

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY

ГРУЗИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

---

ISSN 1512-410X

ჰიდროენიჟინიჟინირინგ  
HYDROENGINEERING  
ГИДРОИНЖЕНЕРИЯ

№1-2(19-20)



თბილისი – TBILISI – ТБИЛИСИ

2015

# სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „პიდროინჟინერია“

დაფუძნებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტისა და საქართველოს საინჟინრო აკადემიის მიერ.

## სარედაქციო კოლეგია:

**საქართველოდან:** აკადემიკოსი ა. ფრანგიშვილი, პროფ. ლ. ღოდელიანი (მთ. რედაქტორი), პროფ. ლ. კლიმიაშვილი (მთ. რედაქტორის მოადგილე), პროფესორები: ა. მოწონელიძე, პ. კერვალიშვილი, ზ. დანელია, ი. ქადარია, თ. გველესიანი, ზ. მეგრელიშვილი, ნ. კოდუა, შ. გაგოშიძე, ზ. გერგიძე, გ. სოსელია, ვ. ნაჭერიძე, ნ. ნაცვლიშვილი, მ. გრძელიშვილი, შ. მესტვირიშვილი, თ. ფურცელაძე, პ. გიორგაძე, დ. გურგენიძე, ზ. ზალიკაშვილი, მ. ნაცვლიშვილი (პასუხისმგბელი მდივანი), შპს „ჯორჯიან უოთერ ენდ ფაუერის“ ადმინისტრაციული დირექტორი ნ. ბახტაძე, ტექნიკური დეპარტამენტის უფროსი მ. კანდელაკი, საგამომცემლო სახლ „ტექნიკური უნივერსიტეტის“ დირექტორი ალ. გრიგოლიშვილი.

**ამერიკის შეერთებული შტატებიდან:** აიოვას შტატის უნივერსიტეტის პროფესორები: არდიოთ მანი, რამეშ კანვარი, ემი კალიტა, სტივენ ფრემი, 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. Grdzeliashvili, 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. Ardit Maney. Ramesh Kanwar, Amy Kaleita, Steven Freeman, Roy Gu, (Aiowa State University).

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Грузия:** Академик А. Прангишвили, проф. ГТУ Л. Гогелиани (гл. редактор), проф. Л. Климиашвили (зам. гл. редактора), проф: А. Мотсонелидзе, П. Кервалишвили, З. Данелия, 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 пაუэр» Н. Бахтадзе, начальник технического департамента М. Канделаки, директор издательского дома «Технический университет» А. Григолишвили.

**США:** проф. Ардит Ман, Рамеш Канвар, Эми Калеита, 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](http://www.cetl.gtu.ge)

გამოქვეყნებული მასალის სიზუსტე პასუხისმგებელია ავტორი.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2015

Publishing House “Technical University”, 2015

Издательский дом “Технический Университет”, 2015

# შინაარსი

## ჰიდრონეინერია

ლ. ღოღელიანი, ე. ხატიაშვილი, ზ. ასკურავა. წყალსაცავის ეპულური განვითარების დადგენა	6
ლ. ღოღელიანი. დინების განვითარების სიხმირის ჰიდროდინამიკური განვითარების ინტებრალური ფორმა, როცა ძველი უფრო დაბალი დინება ჩამონიშვილი კლდის მასაში შეჭრილია სეისმური ძალების ზემოქმედებით	10
ლ. ღოღელიანი, ე. ხატიაშვილი, ზ. ასკურავა. წყალსატევებში პატასტროზული ტალღების წარმოშობისა და გავრცელების თეორიული მახასიათებლების შედარება ნატურულ მონაცემებთან	19
ლ. კლიმიაშვილი, დ. გუბელაძე, დ. გურგენიძე, მ. ნაცველიშვილი. მდინარეებში ტრანზიტული ნაკადის მოძრაობის კანონზომიერებები	25
ლ. კლიმიაშვილი, დ. გუბელაძე, ი. ყრუაშვილი დ. გურგენიძე. პალაკოტური პროცესების თავისებურება	31
რ. ტკაჩუკი, ნ. ტკაჩუკი, ა. როკოჩინსკი. დასაშრობ მიზებზე წყლის რეგულირების ტექნოლოგიის სრულყოფა სხვადასხვა დონის გარებულირებელდონებიანი სადრენაჟო-მოდულური სისტემებით	36
ი. ბერძენიშვილი, კ. კამკამიძე, დ. კიქნაძე. წყალსსნარებში ქიმიური ელემენტების არსებობის ზორმების განსაზღვრა	47
ი. შეყრილაძე, მ. მეფარიშვილი, ე. მაჭავარიანი, გ. გიგინეიშვილი. თბილამდრავიანი მემბრანული ტუბბოს რეალური თერმოდინამიკური ციკლის ანალიზი	52
ი. შეყრილაძე, მ. მეფარიშვილი, ე. მაჭავარიანი, გ. გიგინეიშვილი, ჯ. რუსიშვილი, დ. შეყრილაძე. თბილამდრავიანი მემბრანული ტუბბოს ექსპრიმენტული მოდელის შექმნა და თერმოკიდროდინამიკური პროცესების გამოპვლება	61
ქ. კუხალაშვილი, ი. ინაშვილი, კ. ბზიავა, ი. ყრუაშვილი, დ. ლორთქიფანიძე. ღვარცოვსადინარში ტლდურად მოძრავი ბმული ღვარცოვის მახასიათებლების დადგენა	70
ლ. კლიმიაშვილი, მ. ნაცველიშვილი. წყალმომარაგების სისტემებში მექანიკური ზემოქმედებისას დეფექტების წარმოშობის შესახებ	75
ლ. კლიმიაშვილი, ნ. ნაცველიშვილი, დ. გურგენიძე. ექსპრესული სისტემების აბების შესახებ	80
ა. კლიმიაშვილი. ონოს სამუშავის სტრუქტურის აგება ენგინეირ ლოგისტი	85
ა. საყვარელიძე. თვითშემჯიდროებადი გეტონის ტენგამტარობის პარამეტრების განსაზღვრა	94
<b>აბრარული მეცნიერებები</b>	
მ. ცინცაძე, ნ. ორჯანელი, ნ. ნატროშვილი, გ. ცქვიტინიძე. ცხოველთა პოებაში გამოყენებული სასოფლო-სამეურნეო წარმოებისა და მოწველობის ანარჩენების ზოგადი დახასიათება	101
მ. ცინცაძე, ნ. ორჯანელი, ნ. ნატროშვილი, გ. ცქვიტინიძე. საქართველოს მეცნიერებება	105
რეზერატები	113

# CONTENTS

## HYDROENGINEERING

<b>L. Ghogheliani, E. khatiashvili, Z. Askurava.</b> DETERMINATION OF THE RESERVOIR EUTROPHICATION .....	6
<b>L. Gogeliani.</b> INTEGRAL FORM OF A HYDRAULIC EQUATION OF A STRATIFIED-DENSITY FLOW, WHEN THE LOWER FLOW IS THE COLLAPSED ROCK MASS INTRUDING INTO THE WATER RESERVOIR UNDER THE ACTION OF SEISMIC FORCES .....	10
<b>L. Ghogheliani, E. Khatiashvili, Z. Askurava.</b> COMPARISON OF CALCULATED DISASTROUS WAVE GENERATION AND PROPAGATION CHARACTERISTICS IN RESERVOIRS WITH MEASURED ONES .....	19
<b>L. Klimiashvili, D. Gubeladze, D. Gurgenidze, M. Natsvlihsvili.</b> REGULARITIES OF TRANSIT TRAFFIC FLOW IN RIVERS .....	25
<b>L. Klimiashvili, D. Gubeladze, I. Kruashvili, D. Gurgenidze.</b> CHARACTERISTICS OF RIVER-BED PROCESSES .....	31
<b>R. Tkachuk, N. Tkachuk, A. Rokochinsky.</b> IMPROVEMENT OF WATER REGULATION TECHNOLOGY ON DRAINAGE SOILS BY THE DRAINAGE-MODULAR SYSTEMS WITH MULTIGRADE ADJUSTING DRAINS .....	36
<b>I. Berdzenishvili, K. Kamkamidze, D. Kiknadze.</b> DETERMINATION OF THE OCCURRING FORMS OF CHEMICAL ELEMENTS IN AQUEOUS SOLUTIONS .....	47
<b>I. Shekriladze, M. Meparishvili, E. Machavariani, g. Gigineishvili.</b> ANALYSIS OF REAL THERMODYNAMIC CYCLE OF THERMAL POWERED MEMBRANE PUMP .....	52
<b>I. Shekriladze, M. Meparishvili, E. Machavariani, G. Gigineishvili, J. Rusishvili, D. Shekriladze.</b> CREATION OF EXPERIMENTAL MODEL OF THERMAL POWERED MEMBRANE PUMP AND INVESTIGATION OF THERMO-HYDRODYNAMIC PROCESSES .....	61
<b>E. Kukhalashvili, I. Inashvili, K. Bziava, I. Kruashvili, D. Lortkipanidze.</b> DETERMINATION OF CHARACTERISTICS OF WAVELIKE DEBRIS FLOWS IN THE DEBRIS FLOW CHANNELS.	
<b>L. Klimiashvili, M. Natsvlishvili.</b> REGARDING TO THE FORMATION OF DEFECTS IN THE SYSTEMS OF WATER-SUPPLY UNDER MECHANICAL IMPACT .....	70
<b>L. Klimiashvili, M. Natsvlishvili, D. Gurgenidze.</b> REGARDING TO THE FORMATION OF EXPERT SYSTEMS .....	75
<b>A. Klimiashvili.</b> CONSTRUCTION OF ONO TRIPLET STRUCTURE IN ANY LOGOS .....	80
<b>A. Sakvarelidze.</b> DETERMINATION OF SELF-COMPACTING CONCRETE MOISTURE PERMEABILITY CHARACTERISTICS .....	85

## AGRARIAN SCIENCES

<b>M. Tsintsadze, N. Orjaneli, N. Natroshvili, G. Tskvitinidze.</b> GENERAL DESCRIPTION OF THE REMAINS OF AGRICULTURAL PRODUCTION AND INDUSTRY, USED IN ANIMALS FEEDING .....	101
<b>M. Tsintsadze, N. Orjaneli, N. Natroshvili, G. Tskvitinidze.</b> SHEEP-BREEDING IN GEORGIA .....	105

<b>SUMMARIES</b> .....	113
------------------------	-----

# СОДЕРЖАНИЕ

## ГИДРОИНЖЕНЕРИЯ

Л.Д. Гогелиани, Э.Б. Хатиашвили, З.И. Аскурава. УСТАНОВЛЕНИЕ УРОВНЯ ЭВТРОФИКАЦИИ ВОДОХРАНИЛИЩА .....	6
Л.Д. Гогелиани. ИНТЕГРАЛЬНАЯ ФОРМА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ЧАСТОТЫ РАЗНОПЛОТНОСТНОГО ПОТОКА, КОГДА НИЖНИЙ СЛОЙ ГОРНОГО ПОТОКА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ ВТОРГАЕТСЯ В ВОДОЕМ ЧЕРЕЗ МАССУ ОБВАЛО-ОПОЛЗНЕВОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ .....	10
Л.Д. Гогелиани, Э.Б. Хатиашвили, З.И. Аскурава. ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ВОЛН В ВОДОХРАНИЛИЩАХ И СОПОСТАВЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РЕЗУЛЬТАТОВ С НАТУРНЫМИ ДАННЫМИ .....	19
Л.Д. Климиашвили, Д.О. Губеладзе, Д.Р. Гургенидзе, М.Н. Нацвлишвили. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНЗИТНЫХ ПОТОКОВ В РЕКАХ .....	25
Л.Д. Климиашвили, Д.О. Губеладзе, И.Г. Круашвили, Д.Р. Гургенидзе. ОСОБЕННОСТИ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ .....	31
Р.Н. Ткачук, Н.Н. Ткачук, А.Н. Рокочинський. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОРЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСУЩАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ ДRENажно – МОДУЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ С РАЗНОУРОВНЕВЫМИ РЕГУЛИРУЮЩИМИ ДРЕНАМИ .....	36
И.Г. Бердзенишвили, К.Н. Камкамидзе, Д.Л. Кикнадзе. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ .....	47
И.Г. Шекриладзе, М.Р. Мепаришвили, Е.С. Мачавариани, Г.И. Гигинеишвили. АНАЛИЗ РЕАЛЬНОГО ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА НАСОСА С ТЕПЛОВЫМ ПРИВОДОМ .....	52
И.Г. Шекриладзе, М.Г. Мепаришвили, Е.С. Мачавариани, Г.И. Гигинеишвили, Дж.Г. Русишвили, Д.И. Шекриладзе. СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ НАСОСА С ТЕПЛОВЫМ ПРИВОДОМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ .....	61
Э.Г. Кухалашвили, И.Д. Инашвили, К.Г. Бзиава, И.Г. Круашвили, Д.Г. Лорткипанидзе. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНООБРАЗНОГО СВЯЗНОГО СЕЛЕВОГО ПОТОКА В СЕЛЕВЫХ РУСЛАХ .....	70
Л.Д. Климиашвили, М.Н. Нацвлишвили. ОБ ОБРАЗОВАНИИ ДЕФЕКТОВ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ .....	75
Л.Д. Климиашвили, Н.В. Нацвлишвили, Д.Р. Гургенидзе. О ПОСТРОЕНИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ .....	80
А.М. Климиашвили. ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРЫ ТРОЙКИ ОНО В ЛЮБОМ ЛОГО .....	85
А.В. Сакварелидзе. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЛАГОПРОВОДНОСТИ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА .....	94
<b>РЕФЕРАТЫ .....</b>	<b>113</b>

შაბ 6282

## წყალსაცავის ეგზოგრაფიის დონის დადგენა

ლ. ღოღელიანი, ე. ხატიაშვილი, ზ. ასკურავა

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** სტატიაში მოცემულია წყალსაცავის ეგზოგრაფიის პროცესების შექმნის და 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 განიხაზდება წყალსატევის ეგზოგრაფიის ხარისხი და ხდება მიხო პროგნოზირება.

