი ნაწილი

ცხოველთა საკვებად გამოსაყენებელ ანარჩენებს იძლევა: ღვინის, ხილის საკონსერვო და წვენების, მაკარონის ქარხნები, ხორც-წისქვილკომბინატები, ცხოველთა სასაკლაოები, თევზის მრეწველობა, პურის საცხობები, ჩაის, ეთერზეთოვანი, ტყავ-ნედლეულის და სხვა მრავალი წარმოება. ამას ემატება შაქრის ჭარხლის ფოჩი, კარტოფილის, ბადრიჯნის და სხვა ბოსტნეულის დერო-ფოთლები, სიმინდის ნაჭუჩი, ბამბუკის ავეჯის ქარხნის, ინდივიდუალური და საზოგადოებრივი კვების ანარჩენები, ფოთლოვან მცენარეთა ყლორტები და წიწვოვანთა ფქვილი, ფრინველის გამშრალი ფეკალი და ა.შ.

ზემოაღნიშნული ანარჩენები ჩვენს რესპუბლიკაში საკმაოდ ბევრია და კიდევ უფრო მოიმატებს ძირითადი პროდუქციის წარმოება-გამოშვების სისტემატურ ზრდასთან ერთად. ამდენად, ეს ანარჩენები მეცხოველეობის საკვები ბაზის განმტკიცების დიდი რეზერვია, მაგრამ ორგანიზატორული, ტექნიკური, ტექნოლოგიური და სხვათა მიზეზების გამო დღემდე არარაციონალურად, ზოგჯერ კი საერთოდ არ გამოიყენება ცხოველთა საკვებად, მაშინ, როცა სათანადო გადამუშავების შემდგომ მტკიცედ შეიძლება ჩადგეს მეცხოველეობის სამსახურში. მით უმეტეს, ამ ანარჩენთა აბსოლუტური უმრავლესობა შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ცხოველთა საკვებად კომბინირებული საკვების შედგენილობაში მათი შეტანის გზით. მაგალითად, შაქრის ჭარხლის ფოჩი მდიდარია ცილებით, ხსნადი ნახშირ-

წყლებით, კაროტინით და სხვა ძვირფასი საზრდო ნივთიერებებით. 1 კგ ახალი ფოჩის ყუათიანობა 0,19–0,23 საკვებ ერთეულს უდრის და შეიცავს 19–22 გ მონელებად პროტეინს, 30–60 მგ კაროტინს, 1,2–2,8 გ კალციუმს, 0,2–0,5 გ ფოსფორს და 2,6% უჯრედისს.

უჯრედისის მცირე რაოდენობით შემცველობის გამო, ფოჩი კარგი მონელებადობით ხასიათდება, გარდა ამისა შეიცავს ნორმალური დასილოსებისათვის საჭირო რაოდენობის შაქრებს. დიდი მნიშვნელობა აქვს არა მარტო ფოჩის მთლიანად შეგროვებას, არამედ იმასაც, როგორ შევინახავთ გამოყენებამდე. იგი გამოიყენება ასევე ბალახის ფქვილის დასამზადებლად, რომელიც საშუალებას იძლევა გვიან შემოდგომამდე გავახანგრძლივოთ ბალახის ფქვილის წარმოების სეზონი. შაქრის ჭარხლის ფოჩის დასილოსებით გავზრდით წვნიანი საკვების მარაგს. ფოჩის სილოსით შეიძლება შევავსოთ ცილების ის დანაკლისი, რომელსაც ადგილი აქვს სიმინდის სილოსით ცხოველების კვების დროს. ხილის გადამუშავების შედეგად ქარხნებში რჩება ანარჩენი გამონაწურის სახით, სქელი ნალექის სახით და ა.შ. ყველა ამ ანარჩენს მეტ-ნაკლები რაოდენობით აქვს კვებითი ღირებულება და გვევლინება მეცხოველეობის საკვები ბაზის რეზერვად. ვაშლის ნაქაჩში პროტეინის ამინომჟავური შედგენილობა ასე გამოიყურება: ტრიფტოფანი – 2,9–14,2%, ლიზინი – 3,7–16,9%, მეთიონინი – 0,6–1,9%, ცისტინი – 1,2–8,9%.

ანარჩენების სახით გამოიყენება ასევე მსხლის ნაქაჩი, რომელიც ქიმიური შედგენილობით ახლოს დგას ვაშლის ნაქაჩთან, მაგრამ შედარებით მეტ უაზოტო ექსტრაქტულ ნივთიერებას შეიცავს. ფქვილს ასევე ამზადებენ ცერცვის რბილი ნაწილისგან, მოცხარისგან, რომლის ანარჩენი მდიდარია ცხიმით – 8,3%.

საკონსერვო დამუშავების შედეგად მიიღება ტომატის ანარჩენი. მას საზღვარგარეთ იყენებენ, როგორც დამატებით კომპონენტს კომბინირებულ საკვებში, რომლის ქიმიური შედგენილობა მშრალ მდგომარეობაში ცხრილშია მოცემული.

ცხრილი

ტომატის ანარჩენის ქიმიური შედგენილობა

მაჩვენებელი	მშრალ მდგომარეობაში, %
1. ჰიგროსკოპიული ტენი (წყალი)	13,49
2. ნაცარი	25,63
3. ცხიმი	4,64
4. უჯრედისი	24,69
5. პროტეინი	8,65
6. უაზოტო ექსტრაქტული ნივთიერება (უენ)	22,9
7. კალციუმი (Ca)	275 მგ/კგ
8. ფოსფორი (p)	2 გ/კგ
9. საკვები ერთეული (სე)	0,38 კგ

ბადრიჯნის მოსავლის აღებისას მინდორზე რჩება დაახლოებით 20 ათასი ტონა ბადრიჯნის ფოჩი. აქვს მწვანე ფერი და საკმაოდ შეფოთილი ღერო, მაგრამ ცხოველი არ ჭამს, რადგან სპეციფიკური სუნი აქვს, მაგრამ ABM-ში მშრალ მდგომარეობაში გატარებისას მიიღეს ანარჩენი, რომლისგანაც ფქვილი დაამზადეს.

3. დასკვნა

ამრიგად, ჩვენ მიერ მოყვანილი ზოგიერთი სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების მცენარის აღების ან გადამუშავების შედეგად დარჩენილი ანარჩენი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მეცხოველეობაში საკვებად ან ნაწილობრივ მოხდეს მისი ჩართვა კომბინირებულ საკვებში სხვადასხვა სახის ყუათიანი ნივთიერებების შესავსებად, რაც განამტკიცებს საკვებ ბაზას და მიღებული პროდუქციის თვითღირებულება შედარებით დაბალი იქნება.