**საკვანძო სიტყვები:** წყალსატევი; ეგზოგრაფია; ბიოგენური ელემენტები; დენტრუაცია; კონცენტრაცია.

### 1. შესაბამის

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

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

## 2. მიზანთადი 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 (მოგვავს 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“ ოეორიული მეთოდიკით 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 დალექვის და ადსორბციის გათვალისწინების გარეშე, ტოლია: ფოსფორის –  $C_p = 0,01 \text{მგ/ლ}$ ; აზოტის –  $C_N = 1,75 \text{ მგ/ლ}$ .

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

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

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

გამოვთვლით შემდეგი მონაცემებისათვის: ფოსფორის –  $C_p = 0,01 \text{მგ/ლ}$ ; აზოტის –  $C_N = 1,75 \text{მგ/ლ}$ ; მდ. არაგვის შენაკადის ხარჯია  $Q_{\text{გად}} = 23,2 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ ; ფშავის არაგვის  $Q_{\text{გად}} = 20,6 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ ; პესისათვის გაედინება  $Q_{\text{გად}} = 9,0 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ . (1) ფორმულის მიხედვით ფოსფორის კონცენტრაციისათვის ვღებულობთ  $C_p = 0,009 \text{ მგ/ლ}$ , ხოლო აზოტის კონცენტრაციისათვის –  $C_N = 1,52 \text{ მგ/ლ}$ .

3. წყალსატევის ევტოფიკაციის დონის პროგნოზირება – ეინვალის წყალსაცავის ევტოფიკაციის 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 გამოსახულია მგ/ლ-ში, ხოლო ქლოროფილის კონცენტრაცია მკგ/ლ-ში. იმ შემთხვევაში,

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

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

(4) ფორმულის მიხედვით  $Cl_{a''}$ -ს კონცენტრაცია ჟინვალის წყალსაცავში შეადგენს 2,31 მგ/მ<sup>3</sup>-ში. ამავე ორგანიზაციის მონაცემებით განისაზღვრა წყლის ხილვადობის სიღრმე, რომელიც წყალსაცავის ევტოფირკაციის მაჩვენებელია:

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

### 3. დასპანა

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

მიღებული შედეგები ემთხვევა „თბოლწყალგეოს“ მიერ ექსპედიციების განმავლობაში 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.: Гидрометеоиздат, 1990.
3. Войнич-Сяноженцкий Т.Г. Гидродинамика устьевых участков рек и взморий бесприливных морей. Л.: Гидрометеоиздат, 1972.

UDC 627.8

## **INTEGRAL FORM OF A HYDRAULIC EQUATION OF A STRATIFIED-DENSITY FLOW, WHEN THE LOWER FLOW IS THE COLLAPSED ROCK MASS INTRUDING INTO THE WATER RESERVOIR UNDER THE ACTION OF SEISMIC FORCES**

**L. Gogeliani**

(Georgian Technical University)

**Abstract:** *In the published fundamental works about hydrodynamic theory of mud streams, avalanches and landslides, the calculation of their characteristics, seismic forces have not been taken into consideration. That is why we additionally introduce the seismic force into the dynamic equation since the crumbling slope is potentially dangerous, because it may be set in motion under the action of a seismic shock of certain intensity and direction.*

**Key words:** *stratified-density flow; mud stream; avalanches; landslides; seismic shock; Coulomb friction; sloping slide surface; collapsed rock stream; phenomenological theories of macroscopic physics.*

### **1. INTRODUCTION**

In fundamental works about hydrodynamic theory of mud streams, avalanches and landslides, seismic forces have not been taken into consideration. We additionally introduce the seismic force into the dynamic equation since the crumbling slope is potentially dangerous, because it may be set in motion under the action of a seismic shock of certain intensity and direction.

### **2. THE BODY OF THE ARTICLE**

In the published fundamental works [1,2], an equivalent approximation of Coulomb friction for the motion of loose granulated media is in fact the expression

$$f_k = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{1 + 2\operatorname{tg}^2 \varphi} \quad (1)$$

since if the loose medium is “frozen” and a mechanical equation is written for the motion of a solid body along the sloping slide surface, then the slide surface slope, as a characteristic of the motive force in the gravitational field will be resisted by the Coulomb friction coefficient, as a value equal to the ratio of friction force to the force of normal reaction of the body weight.

We have

$$f_k = \frac{0,5\operatorname{tg} 2\varphi}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 2\varphi}}, \quad (2)$$

which yields large values for  $f_k$ , more closely agreeing with the tabular values of the Coulomb friction coefficient [3].

In engineering practice, seismic forces are, as known [4], taken into consideration via the dimensionless seismicity coefficient  $k_c$  (that is normalized in [4]. Its product by the weight of the structure, or structural elements, or that part of the rock massif, that is potentially apt to collapse gives the seismic force value, which is to be taken into account in deriving equilibrium equations for investigated bodies, media and the like.

Horizontal seismic forces are usually regarded, as most dangerous in the sense of the loss of the stability of structures, sloping surfaces and so on.

If, for instance, we consider the resistance of some body to the slide along the surface with a slope angle  $\psi$  with respect to the horizon under the action of gravitational and seismic forces (Fig. 1), then a limiting equilibrium equation will be written in the form

$$T + p_c \cos \psi - T' \leq 0, \quad (3)$$

where the principal shearing force preconditioned by the slope is

$$T = G \sin \psi = \rho g w \sin \varphi; \quad (4)$$

is the density;  $w$  is the body volume;  $g = 9.81$  m/s;

the seismic force

$$p_c = k_c G = k_c \rho g v \quad (5)$$

and the principal force resisting to the slide

$$T' = f \left[ N - p_c \cos \left( \frac{\pi}{2} - \psi \right) \right] = f(Np_c \sin \psi), \quad (6)$$

where  $N$  is the normal reaction ( $N=G\cos\psi=gvcos\psi$ ) weakened due to the seismic force component in the direction of the normal  $n-n$ .

According to the stability condition (35), the body in the state of rest may lose its stability, if the following condition is fulfilled

$$gv(\sin\psi + k_c \cos\psi - f \cos\psi + fk_c \sin\psi) > 0, \quad (7)$$

i.e. for

$$\sin\psi (1+k_c f) > \cos\psi (f-k_c), \quad (8)$$

or

$$\operatorname{tg}\psi > \frac{f - k_c}{1 + k_c f}. \quad (9)$$

By (8), the seismicity coefficient, that accounts for the body stability loss on the sloping surface is

$$k_c > \frac{f - \operatorname{tg}\psi}{1 + f \operatorname{tg}\psi}. \quad (10)$$

Thus, if  $f > \operatorname{tg}\psi$ , i.e. the body cannot slide on the sloping plane, because it is in the stable state of rest, then for the body not to lose its stability and start to slide downward the seismicity coefficient value must exceed the right-hand part of (10).

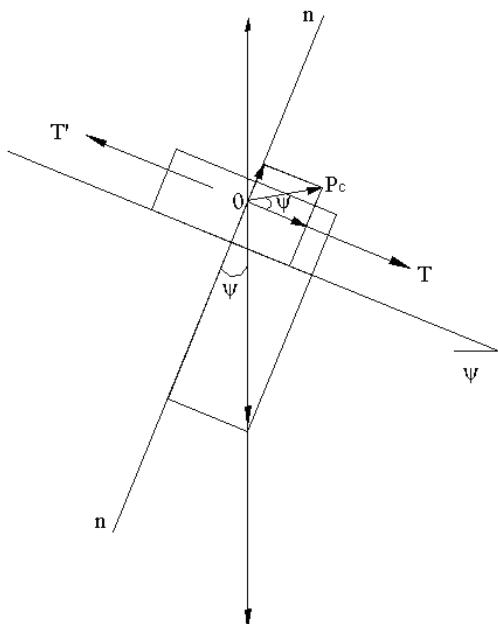


Fig. 1

Condition (7) shows how to take into account the seismic action on the rock motion condition. If we assume, that the Coulomb friction coefficient is the complex value

$$f_k \equiv \frac{f}{1+2f^2},$$

or

$$f_k = \frac{0,5tg2\varphi}{\sqrt{1+tg^22\varphi}},$$

then it is obvious, that the condition of static stability of the rock, with non-plastic property can be written as

$$i_0 = \sin\psi < f \cos\psi, \quad (11)$$

which  $=$  for  $s=1$  and is equivalent to the condition

$$\sin\psi < f_k \cos\psi. \quad (12)$$

The latter expression coincides with (8) for  $k_c = 0$  (the absence of seism).

When the rock stream is subjected to the action of seismic forces, by virtue of (40) the static equilibrium condition will be written as an inequality

$$\sin\psi (1+k_c f_k) < \cos\psi (f_k - k_c). \quad (13)$$

This makes clear the technique, by which the rock motion takes the seismic effect into account. In accordance with the above, the multipliers  $(1+k_c f_k)$  and  $(f_k - k_c)$  are respectively introduced into the slope value  $i_0 = \sin\psi$  and the Coulomb friction value.

Hence, a generalized equation of the dynamics of a rock stream moving along the underwater slope under the action of a horizontal seismic force has the form

$$\begin{aligned} & \times \cos\psi h \frac{\partial h}{\partial x} + h \frac{\partial p_w}{\partial x} - \gamma h [\sin\psi (1+k_c f_k) - (f_k - k_c) \cos\psi] + \tau_0 + \\ & + \rho_w k_f \frac{(v-w)^2}{2} + k \bar{s} \left[ \cos^2 \varphi - \frac{\sin^2 2\varphi}{4(1+\sin^2 \varphi)} \right] = 0. \end{aligned} \quad (14)$$

Written in this form, the equation is applicable for a composite loose medium, whose pores are filled with water containing clayey inclusions and which thus has (in addition to the cohesion  $k$ ) plastic properties, defined by the threshold shearing stress  $\tau_0$ .

In the sequel, the plastic properties ( $k = 0$  and  $\tau_0 = 0$ ) will be neglected, as because of their smallness they do no play any role for the rock stream consisting mainly of broken stone pieces.

Therefore for the intrusion of the rock stream into Lake Sarez or any other water reservoir, equation (14) reduces to

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_t \rho_t wh) + \frac{\partial}{\partial x}(\alpha_0 \bar{\rho} w^2 h) + \beta h \frac{\partial h}{\partial x} + h \frac{\partial p_w}{\partial x} - \gamma I_s h + \rho_w k_f \frac{(v-w)^2}{2} = 0, \quad (15)$$

where there is the multiplier of  $h \frac{\partial h}{\partial x}$  in (46), and  $I_s$  is the effective slope,

$$I_s = \sin\psi (1+k_c f_k) - (f_k - k_c) \cos\psi,$$

here  $s=1$  since the water content in rock pores can be assumed to be negligibly small (in the rock and water mixture volume).

Following the procedure, that T.G. Voinich-Syanozhentski applied to the dam breach problem, when considering the dynamics of mudflows and avalanche-like streams [1], we integrate equation (15) with respect to the longitudinal co-ordinate  $x$  for the whole collapsed rock stream body, keeping in mind, that during the downward motion the rock stream length changes insignificantly, as different from the flow of a visco-plastic fluid, for which the slide condition gives an increase in the longitudinal dimension of its wave body.