ლიტერატურა

1. ა. ჩიხაშვილი, კ. ცინცაძე. ცხოველთა კვებაში სასოფლო სამეურნეო წარმოებისა და მრეწველობის ანარჩენების გამოყენების რეკომენდაციები. 1977 წ.
2. ა. ჭკუასელი, ა. ჩუბინიძე და სხვები. სასოფლო-სამეურნეო ცხოველთა საზრდოობის ბიოლოგიური საფუძვლები. 2010 წ.

საქართველოს მეცხვარეობა

მ. ცინცაძე, ნ. ორჯანელი, ნ. ნატროშვილი, გ. ცქვიტინიძე

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

რეზიუმე: გაშუქებულია მეცხვარეობის ზოგადი მნიშვნელობა და საქართველოში არსებული აბორიგენული ჯიშების დღევანდელი სავალალო მდგომარეობა. ამ პრობლემის გადასაჭრელად აუცილებელია გარკვეული ღონისძიებების გატარება. დღევანდელი გადასახედიდან დეტალურად არის აღწერილი მეცხვარეობის სავალალო მდგომარეობა.

საკვანძო სიტყვები: ცხვარი; მაყდაკი; მატყლი; მომთაბარე; საძოვრული; სტაციონარული; უხეშმატყლიანი; ნახმატყლიანი; პოლიესტრულობა; ცხოველმყოფელობა.

1. შესავალი

მეცხვარეობა მეცხოველეობის ერთ-ერთი დარგია, რომლის ამოცანაა ცხვრის მოშენება ძვირფასი ნედლეულის (მატყლი, მაყდაკი, ტყავი) და საკვები პროდუქტების (ხორცი, რძე, ქონი) მისაღებად. მატყლისაგან მზადდება მაღალხარისხოვანი ქსოვილი, ნოხი, ნაბადი, ქეჩა; ცხვრის ტყავისგან – ქურქი, ბეწვეული; რძისგან – მაღალი ხარისხის ყველი (თუშური, როქფორი, პიკარინო, ბრინზა და სხვა ნაწარმი).

ძირითადი პროდუქტების მიხედვით არჩევენ წმინდამატყლიან, ნახევრად წმინდამატყლიან, ნახევრად უხეშმატყლიან, უხეშმატყლიან მიმართულებებს. მათში განასხვავებენ სახორცე-სამატყლე, სამატყლე-სამაყდაკე, სამატყლე-სახორცე-სარძეო და სხვა მიმართულებებს.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ საქართველოში მეცხვარეობა ისტორიულად საზოგადოებრივ-სამეურნეო ცხოვრების და წარმოებითი ურთიერთობის ცვლილებების შესატყვის ფონზე ვითარდება, ამდენად ქვეყანაში ამ ცვლილებების თანმხლებმა

სოციალურ-ეკონომიკურმა ვარიაციებმა თავისებური დიდი დაასვა მეცხვარეობის დარგის განვითარებასაც.

საქართველოში მეცხვარეობა ჩვენს წელთაღრიცხვამდე იყო განვითარებული, ძირითადად ზაფხულის ან ზამთრის საძოვრების ზონებში, ბუნებრივი სავარგულების რაციონალური გამოყენების შესაბამისად. ძველთაგანვე ჩამოყალიბდა სამი სისტემა:

1. მომთაბარე-საძოვრული;
2. საძოვრულ-სტაციონარული;
3. საძოვრულ-ნახევრად სტაციონარული.

მომთაბარე-საძოვრული სისტემა ძირითადია და ამასთან ყველაზე რთული და ითვალისწინებს მთელი წლის განმავლობაში ბუნებრივი საძოვრების გამოყენებას. ასეთი სისტემა გამოყენებულია ყაზბეგის, დუშეთის, თიანეთის, ახმეტის, თელავის, გურჯაანის, სიღნაღის, დედოფლისწყაროს და სხვა რაიონებში. მოიცავს ქვეყანაში არსებული ცხვრის მთლიანი რაოდენობის თითქმის 75%-ს. ზამთრის საძოვრებად აღმოსავლეთ კავკასიონის მთის ზონის რაიონებს 90-იან წლებამდე გამოყოფილი ჰქონდა ნოღაის ველი (დაღესტანი). დანარჩენ რაიონებს კი – სახელმწიფოს შიგნით არსებული ზამთრის საძოვრები. მანძილი ზაფხულისა და ზამთრის საძოვრებს შორის შეადგენს ქვეყნის შიგნით 70–250 კმ-ს, ხოლო ქვეყნის გარეთ მწყემსებს გადაადგილება უწევდათ 450–600 კმ-მდე. ზაფხულის მთის საძოვრები განლაგებულია ზღვის დონიდან 1700 მ-ზე მაღლა, ხოლო ზამთრის საძოვრები 600–700 მ სიმაღლეზე. საძოვრულ-სტაციონარული სისტემა ხასიათდება იმით, რომ ცხვარი ნოემბრიდან აპრილამდე ბაგურ კვებაზე იმყოფება და საძოვრებით ვერ სარგებლობს. აპრილის ბოლო რიცხვებიდან გვიან შემოდგომამდე კი იქვე ახლოს 5–15 კმ-ზე მდებარე ზაფხულის საძოვრებს იყენებს. შენახვის ასეთი სისტემა შემოღებულია ბოგდანოვკის, ახალქალაქის, წალკის, ბორჯომისა და სხვა რაიონებში.

საძოვრულ-ნახევრად სტაციონარული შენახვის სისტემის შემთხვევაში ცხვარი ზამთრის პერიოდში სოფლების ახლოს არსებულ საძოვრებზე იმყოფება, ზაფხულობით კი ფარები, ზამთრის ადგილსამყოფელთან შედარებით, ახლომდებარე მთის საძოვრებზე გადაჰყავთ.

2. ძირითადი ნაწილი

საქართველოში დღეისათვის არსებობს შემდეგი აბორიგენული და გამოყვანილი ჯიშები:

თუშური ჯიშის ცხვარი – მიიღეს XIII–XIV საუკუნეებში რთული საახალჯიშო ჯვარული მეთოდით. ფიქრობენ, რომ ისტორიული საქართველოს მაშინდელ ტერიტორიაზე გავრცელებული ცხვრები ჯერ შეუჯვარეს ვოლოშურ ცხვრისმაგვარ უხეშმატყლიან გრძელ და ცხიმუდიან ვერძებს, შემდგომ ყარაბაღული ჯიშის ვერძებს, რომელიც ადრე და აშუაშადაც მოშენებულია თანამედროვე აზერბაიჯანის ტერიტორიაზე და, თავის მხრივ, მიღებულია დუმიანი ცხვრებით.