We obtain

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \alpha_t \bar{\rho} wh dx - (\alpha_t \bar{\rho} wh)_{\xi_2} \frac{\partial \xi_2}{\partial x} + (\alpha_t \bar{\rho} wh)_{\xi_1} \frac{\partial \xi_1}{\partial t} + \\ & + (\alpha_0 \bar{\rho} w^2 h)_{\xi_2} - (\alpha_0 \bar{\rho} w^2 h)_{\xi_1} + \beta_1 \left( \frac{h^2}{2} \right)_{\xi_2} - \beta_1 \left( \frac{h^2}{2} \right)_{\xi_1} + \\ & + \bar{h} (p_{w_2} - p_{w_1}) - (\gamma - \gamma_h) \bar{I}_s v + \rho_w \frac{k_f}{2} \int_{\xi_1}^{\xi_2} w^2 dx = 0, \end{aligned} \quad (16)$$

where  $v = \int_{\xi_1}^{\xi_2} h dx$  is the wave body volume of the collapsed rock stream).

Since the height of the collapsed rock stream body is zero at the beginning and at the end of its motion,  $h_{\xi_2} = h_{\xi_1} = 0$  and thus vanish in the second to the sixth term inclusive. Then, (16) is written in the simplified form (neglecting the last summand)

$$\frac{d(\tilde{c} v \rho)}{dt} = \bar{I}_s v - h (p_{w_2} - p_{w_1}), \quad (17)$$

where  $\tilde{c}$  is the velocity of the center of the wave body mass volume of the collapsed rock stream intruding into the water reservoir and subjected to the action of the external water medium.

Since, during the intrusion of the wave body of the collapsed rock stream into the water reservoir its lower part moves along the underwater slope and the upper part moves along the dry slope and the coefficient of Coulomb friction against the wetted surface  $f_{kw}$  is always smaller, than that in the absence of wettedness  $f_{ks}(f_{ks} > f_{kw})$ , we must write the separate motion equation for the upper part of the collapsed rock, which moves along the dry slope. It is obvious, that it will be differ from equation (17), only in the absence of the last summand.

Thus, we have two equations

$$\frac{d(\tilde{c}_s v_s \bar{\rho}_s)}{dt} = \gamma_s \bar{I}_s v_s + R_{sw} \quad (18)$$

and

$$\frac{d(\tilde{c}_w v_w \bar{\rho})}{dt} = (\gamma - \gamma_w) \bar{I}_w v_w - R_{ws} - \bar{h}(p_{w_2} - p_{w_1})^1, \quad (19)$$

where  $v_s$  and  $v_w$  are the volumes of the surface and underwater parts of the total volume  $v_0$  of the collapsed rock body,  $\tilde{c}_s$  and  $\tilde{c}_w$  are the mass center velocities corresponding to  $v_s$  and  $v_w$ ,  $R_{sw} = R_{ws}$  are the interaction forces between these two parts of the collapsed rock slide body,  $\bar{I}_s$  and  $\bar{I}_w$  are the “effective” slopes corresponding to the dry and the underwater part of the slide surface.

Let us assume approximately that

$$v_w = v_0 \frac{l_w}{L_s}, \quad (20)$$

where  $L_s$  is the full length of the collapsed rock wave body;  $l_w$  is the longitudinal extension of its underwater part.

Let  $v_s$  be also the volume of that collapsed-rock slide, which at the current moment of time is above the reservoir water level, so that  $v_0 = v_s + v_w$  ( $v_0$  is the total volume of the collapsed rock stream)

---

<sup>1</sup> This form of (19) actually means, that from  $\frac{\partial p_w}{\partial x}$  we have eliminated- the hydrostatic component (contained in the first summand of the right-hand part), while  $p_{w_1}$  and  $p_{w_2}$  are the dynamic components giving respectively the head resistance and the adjoint mass.

If  $p_{w_1}$  corresponds to the water-edge and  $p_{w_2}$  to the front of the wave body of the collapsed rock slide, that has intruded into the water reservoir, then  $p_{w_1} = 0$ , while  $p_{w_2}$  is defined (with regard for the resistance, caused in particular by the non-stationary state of the process) by the well-known hydro-aero-dynamic expression for head resistance

$$p_{w_2} = k_w \rho_w \frac{\bar{c}^2}{2} + \beta \rho_w \frac{d(\tilde{c}v)}{dt}, \quad (21)$$

where  $\beta = \frac{v^*}{v_w}$  is the coefficient of the adjoint mass  $v^*$ , while  $\tilde{c}$  is the reduced average velocity of the transport motion of the collapsed rock slide body, with total mass  $v_0$ .

Summing (18) and (19) with (20) and (21) taken into account, we obtain

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} (\rho_s \bar{c}_s v_s + \bar{\rho} c_w v_w) &\approx \frac{d}{dt} (\bar{\rho}_s \tilde{c} v_0) = \\ &= \gamma_s \bar{I}_s (v_0 - v_w) + (\gamma - \gamma_w) \bar{I}_w v_0 \frac{l_w}{L_s} - \\ &- k_w \rho_w \frac{\tilde{c}^2}{2} \bar{h} \rho_w \beta - \frac{d}{dt} \left( \tilde{c} v_0 \frac{l_w}{L_s} \right), \end{aligned} \quad (22)$$

where

$$\tilde{c} = \frac{l_s c_s v_s + \rho_w c_w v_w}{\bar{\rho}_s v_0}. \quad (23)$$

The equation (22) can be written in a more compact form:

$$\begin{aligned} \left( 1 + \beta \frac{l_w}{L_s} \frac{\rho_w}{\rho_s} \right) \frac{d\tilde{c}}{dt} &= g I_s - g (I_s - \sigma_s I_w) \frac{l_w}{L_s} - \\ &- k_w \rho_w \frac{h_{sm}}{h_s} \frac{l_{sm}}{L_s} \frac{\tilde{c}^2}{2 h_s}, \end{aligned} \quad (24)$$

where  $\sigma_s = 1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}$ .

In [3], an analogous equation for the wave body of the collapsed rock stream, that has intruded into Lake Sarez was obtained using semi-heuristic argumentation and somewhat obscure formulations, as to its macroscopic structure.

An equation derived in (24) has the form

$$\left( 1 + \beta \frac{\rho_w}{\rho_s} \frac{l_w}{l_s} \right) L_s \frac{dv_s^2}{dL_{sw}} = 2 g I_s L_s - 2 g L_s (I_s - G_s I_w) \frac{l_w}{L_s} -$$

$$-\frac{\rho_w}{\rho_s} \left( \beta k_w \frac{l_{sm}}{L_s} \right) v_s^2, \quad (25)$$

where  $v_s \cong \tilde{c}$  (in our notation), while all other symbols coincide completely.

Since  $v_c = \tilde{c} = \frac{dl_w}{dt}$ , we easily observe, that (24) and (25) are practically identical <sup>1</sup>:

$$I_s = \sin\psi_s(1+k_cf_{ks}) - (f_{ks} - k_c)\cos\psi_s; \quad (26)$$

$$I_w = \sin\psi_w(1+k_cf_{kw}) - (f_{kw} - k_c)\cos\psi_w, \quad (27)$$

where  $f_{ks}$  and  $f_{kw}$  are the coefficients of Coulomb friction against the under- and above-water slopes.

In [5], the equation (24) is used, as a design equation due to the initial postulation of a sudden occurrence of constant seismic load within 30 seconds, i.e. it was assumed, that  $k_c > 0$  and it is equal to the constant value 0.1 during this time, upon the lapse of which  $k_c = 0$

This precondition made it possible to estimate a maximal possible distance (range) of the intrusion of the collapsed rock stream into Lake Sarez and, with its aid, a largest possible height of the wave generated in the lake by this intrusion.

However in reality the seismicity coefficient is usually a value close to the periodic attenuation function. In order to take this fact into consideration it is necessary to use the dynamic equation of a landslide intruding into a water reservoir in form (24).

### 3. CONCLUSION

Thus, the procedure of derivation of equation (24) based on a dynamic equation of the mechanics of a composite loose medium with plastic properties, i.e. on general and strict equations of the mechanics of analogous continuous media confirms, that the equation derived in [3] by semi-heuristic arguments has a sufficiently reliable theoretical justification (in the framework of phenomenological theories of macroscopic physics).

### REFERENCES

---

<sup>1</sup> In the equation (24) (in our numeration) which was resistance of the upper surface of the landslide body and which we neglect in deriving (24) because of its smallness.

1. T.G. Voinich-Syanozhentski, N.B. Kereselidze. To the dynamics of Water-saturated Earth in the Limiting State. (Russian) Proc. Acad. Sci. GSSR, 85, no. 2, 1977.
2. T.G. Voinich-Syanozhentski, G.A. Obgadze. Hydrodynamic Theory of Mudstreams, Avalanches and Landslides and the Calculation of their Characteristics. (Russian) Proc. Tbilisi State Univ., 252, Mathematics, Mechanics, Astronomy Series. Tbilisi, 1984.
3. Reference book on hydromechanics. (Russian). VNII VODGEO, Stroyizdat, Moscow, 1955.
4. Hydroengineering structures. Designer's Reference Book. (Russian) Stroyizdat, Moscow, 1983.
5. Prediction of Waves Induced by Landslides in Lake Sarez and their Destructive Effect on the Dam Formed as a Result of these Phenomena and the generation of a break-through wave, its transformation along the bed and action on the Dam Filled with Earth, as a Result of Explosion. To the project of a Complex of Structures for Lowering the Water Level of Lake Sarez. Final report of TbilVODGEO Design Inst., Tbilisi, 1990 and 1991.

შაბ 627.81

## წყალსატევებზი კატასტროზული ფალებების ჯარმოქმნისა და გაზრდებების თეორიული მახასიათებლების შედარება ნატურულ მონაცემებთან

ლ. ლოლელიანი, ე. ხატიაშვილი, ზ. ასგურავა

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** წყალსატევებზი ქანების შექრისას, მათემატიკური ხასიათის სიძლიერების გამო, არსებითია ე.წ. “საანგარიშო მოდელირების” შესრულება. მთის ქანების შექრისას განიხილება მოძრაობა, როდესაც შექრილი მასივი ნაწილობრივ წყალქვეშა. იძულებითი ტალღების პარამეტრების დადგენისას გამოყენებულია ენერგიისა და მასის შენახვის კანონები. წყალსატევის ფერდობებზე იძულებითი ტალღების ზეიროცემის ნაკადის აწევის განხასაზღვრავად გამოყენებულია პიდრავლიკური მიღვობა.

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

**საპანძო სიტყვები:** გენერირებული ტალღები; საანგარიშო მოდელირება; წყალსატევი; ზეიროცემის ნაკადი; მეწყერები; სელური ნაკადი.

### 1. შესაბამი

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 მონტეტოკის ძირში. მთის ქანგბის შეჭრის შედეგად წარმოიქმნა ტალღები, რომელთა ზეირთცემამ ჩრდილოეთის ფერდობზე 260 მ-ს მიაღწია. კაშხალს გადაევლო  $\approx 100$  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 მიულერის მონაცემებთან [1].

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

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

$$V_{s1}^2 = V_{s0}^2 + (A_l - 2A_0V_{s0}^2)\xi - \\ - (2A_0A_l + A_lA_3 + A_2 + A_3V_{s0}^2)\frac{\xi^2}{2} + 2A_0A_2\frac{\xi^3}{6} + A_2A_3\frac{\xi^4}{8}, \quad (1)$$

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.

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

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

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

$\beta$  – მიერთებული მასის კოეფიციენტი;  $\rho_s$  და  $\rho_w$  – მთის ქანების და წყლის სიმკვრივეები.

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

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

$k_c$  – სეისმურობის კოეფიციენტი. ჩვენს შემთხვევაში  $k_c = 0$ ;  $k_w$  – შუბლა პიდროდინამიკური წინააღმდეგის კოეფიციენტი;  $f_s$  და  $f_{sw}$  – კულონის ხახუნის კოეფიციენტები, შესაბამისად იმ ფერდობებისათვის, რომლებიც განლაგებულია წყლის ქვეშ და წყლის ზემოთ;  $\psi_s$  – მთის მასივის სრიალის ზედაპირის დახრის კუთხე (რომელიც მდებარეობს წყლის სარკის ზემოთ),  $\psi_{sw}$  – იგივე, რომელიც მდებარეობს წყალქვეშ;  $\sigma_s = l - \frac{\rho_w}{\rho_s}$ ;  $\lambda_w$  – მთის მასივის წყალთან ხახუნის წრფივი პიდრაგლიკური წინააღმდეგის 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. მიზანმიზნი ნაშროვი

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

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

ვაში, როდესაც წყალსატევში შესრულებული პირობა  $\frac{h}{\lambda} = \varepsilon$  მცირე სიდიდეა (თხელი წყლის ტალღები), გამოყენებული იქნება განტოლებათა სისტემა, სადაც გაითვალისწინება ხახუნის ძალები; დ) ვოინიჩ-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 მიღებობა გამოყენებული ჩვენ შემთხვევაში. ეს მიღებობა 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 სიჩქარე;  $H$  – წყლის სიდრმე;  $k$  – ტალღური რიცხვი,  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ;  $\lambda$  – ტალღის სიგრძე;  $N$  – გარე ენერგიის მოდენის ინტენსიურობა  $x$  დერძის გასწვრივ;  $D$  – ტალღური ენერგიის დისიპაცია.

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

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

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  $V_s$  მეწყრის ტანის მასის ცენტრის სიჩქარეა;  $B_s$  – მეწყრის ფრონტის სიგრძე;  $H_s$  – მეწყრის 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 დანაკარგები გაითვალისწინება შეზიმანინგის პიდრავლიკური დამოკიდებულებით:

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

დასასრულ ზვირთცემის ნაკადის სიმაღლისათვის ვდებულობთ საანგარიშო დამოკიდებულებას:

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

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

### 3. დასპანა

ქვემოთ მოგვავს შესრულებული გაანგარიშების შედეგები და მიულერის მონაცემები, რომლებიც ცხადყოფენ „თბილწყალგეოს“ მეთოდიკის საიმედოობას.

	კაშხალზე (ცენტრში) გადადინებული ტალღის სიმაღლე $h \text{ მ}$	კაშხალზე (მარჯვენა კიდეში) გადადინებული ტალღის სიმაღლე $h \text{ მ}$	წყალსაცავის ფერდზე (სოფ-კასოსთან) ზვირთცემის ტალღის ასვლის სიმაღლე, $h \text{ მ}$	წყალსაცავში შეჭრილი მთის მასივის მაქსიმალური ნიშნული, $h \text{ მ}$
ნატურული მონაცემები	90	100	200	120
გაანგარიშების შედეგები	82.5	133	213	107
განსხვავება	9%	33 %	6.5 %	12 %

### ლიტერატურა

1. Войнич-Сяноженцкий Т.Г. Критерий подобия и моделирования движения влекомых на- носов // X конгресс МАГИ. Баден-Баден, ФРГ, 1977 г.
2. Маскалев Ю. Д. Возникновение и движение лавин. Л.: Гидрометеоиздат, 1966 г.
3. Мюллнер 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. Федиаевский К.К. и др. Гидромеханика. Л.: Судостроение, 1968 г.

შაგ 626.823.93

## მდინარეებში ტრანზიტული ნაკადის მოძრაობის განვითარება

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

**რეზიუმე:** განხილულია ზედაპირული და კალაპოტის შემაღვევები გრუნტის ნაკადის მოძრაობა. დადგენილია ინდუცირებული დინების ზეგავლენა ზედაპირული ნაკადის პიდრავლიკურ მახასიათებლებზე. მიღებულია დამოკიდებულება კალაპოტის გამტარუნარიანობის ინტეგრაციული მახასიათებლების გამოხატვლებით.

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

### 1. შესავალი

ბუნებაში მდინარეების დიდი ნაწილი მიედინება წყალუონგად კალაპოტებში და ტრანზიტული ნაკადის მოძრაობისას ადგილი აქვს კალაპოტქვეშა დინებას. ამ შემთხვევაში მოსალოდნელია ძირითადი ნაკადის და კალაპოტქვეშა ზედაპირულ შრეში ინდუცირებული დინების ურთიერთზემოქმედება, რომლის დროსაც კინებიკური 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  $q_\Delta$  არის ნაკადის კუთრი ხარჯი კალაპოტქვეშა ზედაპირულ შრეში ერთეულ სიგანეზე;  $U_\vartheta$  – გრძივი ფილტრაციული სიჩქარე.

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

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

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 საზღვრო პირობით:

$$U_\Delta(Z) = U_\vartheta, \quad (5)$$

როცა  $Z=0$

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

სადაც  $U$  არის ძირითადი ნაკადის დინების სიჩქარე;  $U_\vartheta$  – სიჩქარე, როდესაც  $Z=0$ .

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

ძირითად ნაკადში სიჩქარის განაწილება ვერტიკალზე შეიძლება აღწერილი 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

$$\widetilde{C}_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\varepsilon} \left[ U_f + (\alpha + 1) \bar{U} \left( \frac{0.5d}{h} \right)^{\alpha-1} \cdot \left( \frac{0.5d}{h} + \frac{\alpha\sqrt{\varepsilon}}{h} \right) \right]; \quad (9)$$

$$\tilde{C}_2 = \frac{1}{2} \sqrt{\varepsilon} \left[ U_f - (\alpha + 1) \bar{U} \left( \frac{0.5d}{h} \right)^{\alpha-1} \cdot \left( \frac{0.5d}{h} - \frac{\alpha\sqrt{\varepsilon}}{h} \right) \right]. \quad (10)$$

საბოლოოდ

$$U_{\Delta}(Z) = \frac{1}{2} \left\{ \left[ U_3 + A \left( \frac{0,5d}{h} + \frac{\alpha \sqrt{\varepsilon}}{h} \right) \cdot \exp^{(Z/\sqrt{\varepsilon})} \right] + \right. \\ \left. + \left[ U_f - A \left( \frac{0,5d}{h} - \frac{\alpha \sqrt{\varepsilon}}{h} \right) \cdot \exp^{(-Z/\sqrt{\varepsilon})} \right] \right\} - U_f, \quad (11)$$

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

როდესაც  $Z = -\Delta$ , ინდუცირებული დინების სიჩქარე პალაპოტქვეშა შრეში გვლია:  $U_{\Delta}(Z) = U_{\mathcal{G}}$ .

კალაპოტის შრის სისქის შეფასებისას გამოიყენება ფორმულა (11), რომლის გარდაქმნის შედეგად: როდესაც  $Z = -\Delta$ , დინების სიჩქარე კალაპოტქვეშა ზედაპირულ შრეში  $U_{\Delta}(Z) = U_{\frac{\Delta}{2}}$  განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$4U_3 = \left[ U_3 + A \left( \frac{0,5d}{h} + \frac{\alpha\sqrt{\varepsilon}}{h} \right) \right] \cdot \exp^{(\Delta/\sqrt{\varepsilon})} + \\ + \left[ U_f - A \left( \frac{0,5d}{h} - \frac{\alpha\sqrt{\varepsilon}}{h} \right) \right] \cdot \exp^{(-\Delta/\sqrt{\varepsilon})}. \quad (12)$$

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

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

(13) ვორმელა ამოვხსნათ  $\Delta$ -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 წყალუონვადი 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

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

(16) დამოკიდებულება წყალუონვადი 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 წყალუონვადობას თუ აქვს განზომილება, მაშინ

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

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

როგორც კვლევამ გვიჩვენა, გრუნტის წყალუონვადობა 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 შემოვიდებთ დისიპაციური სიჩქარის ცნებას, მაშინ

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

სადაც  $\kappa$  არის ემპირიული კოეფიციენტი.

ამ კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის ვისარგებლოთ ექსპერიმენტებში მიღებული მონაცემებით, რომლის მიხედვით

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

სადაც  $\Delta, \alpha, U_{\text{fs}}$  და  $U_{\text{f}}$  პარამეტრები განისაზღვრება (16) და (21) ფორმულების გამოყენებით.

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

განვიხილოთ ძირითადი ნაკადისა და ფილტრაციული დინების ურთიერთზომოქმედების გავლენა კალაპოტში ნაკადის პიდრავლიკურ პარამეტრებზე. ეს შეიძლება განხორციელდეს რეინოლდსის რიცხვის ანალოგიური პარამეტრის შემოდგბით. საერთოდ, რეინოლდსის რიცხვი შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს, როგორც ნაკადის ტურბულენტური ენერგიის შეფარდება ფილტრაციული დინების დისიპაციურ ენერგიასთან, ე.ო.

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

ფილტრაციის გათვალისწინებით, მივიღებთ:

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

$Re_f$  პარამეტერს აქვს პრაქტიკულად იგივე ფიზიკური აზრი, როგორც (23) დამოკიდებულებას, ე.ო. იგი წარმოდგენს ტურბულენტური ენერგიის შეფარდებას დისიპაციურ ენერგიასთან. ამასთან, სიჩქარის სიდიდე  $\bar{U}_\Delta$  განისაზღვრება (11) და მოკიდებულებით, როგორც ინდუცირებული 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 კვადრატო 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  $Re_\eta \approx 10^4$ , აგრეთვე  $\bar{U}_\Delta=0$  აზრს კარგავს.

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

### 3. დასპანა

წყალუონგად კალაპოტებში, კალაპოტშარმომქმნელი პროცესების დარღვევლი-რების დროს, თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის მონაცემების ანალიზის საფუძველზე მიღებული საანგარიშო (25) და (26) დამოკიდებულებების პრაქტიკული რეალიზაცია მნიშვნელოვნად დაეხმარება საპროექტო და სამშენებლო ორგანიზაციებს წყალსამურნეო 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 theoretical study on the resistance law of the flow over a porous layer. Proc. JSCE. 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 л.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.

შაბ 626.823.93

## პალაკოტური პროცესების თავისებულება

ლ. კლიმიაშვილი, დ. გუბელაძე, ი. ყრუაშვილი დ. გურგენიძე  
(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

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

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

**საკვანძო სიტყვები:** პიდრავლიკური წინააღმდეგობა; წყალურნებადი კალაპოტი; ფილტრაციული დინება; დისიპარიული ენერგია.

### 1. შესაბამის

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.

პიდროდინამიკური პროცესების გამოკვლევა უშუალოდ სასახლვრო 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 მიგვაწია კალაპოტწარმომქნელი 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 მდგბარე 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 არაგამრეცხი სიჩქარეს შემდეგი სახით:

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

$\lambda_0$  არის პიდრავლიკური წინაღობის კოეფიციენტი, რომელიც შეესაბამება ნაწილაკის დაძვრის პირობას და განისაზღვრება ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე შემდეგი დამოკიდებულებით:

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

(2) დამოკიდებულებაში შემავალი პარამეტრები  $\Delta, \varepsilon, Re_g$  გამოითვლება

შემდეგი სახით:

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

სადაც  $U_{gk}$  არის ფსკერული სიჩქარე  $0,5d$  ნაწილაკის პორიზონტზე;  $U_g$  – ფილტრაციული დინების სიჩქარე.

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

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

სადაც  $\bar{U}_\Delta$  არის კალაპოტქვეშა ზედაპირული დინების საშუალო სიჩქარე  $\Delta$  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 პიდრავლიკური წინაღობის კოეფიციენტი განისაზღვრება შემდეგი თანაფარდობით:

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

სადაც  $\lambda$  არის პიდრავლიკური წინაღობის ინტეგრალური კოეფიციენტი;  $y$  – მანძილი მდინარის ნაპირიდან განსახილვება აერტიკალამდევ;  $K$  – შემასწორებელი კოეფიციენტი.

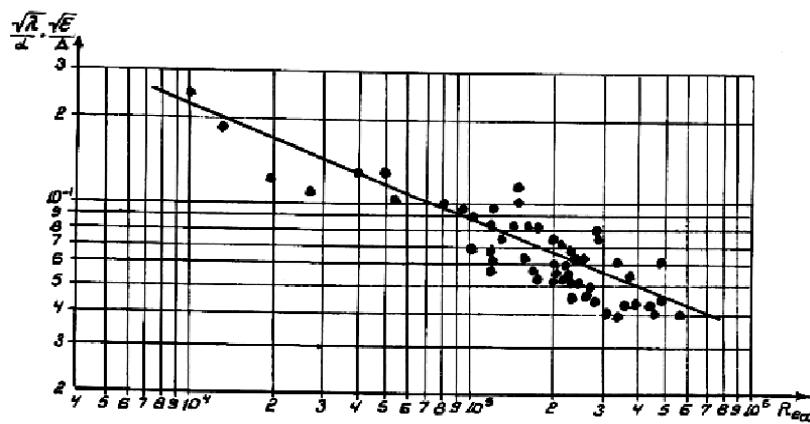
$$K = \frac{B}{\int_0^B \sqrt{\frac{h(y)}{R(y)}} dy}, \quad (9)$$

სადაც  $K$  არის ჰიდროგლიკური წინაღობის ლოკალური კოეფიციენტი.

ამრიგად, თუ განვსაზღვრავთ (8) ფორმულით ჰიდროგლიკური 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

$\text{Re}_g$  შორის

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

### 3. დასპეციალური მდგრადობის შედეგების აზრები

ექსპერიმენტული კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ მდინარის ნაკადის მდგრადობის საკითხი წყალურნობად კალაპოტში ინდუცირებული დინებისა და ჰიდროგლიკური 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  $U_s$  სიდიდეები, განვსაზღვრავთ ნაკადის  $U_s$  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 theoretical study on the resistance law of the flow over a porous layer. Proc. JSCE. 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 л. 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 разноуровневыми дренами и технология водорегулирования осушаемых земель. Получены зависимости суммарного стока с традиционных дрен (уложенных на однаковую глубину) и дренажных модулей с разноуровневым подключением регулирующих дрен 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 – увлажнятельных) 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 – увлажнятельных 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 само-регулирующими 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 разделенный 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 быстрейшего внедрения в производство.