თუშური ცხვრის ჩამოყალიბების პროცესში, მოშენებისა და სელექციის ხანგრძლივ პერიოდში მიმართავდნენ უზადო ექსტერიერის, სხეულის კომპაქტური აგებულებისა და მაგარი კონსტიტუციის ცხვრების გადარჩევასა და შერჩევას, ამასთან სელექციონერთა ყურადღება გამახვილებული იყო ასევე მაღალი სახორცე და სამატყლე პროდუქტიულობის მიმართულებით. თუშური ჯიშის ცხოველები ექსტერიერულად კომპაქტურები არიან საკმაო სიგრძის სხეულით, რომელიც ასევე სიღრმეშიც კარგად აქვს განვითარებული, კიდურები და ძვლები საშუალო სისხლისი, მაგარი, გავა ოდნავ დაქანებული, ჩლიქები მაგარი, თავი საშუალო სიდიდის, სწორი პროფილით. ვერძებს ახასიათებთ კარგად განვითარებული სპირალური რქები, რაც მათი კონსტიტუციის სიმაგრეზე მეტყველებს. მატყლი თეთრი ფერის, თივთიკის და გარდამავალი ბოჭკოების დიდი რაოდენობით შემცველია.



უხეში ფრაქცია ცოტაა, ამიტომ ხელით მოსინჯვისას მატყლი რბილია, ბზინვარე, მაღალი სიმაგრის, დრეკადობის და ელასტიკურობის, მუცელსა და კიდურებზე საკმაოდ ბევრი მატყლით.

თუშური ჯიშის ცხვრები საშუალო ტანადობისაა. ტიპური ვერძების ცოცხალი მასა 70–75 კგ-ს, ნერბებისა კი 40–45 კგ-ს შეადგენს. მატყლის ნაპარსის სიდიდე, შესაბამისად, 4,5 და 3–3,5 კგ. ლაქტაციური მერძეულობა – 80–90 კგ-მდე.

თუშური ჯიშის ცხვარი მოშენებულია ქვეყნის ნებისმიერ ზონასა და რაიონში, განსაკუთრებით ქვეყნის მთიან ზონაში. მის მოშენებას მისდევენ ჩრდილოეთ კავკასიაში (დაღესტანი, ჩეჩნეთი, ინგუშეთი და სხვა). პერსპექტივაში თუშური ჯიშის ცხვრის მოშენების, სრულყოფისა და საჭირო სულადობის მომრავლების შემდეგ გამოყენებული უნდა იქნეს მსვილმასშტაბური სელექცია. გარდა ამ ტიპის მუშაობისა, აუცილებელია გაუმჯობესდეს ცხოველთა კვებისა და მოვლა-შენახვის პირობებიც.

იმერული ცხვარი – უძველესი და კოლხურ ჯიშთან გენეტიკურად მონათესავე ცხვარი. აკადემიკოსი ივანე ჯავახიშვილი მას ქართული ცივილიზაციისა და კულტურის ცოცხალ ძეგლად მიიჩნევს. იგი მიღებულია უძველესი კოლხური ნაზმატყლიანი ცხვრის სხვადასხვა უხეშმატყლიანი ცხვრის ჯიშებთან ისტორიულად, ხანგრძლივი პერიოდის მანძილზე შეჯვარებით და მოშენებით.



იმერული ჯიშის ცხვრის მოშენებას ძირითადად მისდევდნენ ხარაგაულის, ზესტაფონის, თერჯოლის, საჩხერის, ჭიათურის, ბაღდათის, ვანის, ხონის, წყალტუბოს და ნაწილობრივ ტყიბულისა და ამბროლაურის რაიონებში.

სიმაღლით ტანმორჩილი ცხვრებია, ხორცისა და მატყლის მაღალი ხარისხით. ნერბები და ვერძები რქიანებია, გვხვდება ურქო ეგზემპლარებიც. ბოლო მონაცემებით, ვერძების ცოცხალი მასა 35–40 კგ-მდე აღწევს, ნერბებისა – 25–30 კგ-მდე. მატყლის ნაპარსი, შესაბამისად, 2,0–2,5–1,5–1,7 კგ-ია. ნაყოფიერება – 200–250 ბატკანი ყოველ 100 დადოლებულ ნერბზე. მერძეულობა დაბალია.

იმერული ცხვრის თავისებურება: აქვს მეტად მაგარი კონსტიტუცია, ძალზე მოძრავია, გამოირჩევა მკვირცხლი ტემპერამენტით. კარგად აქვს განვითარებული დედობრივი ინსტინქტი და ადაპტაციის უნარი. იტანს სტაციონარულ და მომთაბარე შენახვას და მწირ კვებასაც.

სხვა ჯიშებისაგან მკვეთრად განსხვავდება გენერაციული ფუნქციით, რომელთაგან განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს:

1. პოლიესტრულობა – რის მიხედვითაც ის მრავლდება წლის ნებისმიერ დროს; დადოლებიდან 21-ე დღეზე ინერბება;
2. ადრეულობა – იმერული ცხვარი ინერბება. 11–12 თვის შიშაქი უკვე დოლდება და ნერბების ჯგუფში გადადის. მაკეობის ხანგრძლივობა – 138–142 დღეა;
3. მრავალნაყოფიერება – ერთ დადოლებაზე ერთი ნერბიდან შეიძლება მივიღოთ 2 ან 3, იშვიათად 3–4 ბატკანი;
4. მაღალი ცხოველმყოფელობა – ახალშობილი დაბადების შემდეგ მალე დგება, მოძრავი და გამძლეა.

განსაკუთრებით გამოირჩევა იმერული ცხვრის ხორცი მაღალკულისნარიული თვისებებით და აშკარად განსხვავდება კავკასიაში მოშენებული სხვა ჯიშის ცხვრებისგან ხორცის სპეციფიკური სუნის არაარსებობით.

ქართული ნახევრად ნაზმატყლიანი ცხიმკუდიანი ჯიშის ცხვარი – გამოყვანილია საგარეჯოს რაიონის “უდაბნოს” მეცხვარეობის საბჭოთა მეურნეობაში 1936-1948 წლებში, სახელმწიფო პრემიის ღაურიატის, პროფ არჩილ ნატროშვილის მიერ. ამ ჯიშის გამოყვანის მიზანი იყო მიეღოთ ნახევრად ნაზმატყლიანი ცხვრის ჯიში ცხიმკუდიანთან შერწყმით, ამასთან კარგად უნდა ყოფილიყო შეგუებული მომთაბარე პირობებს. თუშურ ცხვართან შედარებით მას უნდა ჰქონოდა მაღალი სახორცე და სამატყლე პროდუქტიულობა, ნაყოფიერება და მერძეულობა.



ქართული ცხვარი ჩამოყალიბებულია მარტივი საახალჯიშო ჯვარული მეთოდით. გამოყენებული იყო თუშური ჯიშის I კლასისა და ნაწილობრივ ელიტური ჯგუფის ნერბები, რომლებიც შეუჯვარეს სახორცე-სამატყლე მიმართულების პრეკოსის ჯიშის ვერძებს. შეჯვარება წარმართეს F_1 და F_2 თაობების სასურველი ტიპის ცხოველების მიღებამდე – მაგარი კონსტიტუცია, უნაკლო ექსტერიერი ერთგვაროვანი მატყლით, გრძელი ცხიმკუდიანი.

აპრობაციის მომენტისათვის ამ ჯიშის ცხვარი ხასიათდებოდა პროდუქტიულობის შემდეგი მაჩვენებლებით: ცოცხლი მასა: ვერძების 80–85 კგ, ნერბების – 45–50

კგ, მატყლის ნაპარსის რაოდენობა, შესაბამისად, 4,5–5,0 კგ და 3,5–4,0 კგ, მერძეულობა – 90–110 კგ, ნაყოფიერება – 107–110 ბატკანი, მატყლის სიგრძე – 9–12 სმ.

ქართული ჯიშის ცხვარი წარსულში გარკვეული პოპულარობით სარგებლობდა, გაჰყავდათ ჩინეთში, მონღოლეთსა და სხვა მეზობელ ქვეყნებში.

ადგილობრივ ცხვრებთან შეჯვარების გზით ცხვრის ახალი ჯიშები იქნა გამოყვანილი. ამ ჯიშის ცხვრები გარეგნულად კარგად გამოიყურებიან შემოდგომით, საზაფხულო იალაღების შემდეგ და მისთვის დამახასიათებელ პროდუქტიულობას ინარჩუნებენ წლის მანძილზე, ნორმალური კვებისა და შენახის პირობებში. წინააღმდეგ შემთხვევაში, პარსვის ნორმალურ სეზონამდე, სხეულზე მატყლს კარგავენ ანუ გარღვევას განიცდიან, რაც ამ ჯიშისათვის მანკიერებად არის მიჩნეული. ამ ჯიშის ცხვრების სელექციის დროს განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს მათ მოვლა-შენახვის და კვების პირობებს, ასევე ცხოველთა მიზანმიმართულ შერჩევა-გადარჩევას და ნაკლოვანებების გამოსწორებას.

2–3-წლიანი გამოცოცხლების შემდეგ საქართველოში მეცხვარეობა კვლავ დაცემის გზას დაადგა. შემცირებულია როგორც პირუტყვის სულადობა, ასევე მისი ექსპორტზე გატანის მაჩვენებელი. საძოვრების უკმარისობამ და მასზე გადასახადის ზრდამ უარყოფითი შედეგი მოიტანა. ამჟამად მდგომარეობა საკმაოდ გართულებულია. სტატისტიკის ეროვნული სამსახურის მონაცემებით, 2011 წელს საქართველოში ცხვრისა და თხის სულადობამ 630 ათასი შეადგინა. წინა 2010 წელს ეს მაჩვენებელი 653 ათასი იყო. 2009 წელს 673 ათასი სული თხა და ცხვარი დაფიქსირდა. ბოლო 7 წლის განმავლობაში ყველაზე მეტი სულადობა 2 მილიონსაც აღწევდა. რაც შეეხება ექსპორტს, 2012 წლიდან საექსპორტო მაჩვენებელი შემცირდა. ირანში დაავადების აღმოჩენამ ეს პროცესი სერიოზულად შეაფერხა. ამჟამად გვეყავს დაახლოებით 650 ათასი სული, როცა რაოდენობის გაზრდა არსებულ პირობებში 1 000 000-მდეც შეიძლება.

შეგვიძლია ჩამოვაყალიბოთ დღეისათვის მეცხვარეობის განვითარების პრობლემები:

1. თანამედროვე ტექნოლოგიების არარსებობა (ეს სფერო მთლიანად ეფუძნება 19–18 საუკუნეებს);
2. არ ხდება ჯიშის სელექცია;
3. არ არსებობს კვალიფიციური კადრები;

4. ქვეყანაში არ არის თანამედროვე ტიპის საცდელ-სადემონსტრაციო მეცხვარეობის ფერმა, არ ხდება სხვადასხვა უცხოური ჯიშების შემოყვანა და მათი გამოცდა;
5. დასასრულებელია ცხერის გადასარეკი ტრასების, ტრასებზე გასაბანების, დეზობარიერების, კარანტინების და სხვა რეგისტრაცია, დემარკაცია და მოწყობა.
6. ქვეყანაში არ არსებობს ეროვნული საიდენტიფიკაციო პროგრამა, რის გამოც გართულებულია ეპიზოტური მდგომარეობა;
7. გვიჭირს მატყლის რეალიზება;
8. არ არსებობს თანამედროვე ინფრასტრუქტურა.

3. დასკვნა

ამრიგად, ძირძველი, ტრადიციული მეცხოველეობის დარგის – მეცხვარეობის კვლავ ასაღორძინებლად საჭიროა როგორც ხელმძღვანელობიდან, ისე საკარმიდამო და ფერმერულ სტრუქტურებში დიდი ყურადღება დაეთმოს ჩვენს მიერ ჩამოთვლილ პრობლემებს, რომლებიც იმედია უმოკლეს პერიოდში დადებითად გადაწყდება.

ლიტერატურა

1. თ. პაიკიძე. მეცხვარეობა. 2011 წელი.
2. ინტერნეტსივრცე.

შესრულებული ანგარიშები შედარებულია ვაიონტის კატასტროფის შედეგებთან, მათი თანხედენა დაახლოებით 12–15%-ია.

შაპ 626.823.93

მდინარეებში ტრანზიტული ნაკადის მოძრაობის კანონზომიერებები. **ლ. კლიმიაშვილი, დ. გუბელაძე, დ. გურგენიძე, მ. ნაცვლიშვილი** // ჰიდროინჟინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 25-30.

განხილულია ზედაპირული და კალაპოტის შემადგენელი გრუნტის ნაკადის მოძრაობა. დადგენილია ინდუცირებული დინების ზეგავლენა ზედაპირული ნაკადის ჰიდრაულიკურ მახასიათებლებზე. მიღებულია დამოკიდებულება კალაპოტის გამტარუნარიანობის ინტეგრალური მახასიათებლების გამოსათვლელად.

შაპ 626.823.93

კალაპოტური პროცესების თავისებურება. **ლ. კლიმიაშვილი, დ. გუბელაძე, ი. ყრუაშვილი, დ. გურგენიძე** // ჰიდროინჟინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 31-35.

წყლით გამოწვეული ეროზიული პროცესების კვლევისას ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანა ნაკადის ჰიდროდინამიკური სტრუქტურის შესწავლაა ფსკერულ და მის მიმდებარე შრეში, რადგან ძირითადად ის განაპირობებს კალაპოტის დეფორმაციას, სიჩქარის ველის ტრანსფორმაციას და ტურბულენტური აღრევის ინტენსიურობას.