## 2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Многолетний опыт эксплуатации осушительных и осушительно-увлажнительных систем показывает, что на мелиорируемых землях не всегда удается создавать оптимальный водоно-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.

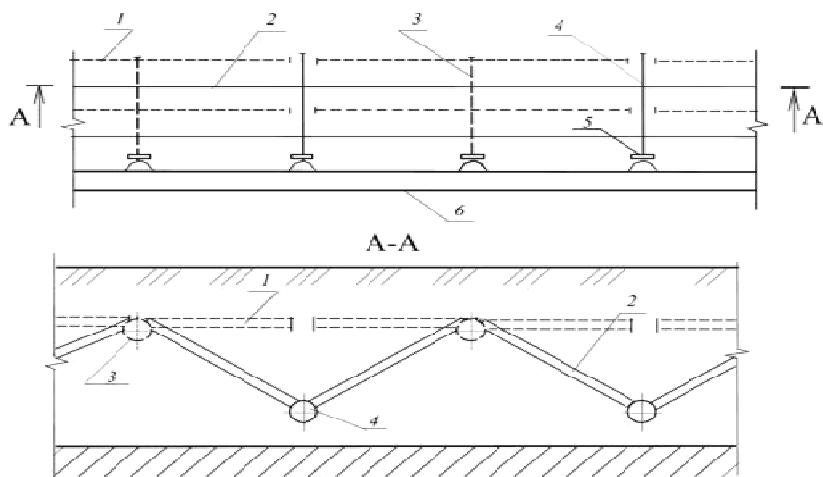
Чтобы отвечать современным требованиям, предъявляемым к регулированию водоно-воздушного режима почв, одним из путей совершенствования гидромелиоративных систем является улучшение технологии водорегулирования и выполнения других новых функций. В нашем университете этими вопросами, в разное время, занимались: 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-аккумулирующие 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  $\Delta h=0$ ,  $\Delta h=0,2\text{м}$ ,  $\Delta h=0,4\text{м}$  и  $\Delta h=0,6\text{м}$  приведены на рис. 2.

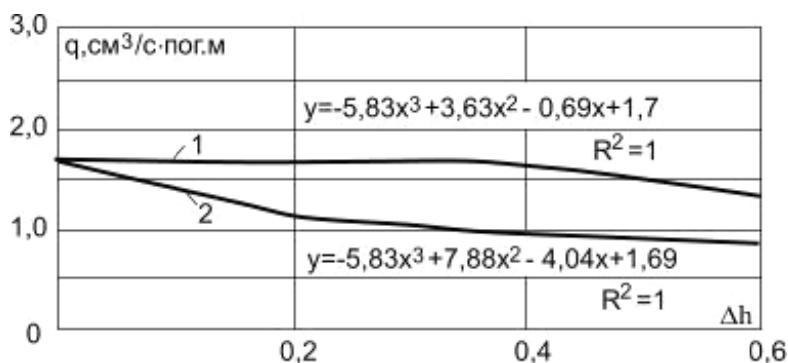


Рис. 2. График стока с глубокой (1) и мелкой (2) дренами при  $\Delta h = 0$ ,  
 $\Delta h = 0,2\text{м}$ ,  $\Delta h = 0,4\text{м}$  і  $\Delta h = 0,6\text{м}$  (см. схему рис.1)

Приведенные данные свидетельствуют о том, что разница стока между мелкой и глубокой дренами, обусловленная разницей глубин  $\Delta h$ - 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 дреной существенно отличается от стока с мелкой дреной (при  $\Delta t = 0,2\text{ м}$  - 18%;  $\Delta t = 0,4\text{ м}$  – 30%;  $\Delta t = 0,6\text{ м}$  – 24%, что в среднем составляет 24%), поэтому понятно, что на сток с дрен влияют условия перепада  $\Delta h$  между глубинами укладки мелкой и глубокой дрен. А по мере увеличения разницы глубин укладки  $\Delta h$ , общий суммарный сток дренажного модуля уменьшается, но это уменьшение стока не перевышает 23,4% (при  $\Delta h=0,4\text{м}$ ), 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 дреной уменьшается, а также имеет место тенденция к формированию экстремума при разнице глубин 0,4 м между дренами.

В результате сравнительного анализа работы традиционных дрен и дренажных модулей (рис.1) видно, что в зависимости от величины  $\Delta h$  (с увеличением  $\Delta h$ , рис.3) дренажный модуль существенно аккумулирует грунтовую воду в пределах  $\Delta h$  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 дрен, 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 дрен 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).

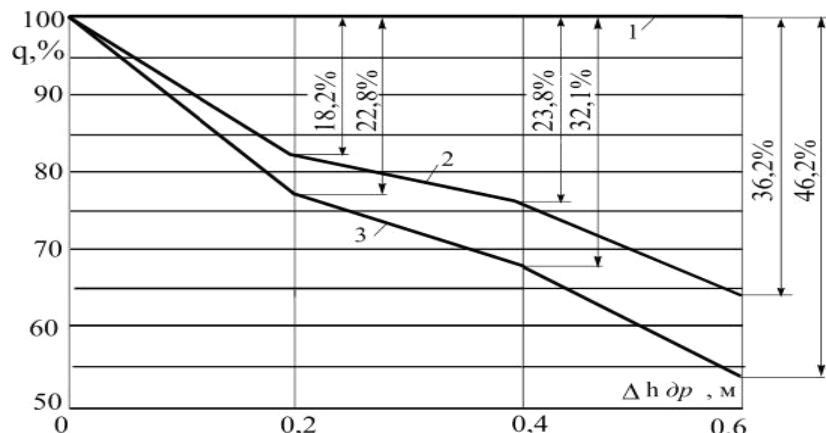
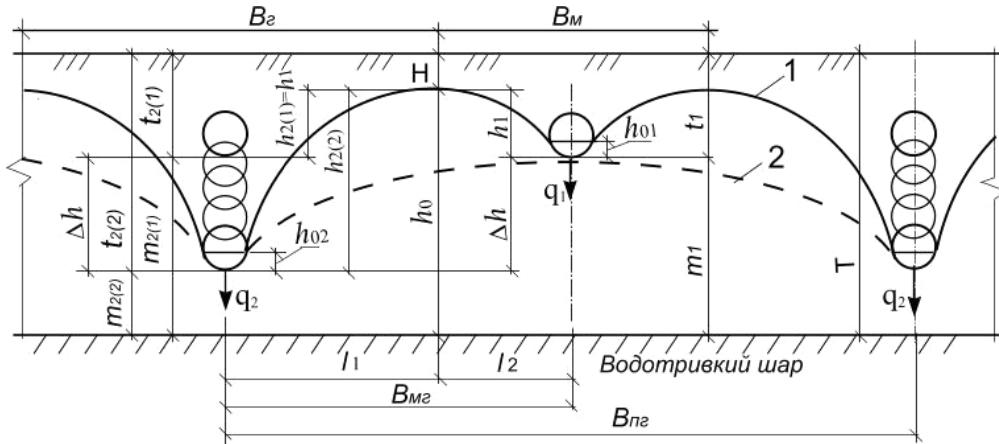


Рис. 3. График суммарного стока ( $q$ ) от перепада  $\Delta h$  между глубинами укладки мелкой и глубокой дрен  $q = f(\Delta h)$ : 1 - для традиционных дрен (уложенных на одинаковую глубину);  
 2 - дрен дренажного модуля с параллельно уложенными мелкой и глубокой дренами;  
 3 - дрен дренажного модуля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



**Рис. 4. Схема для расчета расстояния между дренами регулирующего дренажного модуля с разноуровневым подключением регулирующих дрен: 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 дрен позволили нам получить, в соответствии с расчетной схемой, зависимость (1) для расчета расстояний  $B_{mz}$  между материальными (несовершенными) глубокой и мелкой дренами (см. рис.4).

$$B_{mz} = \frac{2\pi k_f}{\ln \frac{Bo}{d} + \eta \Phi_i - 1} \sqrt{\frac{1}{q_2} \left( 1 + \frac{m_2^2 + \Delta h_{pozr}^2}{h_0^2} \right) + \frac{1}{q_1} \left( 1 + \frac{m_1^2}{h_0^2} \right)}, \quad (1)$$

где  $B_{mz}$  - расстояние между материальными (несовершенными) глубокой и мелкой дренами (определяется с учетом типа водного питания на осушенному массиве), м;  $d$  - диаметр дрены, м;  $\eta$  - коэффициент защиты дрен фильтрующим материалом,  $\eta = 0,9$ ;  $h_0$  - максимальный уровень грунтовых вод между дренами (см. рис.4), м;  $k_f$  - коэффициент фильтрации грунта, м/сут.;  $\Delta h_{pozr}$  - усредненная разница напоров между глубокой и мелкой дренами (перепада между устьевой и истоковой глубинами укладки глубокой дрены), м;  $m_1$  - мощность водоносного слоя под мелкой дреной, м;  $m_2$  - мощность водоносного слоя под глубокой дреной, м;  $q_1, q_2$  - интенсивность притока воды к дренам, соответственно к глубокой и мелкой, м/сут.;  $\Phi_i$  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  $\Phi_0$ , в зависимости от конструкции дрен, в соответствии [10]**

Тип дрены, характеристика фильтра и условия его укладки	Фильтрационные сопротивления по характеру вскрытия водоносного слоя $\Phi_0$
Керамические трубы без фильтра	8
Керамические трубы с обверткой стыков рулонными защитно – фильтрующими материалами	3
Керамические трубы со сплошной обверткой	1
Гофрированные пластмассовые трубы без фильтра	4
То же, с обверткой 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:

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

Коэффициенты  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  зависят от разницы глубин  $\Delta h$  - укладки в грунт мелкой и глубокой дрен (учитывают несовершенство дрены по степени вскрытия водоносного слоя), и связаны между собой соотношением

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

Коэффициент  $\alpha_1$  установлен опытным путем для различных значений перепада  $\Delta h$  между мелкой и глубокой дренами, параллельно расположеннымными в плане и по высоте (табл. 2).

Таблица 2

**Значение коэффициентов  $\alpha_1$  при различных перепадах  $\Delta h$**

Перепад между дренами $\Delta h, м$	0,2	0,4	0,6
Коэффициент $q$	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 дрен. 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  $\alpha$  - коэффициент, учитывающий часть атмосферных осадков, которые поступили на подпитку грунтовых вод;

$P$  - сумма осадков,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;

$E$  - суммарное испарение за расчетный период,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;

$\Delta W$  - продуктивный запас влаги на начало расчетного периода,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложенный способ регулирования водного режима почв дренажными модулями с разноуровневым подключением регулирующих дрен объединяет известные традиционные способы регулирования водного режима – осушение и шлюзование (предупредительное и увлажняющее) 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 дрену, подключенную одновременно до мелкого и глубокого коллекторов, сток из нее уменьшается к объему, равному объему с мелкой дреной, что позволяет уменьшать сток с дрен, особенно в летний период, и в большей степени

аккумулировать грунтовые воды в корнеобитаемом слое, и равномерно, в течение вегетационного периода, обеспечивать сельскохозяйственные культуры водой.

3. Сток  $q$  с глубокой дрены, подключенной одновременно к мелкому и глубокому коллекторам, изменяется по длине глубокой дрены (от истока до устья), в зависимости от напора  $H$ , от 0,62 до 0,02 м / сутки, что позволяет в более продолжительные сроки в вегетационный период обеспечивать культуры грунтовой водой.

4. При совместной работе дрен глубокого и мелкого вложения, на сток с мелкой дрены влияет глубокая дрена и чем больший напор будет в устье глубокого дрена, тем меньший сток наблюдается с мелкой дрены, и наоборот.

5. На основе данных исследований дренажных модулей можем утверждать, что дренажные модули - более совершенные способы именно для регулирования водного режима почв, и это требует дальнейших исследований их гидрологического действия.

6. Результаты исследований позволяют предлагать производству для регулирования водного режима почв дренажно - модульные системы с разноуровневым подключением регулирующих дрен; проектировать дренажные модули с глубоких и мелких дрен с параметрами: 1) минимальная глубина укладки мелких дрен  $t=0,7$ м (но не менее чем по ДБН В2.4-1-99); 2) рекомендованная глубина укладки глубоких дрен в пределах  $t=1,2\dots1,5$ м; 3) перепад глубин между мелкой и глубокой дренами, что исследовались в пределах  $\Delta h=0,2\dots0,6$ м.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов С.Ф. Борьба с засолением орошаемых земель. - М.: Колос, 1978 . - 288 с.
2. Маслов Б.С., Станкевич В.С., Черненок В.Я. Осушительно - увлажнительные системы. - Москва: Колос, 1980. - 279 с.
3. Мурашко А.И. Горизонтальный пластмассовый дренаж. - Мин.: Урожай, 1973. - 208с.
- 4 . Олейник А.Я. Геогидродинамика дренажа. Киев : Наукова думка, 1981. - 283с.
5. Поляков В. Л. Расчет совместного действия двух дренажных систем. - В сб.: Гидравлика и гидромеханика, Киев: Техника, 1997, вып. 58, с.78 -84.
6. Климков В.Т. Совершенствование конструкций мелиоративных систем на основе полимерных материалов. Автореферат дисс. на соиск. уч. степени д.т.н. Минск, 1996. - 33 с.
7. Ткачук Н.Н. Анализ методик расчета расстояний между разноглубокими дренами для проектирования дренажно - модульных систем // Вестник НУВХП. Сб. науч. трудов. Вып. 3 (43). Ровно, 2008, с.112 -124.

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 Е02В 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. Камкадзе, 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 pH 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  $25^\circ\text{C}$  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 pH раствора [1, 3, 8]. По определению

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

На рис. 1 кислотность раствора выражена через pH раствора.

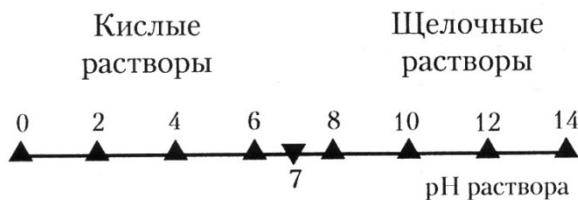


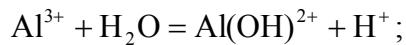
Рис. 1. Шкала значений pH

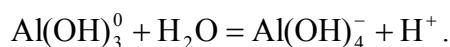
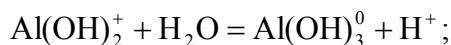
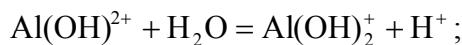
Целью настоящей работы является прогноз поведения алюминия и кальция в водных растворах путем расчета форм нахождения данных элементов в природных водах при определенных значениях pH раствора и последующий анализ состава раствора при изменении этого параметра.

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 ( $\Delta G_{298}^0$ ) в ходе реакции [3, 8, 11]. Исходные термодинамические данные ( $\Delta H_{298}^0$  и  $S_{298}^0$ ), необходимые для расчета  $\Delta G_{298}^0$ , взяты из [8, 12].

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

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

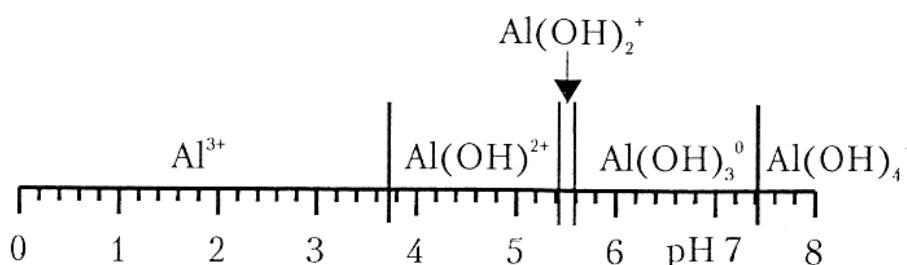


Рис. 2. Формы нахождения алюминия в растворе в зависимости от  $pH$  среды

### 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  $25^{\circ}\text{C}$ .

**Результаты расчетов форм нахождения  
кальция в растворе**

pH	pH 3	pH 7	pH 12
$\text{Ca}^{2+}$	4,36	4,15	5,48
$\text{Ca(OH)}^+$	9,85	5,65	6,33
$\text{Ca(HCO}_3^{\text{+}}$	7,19	7,34	3,66
$\text{CaCO}_3^0$	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. Калибабчук 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. о. Әңәрдәбілзін. Қоғызыңғары қодоюы һағылымдарда. әбділдік: Әңжебілзін үбіззет-індер, 2010. – 308 ғз.

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>.

## შაბ 621.1: 621.6

### თბილისი მეცნიერებების უნივერსიტეტის თერმოძინამიკური ფიზიკის ანალიზი

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

**რეზიუმე:** გაანალიზებულია თბილისი უნივერსიტეტის მეცნიერებების ფაკულტეტის თერმოძინამიკური კურსი. მიღებულია მარგი ქმედების კოეფიციენტის საანგარიშო განტოლება. დამუშავებულია კურსის რიცხვითი მოდელი, რომელიც საშუალებას იძლევა განვხავდებოდა კურსის პარამეტრები სხვადასხვა საწყისი პირობებისათვის. მოყვანილია მოდელირების შედეგები.

**საკვანძო სიტყვები:** ტერმინები: ტერმინები; მეცნიერებები; კურსი; მარგი; ქმედების კოენციენტი.

#### 1. შესავალი

ენერგიის განახლებადი წყაროების, მაგალითად, ბრტყელი ჰელიოელექტორის სითბოს ან დაბალი ტემპერატურული პოტენციალის სხვა ტიპის იაფი ან ნარჩენი სითბოს ბაზაზე წყლის სატუმბი მოწყობილობის შექმნა აქტუალური ამოცანა. ბოლო ათწლეულში ამ ამოცანის პოტენციურად ეფექტური გადაწყვეტის კონტექსტში დამმუშავებელთა ყურადღება თხევადდგუშიანმა თბილისის მეცნიერებულმა ტუმბომ (თამათ) მიიპყრო [1-4].

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

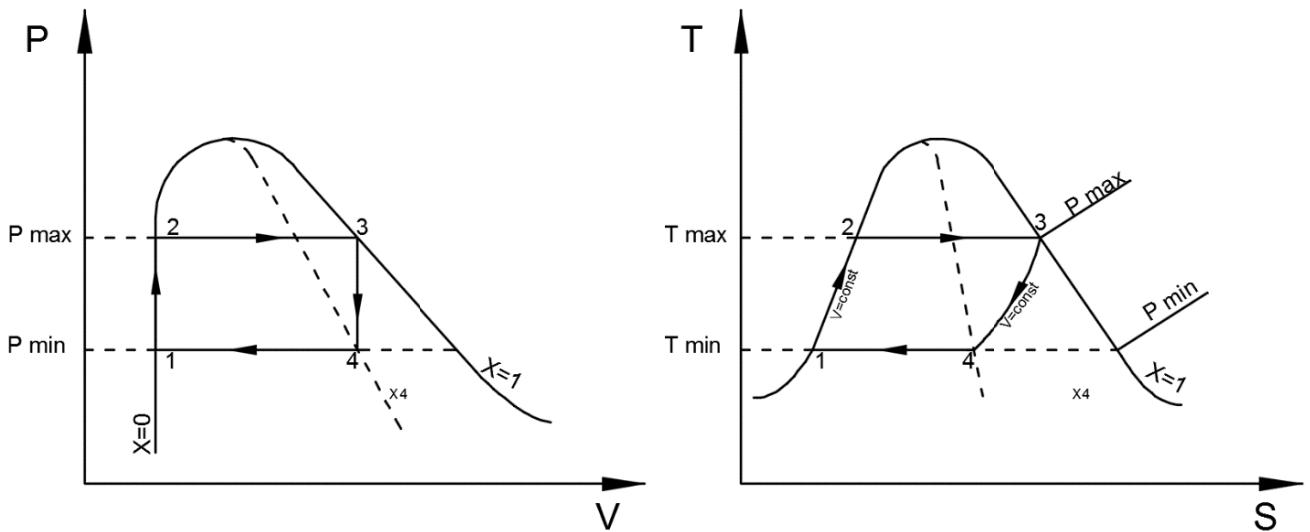
ქვემოთ წარმოდგენილია თამტ-ს დაზუსტებული თერმოდინამიკური ციკლის ანალიზი, მარგი ქმედების კოეფიციენტის (მშპ) საანგარიშო განტოლება და კომპიუტერული მოდელირების შედეგები.

## 2. მირითადი ნაშილი

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



ნახ.1. თამტ-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 იდება. ითვლება, რომ პროცესის ბოლოს ორთქლი გარკვეული ტენიანობით ხასიათდება. პროცესი ადიაბატურად მიიჩნევა, რაც მიუთითებს გამშრალი გახურების ზედაპირიდან სითბოს მოდენის უმნიშვნელო როლზე საერთო თბურ ბალანსში.

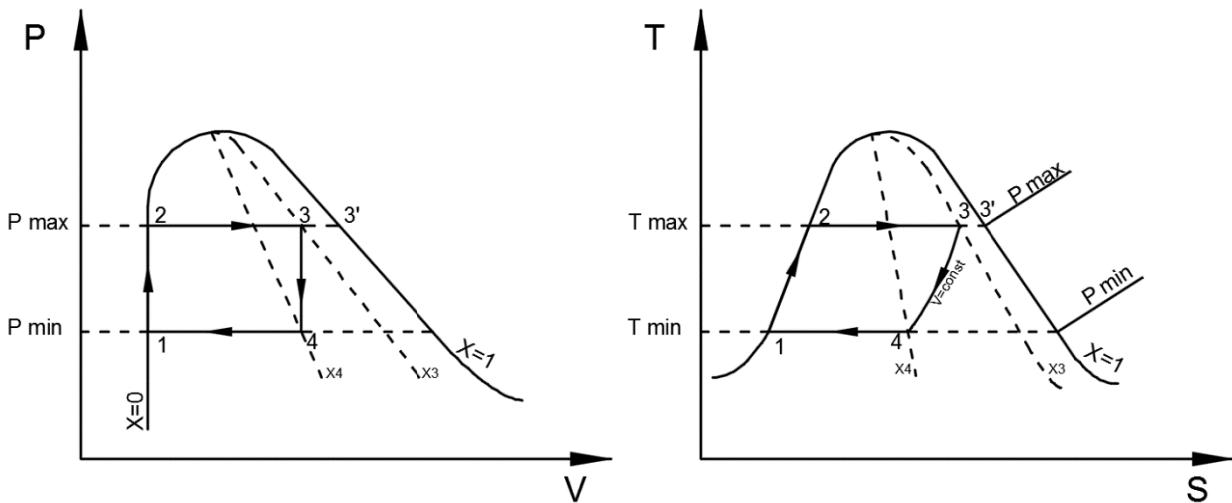
4-1 პროცესში ხდება მუშა სხეულის ორთქლის სრული კონდენსაცია სითბოს იზობარულ-იზოთერმული ართმევით  $P_{min}$ -ის პირობებში. გამშრალი გახურების ზედაპირიდან სითბოს მოდენის როლს ამ შემთხვევაშიც უგულებელგვოფთ. კონდენსაციის შედეგად თხევადი დგუში გახურების ზედაპირისაკენ გადაადგილდება, მიდის სითხის შეწვა შემწოვი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

ეჯახება გახურების ზედაპირს, ციკლი სრულდება და სისტემა კვლავ ზემოთ აღწერილ საწყის მდგომარეობაში აღმოჩნდება. სამუშაოში [1] ჩატარებული ანალიზის თანახმად, თამტ-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 თამტ-ს რეალური თერმოდინამიკური ციკლი გახურების ზედაპირზე გენერირებული ორთქლის ნაწილის დაჭირების სტადიის დამთავრებამდე ანუ გაფართოების მუშაობის შესრულების გარეშე კონდენსაციის გათვალისწინებით. თუ დაჭირების სტადია შედარებით ხანმოკლეა, ასეთი “პარაზიტული” კონდენსაციის გავლენა მინიმალურია, თუმცა გაანალიზებას მოითხოვს.



ნახ. 2. თამტ-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, თამტ-ს რეალური თერმოდინამიკული ციკლის მშვევიციენტი, 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 ციკლის სითხის დგუშის დაჯახების შემდგომ განვითარებული თერმოპიდროდინამიკური 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 მყოფი 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 ციკლის 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.

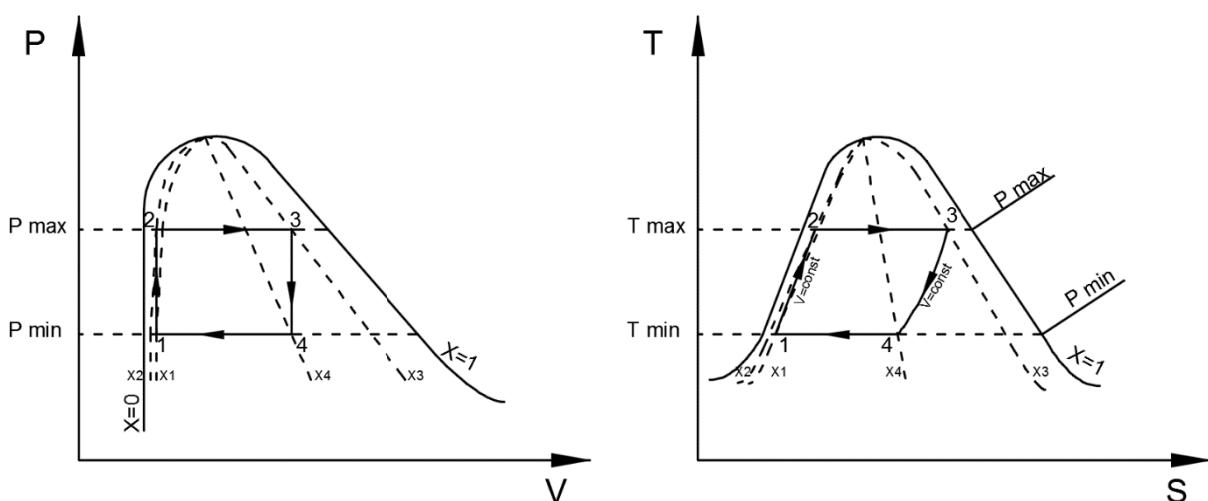
ამასთან ერთად, 1-2 პროცესში წნევაც იზრდება, რაც ზრდის ორთქლის სიმკვრივეს მიკრობუშტებში. ე.ი. 1-2 პროცესში ერთდროულად იზრდება მიკრობუშტების საერთო მასა და სიმკვრივე.