ღია კალაპოტური ნაკადის ქვედა შრეში, ინდუცირებული დინების გავლენით, კალაპოტური დეფორმაციების გაანგარიშების მეთოდების შემდგომი სრულყოფა წყლით გამოწვეული ეროზიული პროცესების შესწავლის ერთ-ერთი აქტუალური საკითხია.

შაპ 631.626.3

დასაშრობ მიწებზე წყლის რეზუალირების ტექნოლოგიის სრულყოფა სხვადასხვა ღონის მარეზუალირებელდრენებთან სადრენაჟო-მოღუღური სისტემებით. **რ. ტაჩუკი, ნ. ტაჩუკი, ა. როკოჩინსკი** // ჰიდროინჟინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 36-46.

განხილულია სადრენაჟო-მოღუღური სისტემის გაუმჯობესებული კონსტრუქცია სხვადასხვა დონიანი დრენებით, დასაშრობი მიწების წყალრეგულირების ტექნოლოგიით. მიღებულია დამოკიდებულება ტრადიციული დრენების (ერთი და იმავე სიღრმეზე ჩალაგებული) ჯამურ ჩანადენსა და სადრენაჟო მოღუღლების სარეგულაციო დრენების სხვადასხვა დონით ჩართვას შორის, აგრეთვე სადრენაჟო-მოღუღური სისტემის საანგარიშო პარამეტრების მეთოდოლოგია.

შპს 541.8

წყალხსნარებში ქიმიური ელემენტების არსებობის ფორმების განსაზღვრა. **ი. ბერძენიშვილი, კ. კამკამიძე, დ. კიკნაძე** // ჰიდროინჟინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 47-51.

განხილულია წყალხსნარებში ქიმიური ელემენტების ქცევის რიცხოვნობის მოდელირება. წარმოდგენილია დასმული ამოცანის ამოხსნის ალგორითმები. ნახევრებია, რომ ჰიდროლიზის რეაქციების შედეგად ხსნარის pH იცვლება. გაანგარიშებულია ალუმინის არსებობის ფორმები სხვადასხვა გარემოში. გამოვლენილია კალციუმის დომინანტური ფორმების სახეობები ხსნარის pH მნიშვნელობების მიხედვით.

შპს 621.1: 621.6

თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს რეალური თერმოდინამიკური ციკლის ანალიზი. **ი. შეყრილაძე, მ. მეფარიშვილი, ე. მაჭავარიანი, გ. გიგინეიშვილი** // ჰიდროინჟინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 52-60.

გაანალიზებულია თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს რეალური თერმოდინამიკური ციკლი. მიღებულია მარტივი ქმედების კოეფიციენტის საანგარიშო განტოლება. დამუშავებულია ციკლის რიცხვითი მოდელი, რომელიც საშუალებას იძლევა განესაზღვროთ ციკლის პარამეტრები სხვადასხვა საწყისი პირობებისათვის. მოყვანილია მოდელირების შედეგები.

შპს 621.1: 621.6

თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს ექსპერიმენტული მოდელის შემდგენა და თერმოჰიდროდინამიკური პროცესების გამოკვლევა **ი. შეყრილაძე, მ. მეფარიშვილი, ე. მაჭავარიანი, გ. გიგინეიშვილი, ჯ. რუსიშვილი, დ. შეყრილაძე** // ჰიდროინჟინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 61-69.

შექმნილია თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს (თამტ) ახალი მოდიფიკაციის ექსპერიმენტული მოდელი. გამოკვლეულია გახურების ზედაპირის ტემპერატურის პულსაციისა და თხევადი დგუშის გამოდევნის ამპლიტუდები და ურთიერთკორელაცია. გამოკვლეულია აგრეთვე დამოკიდებულება მარტივი ქმედების კოეფიციენტსა და დაწნევას შორის. დასახულია ტუმბოს შემდგომი დახვეწის გზები.

შპს 551.578

ღვარცოფსადინარში ტალღურად მოძრავი გმული ღვარცოფის მახასიათებლების დადგენა. **ე. კუხალაშვილი, ი. ინაშვილი, კ. ბზიავა, ი. ყრუაშვილი, დ. ლორთქიფანიძე** // ჰიდროინჟინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 70-74.

მთის რელიეფის პირობებში კაშხლის გარღვევა იწვევს დიდი გამრეცხი ენერგიის მქონე გამრღვევი ტალღის წარმოქმნას, რომელიც სწრაფად გარდაიქმნება ღვარცოფულ ნაკადად. განხილულია ღვარცოფული ნაკადის ერთი მიმართულების

გრძივი ტალღების გაანგარიშების საკითხი. მიღებულია საანგარიშო დამოკიდებულებები, რომელთა მეშვეობითაც შესაძლებელია განსაზღვრულ იქნეს ნაკადის სიმაღლე ტალღის სიმაღლის გათვალისწინებით როგორც რეოლოგიური მაჩვენებლის გათვალისწინებით, ისე მათ გარეშე.

შაკ 628.1.

წყალმომარაგების სისტემებში მმქანიკური ზემოქმედებისას დეფორმაციის წარმოქმნის შესახებ **ლ. კლიმიაშვილი, მ. ნაცვლიშვილი** // ჰიდროინჟინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 75-79.

განხილულია წყალმომარაგების სისტემებში გამოყენებული ლითონის მილებში ბზარებისა და წერტილოვანი დეფექტების წარმოქმნის პროცესი მექანიკური ზემოქმედებისას. გაანალიზებულია ლითონის ელემენტების სიმტკიცის დაკარგვის დისლოკაციური მექანიზმი, რომელთა მოძრაობამ ორ გადამკვეთ დაცურების სიბრტყეში შეიძლება ბზარის წარმოქმნა გამოიწვიოს.

შაკ 627.8

მქსპერტული სისტემების აბების შესახებ **ლ. კლიმიაშვილი, ნ. ნაცვლიშვილი, დ. გურგენიძე** // ჰიდროინჟინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 80-84.

განხილულია ექსპერტული სისტემის შექმნის და პრობლემური სფეროს საკვანძო კონცეპტების გამოვლენის პროცესი. გაანალიზებულია ექსპერტისგან ცოდნის ამოღების, გადაცემის, წარმოდგენის, მართვის სტრატეგიის, აგრეთვე მომხმარებელთან ურთიერთქმედების ქვესისტემისა და სისტემის რეალიზაციის ადეკვატური ხერხების არჩევა.

მიღებულია, რომ რაიმე იდეის ექსპერიმენტული შემოწმების, მაგალითად, სამრეწველო სისტემის ან პროტოტიპის შექმნის, შემდგომში მისი სამრეწველო ვარიანტში გადაყვანისთვის არჩეული საშუალებების ეფექტურობის საკითხი უადრესად აქტუალურია.

შაკ 51:6

ონოს სამეშურის სტრუქტურის აბება ნებისმიერ ლოგოსში. **ა. კლიმიაშვილი** // ჰიდროინჟინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 85-93.

შესწავლილია ნებისმიერ ლოგოსში არსებული მონადური ჰეიტინგის ლოგიკა, ნაჩვენებია ამ ლოგიკის კავშირი ონოს სამეშურებთან. გამოყენებულია შეუდლებული ფუნქტორებისა და ბუნებრივი გარდაქმნების ძირითადი თვისებები. შესაძლო გამოყენებები მოიცავს მოდალობების შემცველ ნებისმიერ მათემატიკურ მოდელების კლასს, მათ შორის წყალთან დაკავშირებულ მოდელებსაც.

შპს 69.05.(0758)

თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ტენგამტარობის პარამეტრების განსაზღვრა. **ა. საყვარელიძე** // ჰიდროინჟინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 94-100.

შესრულებულია თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ტენგამტარობის მახასიათებლების (ტენის დიფუზიის, ტენგადაცემის კოეფიციენტისა და ტენგადაცემის კუთრი კოეფიციენტის) განსაზღვრის ექსპერიმენტულ-თეორიული გამოკვლევა. დადგენილია ცილინდრული ფორმის ნიმუშების ტენშემცველობის და წონის ცვლილება დროში (გამოშრობისას). რეალიზებულია უსასრულო ცილინდრის ამოცანა მესამე რიგის სასაზღვრო პირობებში. განსაზღვრულია მასალის დროში ტენშემცველობის ცვლილების ექსპერიმენტული მრუდი. თეორიულად მიღებულია მრუდების მთელი ოჯახი.

თეორიული და ექსპერიმენტული მონაცემების შედარებით და ანალიზით დადგენილია თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ტენგამტარობის მახასიათებლები: ტენის დიფუზიის, ტენგადაცემის კოეფიციენტისა და ტენგადაცემის კუთრი კოეფიციენტის სიდიდეები.

შპს 636.32/.38

ცხოველთა კვებაში გამოყენებული სასოფლო-სამეურნეო წარმოებისა და მრეწველობის ანარჩენების ზოგადი დახასიათება. **მ. ცინცაძე, ნ. ორჯანელი, ნ. ნატროშვილი, გ. ცქვიტინიძე** // ჰიდროინჟინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 101-104.

მოცემულია ცხოველთა კვებაში გამოყენებული სასოფლო-სამეურნეო წარმოებისა და მრეწველობის ანარჩენების ზოგადი დახასიათება, მათი ქიმიური შედგენილობის შესწავლა და გამოყენება სასოფლო-სამეურნეო ცხოველთა კვებაში.

შპს 636.32/.38

საქართველოს მემცხვარეობა. **მ. ცინცაძე, ნ. ორჯანელი, ნ. ნატროშვილი, გ. ცქვიტინიძე** // ჰიდროინჟინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 105-112.

გაშუქებულია მეცხვარეობის ზოგადი მნიშვნელობა და საქართველოში არსებული აბორიგენული ჯიშების დღევანდელი სავალალო მდგომარეობა. ამ პრობლემის გადასაჭრელად აუცილებელია გარკვეული ღონისძიებების გატარება.

დღევანდელი გადასახედიდან დეტალურად არის აღწერილი მეცხვარეობის სავალალო მდგომარეობა.

UDC 626.823.93

REGULARITIES OF TRANSIT TRAFFIC FLOW IN RIVERS. **L. Klimiashvili, D. Gubeladze, D. Gurgenidze, M. Natsvlihsvili** // Hydroengineering. №1-2(19-20), 2015, pp. 25-30.

There is discussed the issue of underground streaming movement in ground. The induced streaming dependence on streaming hydraulic opposition is revealed. The dependence of bed capacity integral characters is revealed to be calculated.

UDC 626.823.93

CHARACTERISTICS OF RIVER-BED PROCESSES. **L. Klimiashvili, D. Gubeladze, I. Kruashvili, D. Gurgenidze** // Hydroengineering. №1-2(19-20), 2015, pp. 31-35.

During the research of water erosive process, one of the most important issue is learning hydrodynamic structure of streaming, at the bottom and the near by layer, because it causes deformation of bed, transformation of velocity field and the intensity of turbulent mixing. Nowadays, in the bottom layer of open bed streaming, with the dependence of induced feed, improving the calculation of bed deformation is the main issue about learning the water erosive processes

UDC 631.626.3

IMPROVEMENT OF WATER REGULATION TECHNOLOGY ON DRAINAGE SOILS BY THE DRAINAGE-MODULAR SYSTEMS WITH MULTIGRADE ADJUSTING DRAINS. **R. Tkachuk, N. Tkachuk, A. Rokochinsky** // Hydroengineering. №1-2(19-20), 2015, pp. 36-46.

There is considered improved construction of drainage-modular systems with multigrade drains, with water regulation technology of drainage soils. Dependence between cumulative run off from traditional drains (stacked on the same depth) and drainage modulus from multigrade connection of adjusting drains, also method of calculation parameters of drainage-modular systems are obtained.

UDC 541.8

DETERMINATION OF THE OCCURRING FORMS OF CHEMICAL ELEMENTS IN AQUEOUS SOLUTIONS. **I. Berdzenishvili, K. Kamkamidze, D. Kiknadze** // Hydroengineering. №1-2(19-20), 2015, pp. 47-51.

The paper is devoted to the numerical modeling of the behavior of elements in aqueous solutions. The algorithms for solving this problem are presented. It is shown, that in aqueous solutions as a result of hydrolysis reactions pH values have been changed. The occurring forms of aluminum in different environments are calculated. The dominant forms of calcium depending on pH values of solution are revealed.

UDC 621.1: 621.6

ANALYSIS OF REAL THERMODYNAMIC CYCLE OF THERMAL POWERED MEMBRANE PUMP. **I. Shekriladze, M. Meparishvili, E. Machavariani, G. Gigineishvili** // Hydroengineering. №1-2(19-20), 2015, pp. 52-60.

There is analyzed the real thermodynamic cycle of thermal powered membrane pump. Design equation for defining the pump efficiency is received. Numerical model of the cycle is developed

allowing to determine parameters of the cycle for different initial conditions. There are represented the results of modelling.