მოყვანილი მნიშვნელოვანი გარემოებები საშუალებას გვაძლევს პირველ მიახლოებაში სითხის სასაზღვრო ფენაში დავუშვათ 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, ოდონდ 100%-ზე ნაკლები ტენიანობით (ტენიანობა მასური პარამეტრია), რომელიც თანდათან მცირდება 1 წერტილიდან 2 წერტილამდე.

უნდა აღინიშნოს, რომ ზოგადად თხევადდგუშიან ორთქლის ძრავაში თერმოდინამიკური ციკლი ვრცელდება მხოლოდ დგუშის 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.

თამტ-ს დაზუსტებული რეალური თერმოდინამიკული ციკლი მოყვანილია მე-3 ნახაზზე.



ნახ. 3. თამტ-ს პულსაციური საენის დაზუსტებული რეალური თერმოდინამიკური ციკლი  $P$ - $V$  და  $T$ - $S$  კოორდინატებში

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

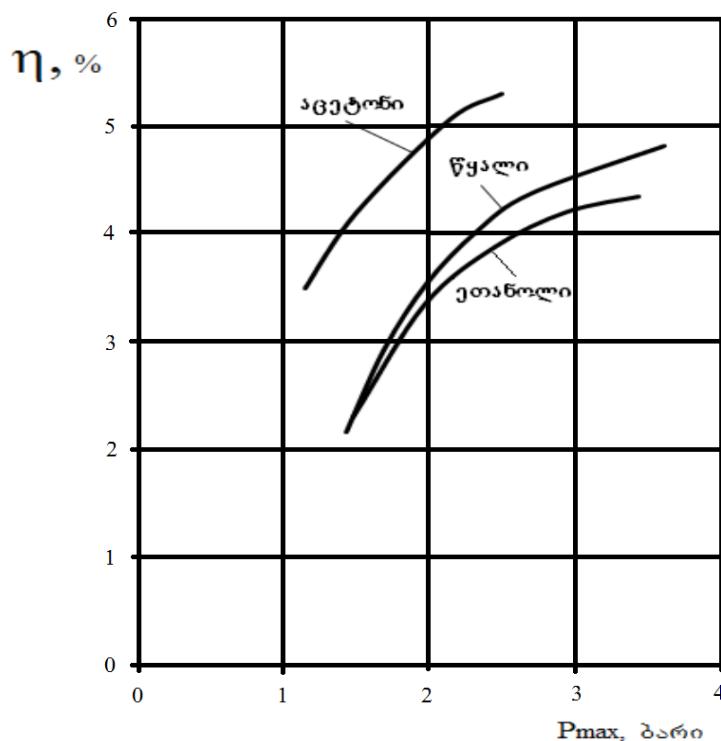
ამასთან, დაზუსტებული რეალური თერმოდინამიკური ციკლის ანალიზის შედეგად მიღებულია შემდეგი მიახლოებითი განტოლება ციკლის მქ კოეფიციენტისათვის:

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

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 კუთრი მოცულობა ციკლის მაქსიმალურ და მინიმალურ წნევებზე;  $v''_{Pmax}$  და  $v''_{Pmin}$  – მუშა სითხის მშრალი ნაჯერი ორთქლის კუთრი მოცულობა ციკლის მაქსიმალურ და მინიმალურ წნევებზე;  $\Delta P$  – 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 ამავდროულად მუშა სხეულის სიმშრალის ხარისხი 3 წერტილში (ნახ. 3) იქნება ერთის ტოლი, მაშინ (3) გამოსახულება გარდაიქმნება თამტ-ს იდეალიზებული თერმოდინამიკული ციკლის მქ კოეფიციენტის გამოსათვლელ თამტ-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. დასტვა

თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს (01ამტ) 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

- 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. Niyyama, 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. Shekrladze, E. Machavariani, J. Rusishvili, D. Shekrladze, 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. Shekrladze, E. Machavariani, G. Gigineishvili, J. Rusishvili, D. Shekrladze, 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. Shekrladze, E. Machavariani, G. Gigineishvili, J. Rusishvili, D. Shekrladze, 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 21<sup>st</sup> Century. Tbilisi, Georgia, September 19-21, 2012. v.1, pp. 190-197.

**შაბ 621.1: 621.6**

**თბილისი მეცნიერებების  
უნივერსიტეტის  
მოდელის შექმნა და თერმოჰიდროლინგიზმი  
პროცესების გამოპოვება**

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

**რეზიუმე:** შექმნილია თბილისი მეცნიერებების უნივერსიტეტის მოდელის გენერირების მოდელი. გამოკვლეულია გახურების ზედაპირის გენერატორის პულსაციისა და თხევადი დგუშის გამოდევნის ამპლიტუდები და ურთიერთკორელაცია. გამოკვლეულია აგრეთვე დამოკიდებულება მარგი ქმედების კოეფიციენტსა და დაწევას მორის. დასახულია ტუმბოს შემდგომი დახმარების გზები.

**საკვანძო სიტყვები:** ტუმბო; მეცნიერებები; თერმოჰიდროლინგიზმი; 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], სატუმბი პელიოდისტემების უმრავლესობაში გამოყენების თვალსაზრისით უპირატესობას ფოტოელექტრული ენერგიის წყაროს ბაზაზე მომუშავე ელექტროტუმბომ მიაღწია. მიუხედავად ამისა, ეკონომიკურად მომგებიან ნიშას ბრტყელი პელიოდულექტორის დაბალი ტემპერატურული პოტენციალის სითბოზე მომუშავე ტუმბოც ინარჩუნებს. ამასთან, რამდენადაც ასეთი ტუმბო არასაკმარისადაა გამოკვლეული, მას დახვეწისა და მარგი ქმედების კოეფიციენტის (მქპ) 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 შეაღედური 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], ნაჩვენები იყო მოქმედების პრინციპის ქმედითობა, გადაწყვდა ტუმბოს თვითგაშვების პრობლემა და მიღწეულ იქნა მძ კოეფიციენტის გარკვეული საწყისი დონე, ამასთან, მაღალი საიმედოობისა და ეფექტურობის მიღწევა ტუმბოს შემდგომ კონსტრუქციულ და ტექნოლოგიურ დახვეწას უკავშირდება.

თამტ-ს გამოყენების პირველ ობიექტად შერჩეულია ერთეულ ბრტყელ ჰელი-ოკოლექტორზე 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 თამტ-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 მძ კოეფიციენტის დონე.

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

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

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

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

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

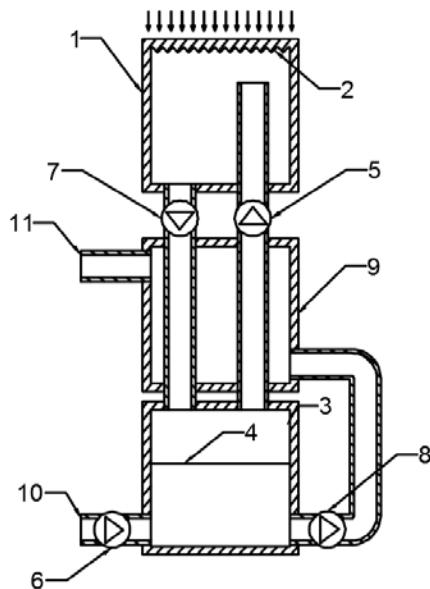
ქვემოთ წარმოდგენილია თამტ-ს დამუშავების ბოლო ეტაპის შედეგები, კერძოდ ტუმბოს ახალი მოდიფიკაციის ექსპერიმენტული მოდელი, რომლის ძირითადი თავისებურება მუშა აგენტის ორთქლის კონდენსაციის ორსიჩქარიანი რეჟიმის განხორციელებასა და მემბრანის, თხევადი დგუშის ქვედა ზონაში გადატანასთანაა დაკავშირებული. მოცემულია აგრეთვე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

## 2. მირითადი ნაწილი

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

გახურების შედეგად ტემპერატურის გარკვეული დონის მიღწევისას ზედაპირზე 2 იწყება აორთქლების პროცესი, რაც მოწყვეტს ამ ზედაპირს შუალედური მუშა აგენტის თხევად დგუშს და გადაადგილებს ზემოდან ქვემოთ. სითხე სარქვლის 7 გავლით ჩადის სატუმბ საკანში 3, ჩაზნექს მემბრანას 4 და სარქვლის 8 გავლით დაჭირხნის წყალს პელიოპოლექტორის 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 სარქვლის 5 გავლით. მემბრანა 4 ამოიზნიქება, სარქვლის 6 გავლით შეიწოვს წყლის ახალ ულუფას, თბომცვლელში 9 გაცივებული აღმაგალი თხევადი დგუში შევჯახება

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



ნახ. 1. თამტ-ს ახალი მოდიფიკაციის პრინციპული სქემა

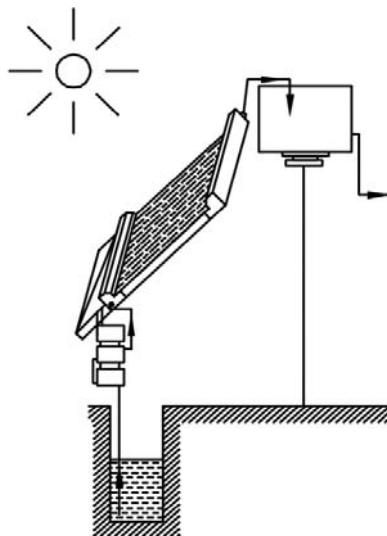
უნდა აღინიშნოს, რომ უკუსვლისას გაცივებული მუშა აგენტის თხევადი ფაზის მიწოდება სარქვლით 5 პირდაპირ თხევადი დგუშის ზედა ნაწილში, წინა სვლასთან შედარებით, მკვეთრად აჩქარებს კონდენსაციას წყლის შეწოვის სტადიაზე და ამაღლებს ტუმბოს წარმადობას და ეფექტურობას. სწორედ ამაში მდგომარეობს ორთქლის კონდენსაციის ორსიჩქარიანი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

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

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

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

სითბოს, რომელიც გასაცხელებელ წყალს კოლექტორის გათიშველ ნაწილში უნდა მიეღო, რასაც თითქმის მთლიანად თამტ-ს გავლით დებულობს). შემდეგ წყალი გახურების ძირითად ეტაპს გადის კოლექტორში და ზემოთ განლაგებულ რეზერვუარში იტუმბება.