UDC 621.1: 621.6

CREATION OF EXPERIMENTAL MODEL OF THERMAL POWERED MEMBRANE PUMP AND INVESTIGATION OF THERMO-HYDRODYNAMIC PROCESSES. **I. Shekriladze, M. Meparishvili, E. Machavariani, G. Gigineishvili, J. Rusishvili, D. Shekriladze** // Hydroengineering. №1-2(19-20), 2015, pp. 61-69.

There was created experimental model of the new modification of thermal powered membrane pump. There were investigated amplitudes of the heating surface temperature pulsation and liquid piston replacement and correlation between them. Interrelation between efficiency and useful head also is studied. The ways of further sophistication of the pump are outlined.

UDC 551.578

DETERMINATION OF CHARACTERISTICS OF WAVELIKE DEBRIS FLOWS IN THE DEBRIS FLOW CHANNELS. **E. Kukhalashvili, I. Inashvili, K. Bziava, I. Kruashvili, D. Lortkipanidze** // Hydroengineering. №1-2(19-20), 2015, pp. 70-74.

The break-through of the dam in mountainous terrain leads to the formation of destructive waves with increasing erosive energy, which quickly are transformed into the debris flow. In this paper there is an attempt to solve the calculation problem of one direction's long waves in debris flow. Using the obtained calculation dependences are possible to determine of flows height take into account waves height and rheological parameters.

UDC 628.1

REGARDING TO THE FORMATION OF DEFECTS IN THE SYSTEMS OF WATER-SUPPLY UNDER MECHANICAL IMPACT. **L. Klimiashvili, M. Natsvlishvili** // Hydroengineering. №1-2(19-20), 2015, pp. 75-79.

There is considered the process of formation of point defects in metal pipes, used in the systems of water-supply under mechanical impact. A dislocational mechanism of a stability loss of metal elements is analyzed, the mobility of which in two intersecting planes of slip may lead to the formation of cracks.

UDC 627.8

REGARDING TO THE FORMATION OF EXPERT SYSTEMS. **L. Klimiashvili, M. Natsvlishvili, D. Gurgenidze** // Hydroengineering. №1-2(19-20), 2015, pp. 80-84.

There is considered process of detection of key concepts of the problem sphere and formation of expert systems. Choice of adequate ways of implementation systems and subsystems of interaction with a customer, the ways to obtain knowledge from an expert, its transmission, performance and management strategy are analyzed.

There is determined, that for the experimental check of any idea, for its further transfer to the industrial version, efficiency issue of the chosen means is becoming urgent.

UDC 51:6

CONSTRUCTION OF ONO TRIPLET STRUCTURE IN ANY LOGOS. **A. Klimiashvili** // Hydroengineering. №1-2(19-20), 2015, pp. 85-93.

There is studied logic of monad heighting in any logos. There is shown the connection of this logic to the triplet Ono. There is used fundamental properties of joint functors and natural transformations. Applications possible include the class of any mathematical models contained modalities, including models connected with water.

UDC 69.05.(0758)

DETERMINATION OF SELF-COMPACTING CONCRETE MOISTURE PERMEABILITY CHARACTERISTICS. **A. Sakvarelidze** // Hydroengineering. №1-2(19-20), 2015, pp. 94-100.

There was carried out the experimental theoretical investigation on determination of composite moisture permeability characteristics. The technique of research conducting is given. There were tested sample-cylinders ($d=70$ mm $l=70$ mm) of age 28 day with moisture content of 3,95% (on weight). Before testing samples were isolated on both sides by paraffin (infinite cylinder) and put in environment with air relative humidity of 20%. In this state they were dried. The free drying from side surface of the cylinder had place (i.e. the talks of infinite cylinder in boundary conditions of the third type was realized). The experimental time-depended curve of material drying is determined. The theoretical expressions determining the cylinder humidity for any moment of the time are given. As a result of comparison and analysis of experimental and theoretical data self-compacting concrete permeability characteristics there have been determined: coefficient of humidity diffusion, coefficient of moisture transmission and specific coefficient of moisture transmission have been determined.

UDC 636.32/.38

GENERAL DESCRIPTION OF THE REMAINS OF AGRICULTURAL PRODUCTION AND INDUSTRY, USED IN ANIMALS FEEDING. **M. Tsintsadze, N. Orjaneli, N. Natroshvili, G. Tskvitinidze** // Hydroengineering. №1-2(19-20), 2015, pp. 101-104.

There is presented the general description of the remains of the agricultural production and industry used in animals feeding. Based on study of chemical composition has been revealed the extensive opportunity in their usage in feeding of various species of agricultural animals.

UDC 636.32/.38

SHEEP-BREEDING IN GEORGIA. **M. Tsintsadze, N. Orjaneli, N. Natroshvili, G. Tskvitinidze** // Hydroengineering. №1-2(19-20), 2015, pp. 105-112.

The article describes in details deplorable state of sheep-breeding existed nowadays and the necessity to carry out number of events for solving these constraints. The article specifically identifies the ways to solve these problems.

волн используются только законы сохранения энергии и массы. При определении высоты поднятия прибойного потока используется гидравлический подход.

Расчеты сравниваются с результатами Вайонтской катастрофы. Совпадение результатов хорошее, порядка 12-15%.

УДК 626.823.93

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНЗИТНЫХ ПОТОКОВ В РЕКАХ. Климашвили Л.Д., Губеладзе Д.О., Гургенидзе Д.Р., Нацвлишвили М.Н. // Гидроинженерия, №1-2(19-20), 2015, с. 25-30.

Рассматриваются поверхностный поток и подземные течения в слое грунта ложа русла. Выявлена взаимосвязь движения индуцированного фильтрационного течения и его влияние на гидравлическое сопротивление воды. Установлена зависимость для расчета интегральных характеристик потока. Получена зависимость, определяющая коэффициент гидравлического сопротивления интегральных характеристик пропускной способности русла.

УДК 626.823.93

ОСОБЕННОСТИ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ. Климашвили Л.Д., Губеладзе Д.О., Круашивили И.Г., Гургенидзе Д.Р. // Гидроинженерия, №1-2(19-20), 2015, с. 31-35.

Исследование водной эрозии в русле является одной из основных задач при изучении структуры гидродинамического воздействия потока на течение в нижнем слое грунта, которое определяет деформацию русла, поле скоростей и интенсивность турбулентного перемешивания воды.

В настоящее время открытым остается вопрос усовершенствования расчетов движения воды в нижнем слое грунта, вызванного индуцированным течением. Дальнейшее совершенствование методов расчета процессов водной эрозии в русле является одним из актуальных задач гидродинамики.

УДК 631.626.3

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОДРЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ ДРЕНАЖНО – МОДУЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ С РАЗНОУРОВНЕВЫМИ РЕГУЛИРУЮЩИМИ ДРЕНАМИ. Ткачук Р.Н., Ткачук Н.Н., Рокочинский А.Н. // Гидроинженерия, №1-2(19-20), 2015, с. 36-46.

Рассмотрены усовершенствованная конструкция дренажно - модульной системы с разноуровневыми дренами и технология водорегулирования осушаемых земель. Получены зависимости суммарного стока с традиционных дренах (уложенных на одинаковую глубину) и дренажных модулей с разноуровневым подключением регулирующих дренах и методика расчета параметров дренажно - модульной системы.

УДК 541.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ. Бердзенишвили И.Г., Камкамидзе К.Н., Кикнадзе Д.Л. // Гидроинженерия, №1-2(19-20), 2015, с. 47-51.

Работа посвящена численному моделированию поведения элементов в водных растворах. Представлены алгоритмы решения данной задачи. Показано, что в водных растворах в результате протекания реакций гидролиза изменяется рН раствора. Рассчитаны формы нахождения алюминия в разных средах. Выявлены доминирующие формы кальция в растворе в зависимости от величин рН.

УДК 621.1: 621.6

АНАЛИЗ РЕАЛЬНОГО ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА НАСОСА С ТЕПЛОВЫМ ПРИВОДОМ. Шекриладзе И.Г., Мепаришвили М.Р., Мачавариани Е.С., Гигинеишвили Г.И. // Гидроинженерия, №1-2(19-20), 2015, с. 52-60.

Проведен анализ реального термодинамического цикла насоса с тепловым приводом. Получено расчетное уравнение для коэффициента полезного действия. Разработана численная модель цикла, позволяющая определить параметры цикла для различных исходных условий. Приведены результаты численного моделирования.

УДК 621.1: 621.6

СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ НАСОСА С ТЕПЛОВЫМ ПРИВОДОМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. Шекриладзе И.Г., Мепаришвили М.Г., Мачавариани Е.С., Гигинеишвили Г.И., Русишвили Дж.Г., Шекриладзе Д.И. // Гидроинженерия, №1-2(19-20), 2015, с. 61-69.

Создана экспериментальная модель новой модификации насоса с тепловым приводом. Исследованы амплитуды температурных пульсаций поверхности нагрева и вытеснения жидкого поршня и корреляция между ними. Изучена также зависимость между коэффициентом полезного действия и напором. Намечены пути дальнейшего совершенствования насоса.

УДК 551.578

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНООБРАЗНОГО СВЯЗНОГО СЕЛЕВОГО ПОТОКА В СЕЛЕВЫХ РУСЛАХ Кухалашвили Э.Г., Инашвили И.Д., Бзиава К.Г., Круашвили И.Г., Лорткипанидзе Д.Г. // Гидроинженерия, №1-2(19-20), 2015, с. 70-74.

Прорыв плотины в условиях горного рельефа приводит к образованию разрушительной волны с большой размывающей энергией, которая быстро превращается в селевой поток. В данной работе произведена попытка решить вопрос расчета длинных волн одного направления для селевого потока. Получены расчетные зависимости, с применением которых можно определить высоту потока с учетом высоты волны и реологических параметров.

УДК 628.1.

ОБ ОБРАЗОВАНИИ ДЕФЕКТОВ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ. Климашвили Л.Д., Нацвлишвили М.Н. // Гидроинженерия, №1-2(19-20), 2015, с. 75-79.

Рассмотрен процесс образования точечных дефектов в металлических трубах, использованных в системах водоснабжения при механических воздействиях. Проанализирован механизм дислокации потерь прочности элементов металла, подвижность которых в двух пересекающихся плоскостях скольжения может привести к образованию трещины.

УДК 627.8

О ПОСТРОЕНИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ. Климашвили Л.Д., Нацвлишвили Н.В., Гургенидзе Д.Р. // Гидроинженерия, №1-2(19-20), 2015, с. 80-84.

Рассмотрен процесс выявления ключевых концептов проблемной сферы и построения экспертных систем. Проанализированы выбор адекватных способов реализации систем и взаимодействия с потребителями подсистем, а также вопросы извлечения, передачи, стратегии управления и представления знаний от эксперта.

Установлено, что при экспериментальной проверке каких-либо идей для перевода их в промышленный вариант, вопрос эффективности выбранных средств становится весьма актуальным.

УДК 51.6

ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРЫ ТРОЙКИ ОНО В ЛЮБОМ ЛОГО. Климашвили А.М. // Гидроинженерия, №1-2(19-20), 2015, с. 85-93.

Изучена логика монадного хейтинга, существующая в любом лого, показана связь этой логики с тройкой Оно. Используются основные свойства сочлененных функторов и естественных преобразований. Возможное применение включает класс любых математических моделей, содержащих модальности, в том числе и моделей, связанных с водой.

УДК 69.05 (0758)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЛАГОПРОВОДНОСТИ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА. Сакварелидзе А.В. // Гидроинженерия, №1-2(19-20), 2015, с. 94-100.

Проведена экспериментально-теоретическая работа по определению характеристик влагопроводности бетона.

Дана методика проведения исследования. В экспериментах испытывались образцы-цилиндры ($d=70$ и $l=70$ мм) возраста 28 суток, влажностью (3,95% по массе).

Перед испытанием на взвешивание, поверхность образцов с обоих концов изолировалась парафином (бесконечный цилиндр) и помещалась в среду с влажностью 20%. В этих условиях они высыхали. Происходила свободная влагоотдача с боковой поверхности цилиндра

в окружающую среду. Таким образом реализовалась задача неограниченного цилиндра в граничных условиях третьего рода. Определена экспериментальная кривая влагопотерь материала во времени.

Проведены теоретические вычисления влажности цилиндра во времени.

Сопоставлением и анализом экспериментальных и теоретических данных установлены характеристики влагопроводимости самоуплотняющегося бетона: коэффициент диффузии влаги, коэффициент влагопередачи и относительный коэффициент влагопередачи.

УДК 636.32/.38

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСТАТКОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА И ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КОРМЛЕНИИ ЖИВОТНЫХ. Цинцадзе М.А., Орджанели Н.М., Натрошвили Н.Н., Цквитинидзе Г.А. // Гидроинженерия, №1-2(19-20), 2015, с. 101-104.

Дана общая характеристика остатков сельскохозяйственного производства и промышленности, используемых в кормлении животных. На основе изучения химического состава выявлена широкая возможность их применения в кормлении различных видов сельскохозяйственных животных.

УДК 636.32/.38

ОВЦЕВОДСТВО ГРУЗИИ. Цинцадзе М.А., Орджанели Н.М., Натрошвили Н.Н., Цквитинидзе Г.А. // Гидроинженерия, №1-2(19-20), 2015, с. 105-112.

Детально описано существующее на сегодняшний день тяжелое состояние овцеводства и необходимость проведения ряда мероприятий для решения этих проблем. В статье конкретно приведены пути решения данных проблем.