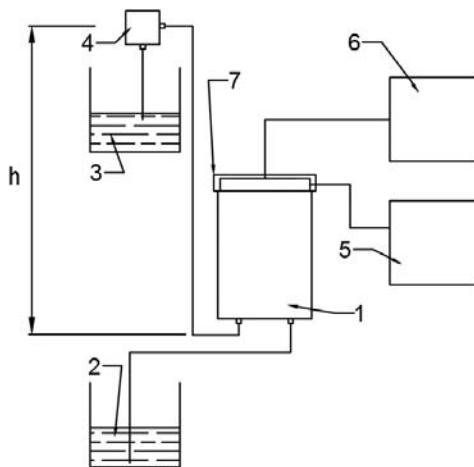


**ნახ. 2. თამტ-ს თხევადდგუშიანი მოდიფიკაციის ინტეგრირება  
ბრტყელ ჰელიოკოლექტორზე დაფუძნებული ცხელის წყლის  
მომარაგების სისტემაში**

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

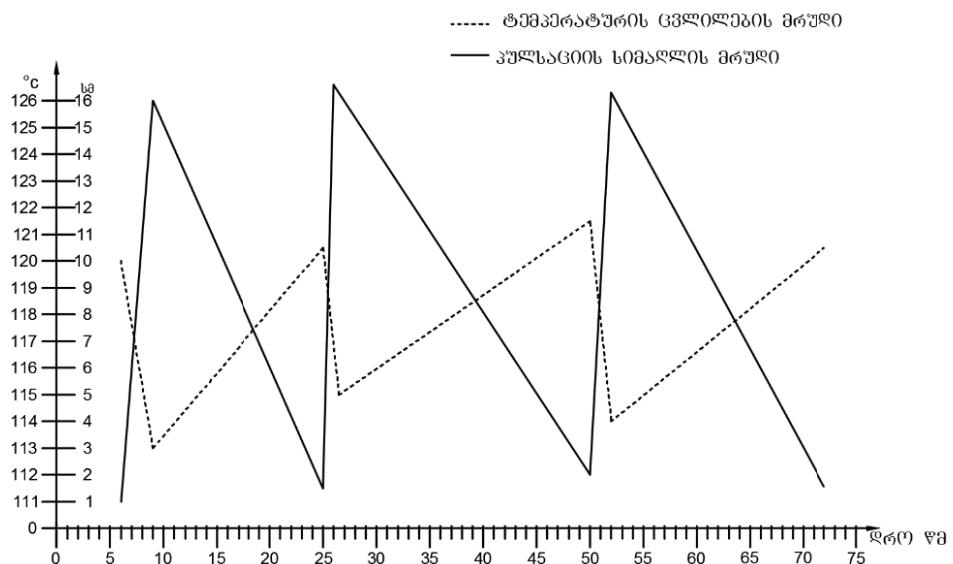
ტემპერატურებისა და წნევების გამზომი და ჩამწერი სისტემა შეძენილია შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის სადოქტორო გრანტის ფარგლებში, რისთვისაც მადლობას ვუხდით ფონდს.

პირველ ეტაპზე სტენდზე ჩატარდა ექსპერიმენტული მოდელის პულსაციური, წყლის გადატუმბვის გარეშე ფუნქციონირების თერმოპიდროდინამიკური პროცესების გამოკვლევა. ასეთ შემთხვევაში გადაკეტილია წყლის შემწოდი სარქველი და დასაჭირებული 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 თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს ექსპერიმენტული მოდელის საკელევი სტენდი: 1 – თამატ-ს ექსპერიმენტული მოდელი; 2 – გადასატუმბი წყლის რეზერვუარი; 3 – გადატუმბული წყლის რეზერვუარი; 4 – წყლის ხარჯის გაზომი კვანძი; 5 – გახურების ზედაპირის ტემპერატურული რეჟიმის მარეგისტრირებელი კვანძი; 6 – მუშა კამერის წნევების რეჟიმის მარეგისტრირებელი კვანძი; 7 – თამატ-ს ელექტროგამხურებელი

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

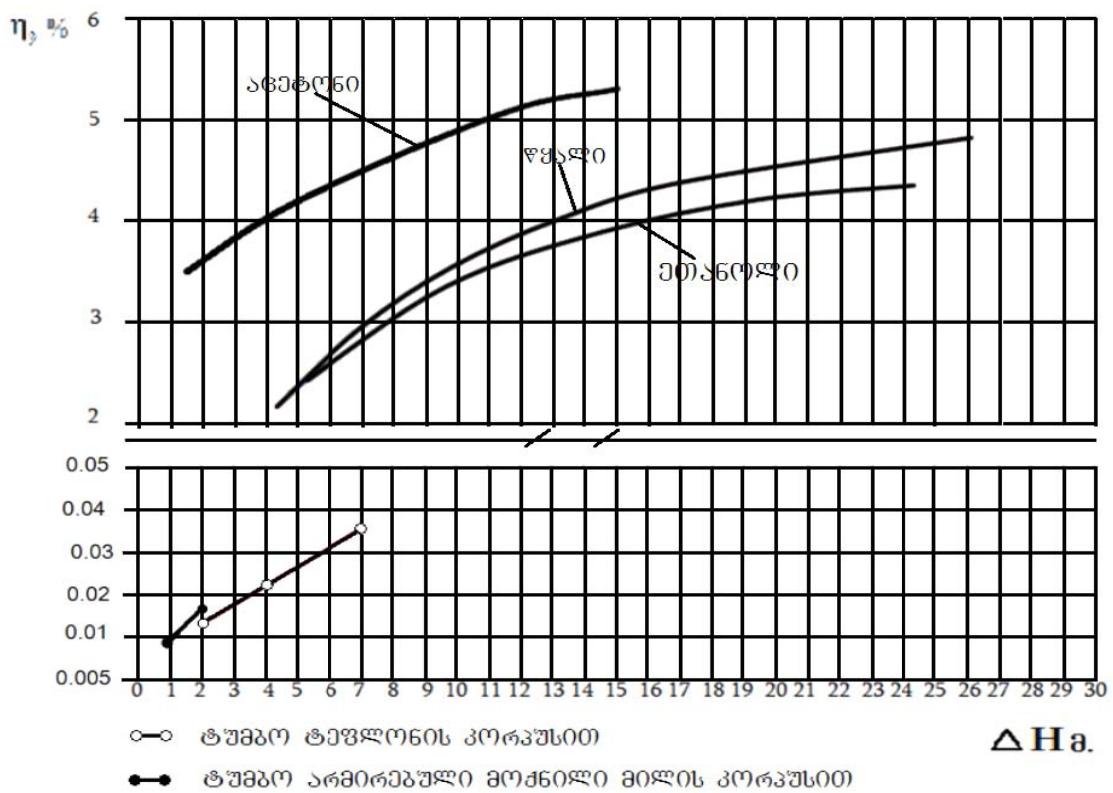


ნახ. 4. გახურების ზედაპირის ტემპერატურის პულსაციები და გამოდევნილი წყლის დონის ცვლილები (მუშა აგენტი – წყალი, წნევა – 1 ბარი, გახურების სიმძლავრე – 50 ვტ)

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

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

მე-5 ნახ-ზე მოყვანილია თამტ-ის მოდელის მძ კოეფიციენტსა და დაწევებას შორის დამოკიდებულების ექსპერიმენტული მრუდი. როგორც მოყვანილი მონაცემებიდან ჩანს, მოდელის მძ კოეფიციენტის დაფიქსირებული სიღიდეები 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. თამტ-ს ახალი მოდიფიკაციის ექსპერიმენტული მოდელის  
თერმოპიდროდინამიკური პარამეტრები

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

### 3. დასპბა

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 თერმოპიდონამიკური 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 თამტ-ს დაწევას 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. Shekrladze, E. Machavariani, J. Rusishvili, D. Shekrladze, 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. Shekrladze, E. Machavariani, G. Gigineishvili, J. Rusishvili, D. Shekrladze, 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. Shekrladze, E. Machavariani, G. Gigineishvili, J. Rusishvili, D. Shekrladze, 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 21<sup>st</sup> Century. Tbilisi, Georgia, September 19-21, 2012. v.1, pp. 190-197.
8. დიაფრაგმული ტუბმბო. საქართველოს პატენტი N P-5606, 2011.

შაბ 551.578

## ლგარცოფსადინარში ჟალღურად მოძრავი გამული ლგარცოფის მახასიათებლების დადგენა

გ. 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 ლგარცოფულ ნაკადად. განხილულია ლგარცოფული ნაკადის ერთი მიმართულების გრძივი ტალღების გაანგარიშების საკითხი. მიღებულია საანგარიშო დამოკიდებულებები, რომელთა მეშვეობითაც შესაძლებელია განსაზღვრულ იქნებ ნაკადის სიმაღლე ტალღის სიმაღლის გათვალისწინებით როგორც რეოლოგიური მაჩვენებლის გათვალისწინებით, ისე მათ გარეშე.

**საპარაგო სიტყვები:** ლგარცოფსადინარი; დეფორმაცია; ნაკადის მახასიათებლები.

### 1. შესაბამის

ლგარცოფსადინარში ნაკადის პიდრავლიკური პარამეტრები და კალაპოტის მორფომეტრია სშირად 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 სიდრმეთა ცვალებადობის პროცესს, კერძოდ მატებას ან შემცირებას თუ მივიჩნევთ გაჭიმვა-კუმშვის მოვლენად, მაშინ ფარდობითი დეფორმაციები, რომელსაც შეესაბამება ნაკადის ზემოთ აღნიშნული პროცესი, შესაძლებელია შეფასდეს ფარდობითი დეფორმაციის კოეფიციენტით.

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

კალაპოტის შევიწროება-გაფართობის 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 იდებს ტალღის ფორმას [1]. ამ შემთხვევაში ტალღის სიდიდე უმუალო 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 პიდრავლიკის ამოცანებთან შეხება, სადაც განსაკუთრებული ყურადღება უქცევა ნაკადის ტალღის ფორმით ჩამოყალიბებას [2]. ერთ-ერთ ასეთ შემთხვევად შეიძლება მიჩნეულ იქნეს ღვარცოფწარმომქმნელ კერაში ჩამოყალიბებული მასის დაძაბული მდგომარეობის რღვევა და კერიდან ღვარცოფის დაგვრის 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/წ-მდე. მაქსიმალური ხარჯი – 10–50-დან 5000–10000 მ<sup>3</sup>/წ [3].

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

## 2. მირითადი ნაწილი

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

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

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

შემთხვევაში 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, დარცოფის 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 პორიზონტან  $\alpha$  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 ( $\text{მ/წმ}$ );  $g$  – სიმძიმის ძალის აჩქარება ( $\text{მ/წ}^2$ );  $h_0$  – ბმულობის შესაბამისი ეკვივალენტური სიღრმე ( $\text{მ}$ );  $\varphi$  – კოფიციენტი, რომელიც შინაგანი ხახუნის კუთხის ფუნქციას ასრულებს;  $\Delta h$  – ტალღის გავრცელების სიჩქარე;  $h$  – ნაკადის სიღრმე ( $\text{მ}$ ).

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, მივიღეთ:

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

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

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

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. დასპანა

ზემოთ მოყვანილი საანგარიშო დამოკიდებულებებით შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს ნაკადის სიმაღლე ტალღის სიმაღლის როგორც რეოლოგიური მაჩვენებლის 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.

## შაბ 628.1.

### ტყაღმომარაგების სისტემების მექანიკური ზემოქმედებისას დეფექტების დარღვევის შესახებ

ლ. კლიმიაშვილი, მ. ნაცვლიშვილი

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** განხილულია წყაღმომარაგების სისტემებში გამოყენებული ლითონის მიღებში ძარღებისა და წერტილოვანი დეფექტების წარმოქნის პროცესი მექანიკური ზემოქმედებისას. გაანალიზებულია ლითონის ელემენტების სიმტკიცის დაკარგვის დისლოკაციური მექანიზმი, რომელთა მოძრაობამ გადამკვეთ დაცურების სიბრტყეში შეიძლება ძარის წარმოქმნა გამოიწვიოს.

**საკვანძო სიტყვები:** სიმტკიცე; დაშლა; დისლოკაცია; წერტილოვანი დეფექტები; პროცესის ტარება.

#### 1. შესაბალი

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 (წყაღმომარაგების 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).

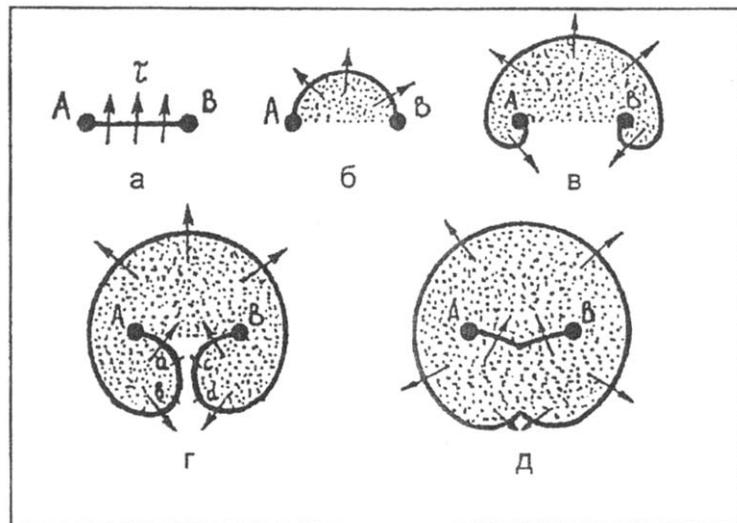
## 2. ძირითადი ნაშროვი

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 ა ერთი პარამეტრით წანაცვლებას, რადგან კრისტალი პლასტიკურად დეფორმირებული აღმოჩნდება. შემდეგ გაგრძელდება 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.1a, τ), AB მონაკვეთი დაცურებისას დაიწყებს თანდათან ამოზნექას. ამასთან, იგი თანამიმდევრულად მიიღებს 1-ელ ნახ-ზე (1,6-გ) ნაჩვენებ ფორმებს. დ სიტუაციაში ან და ცდ დისლოკაციების მეზობელი მონაკვეთები (სხვადასხვა ნიშნის მსგავსი დისლოკაციებია ანუ ერთმანეთისკენ მიიზიდება) შეერთდება და ერთმანეთს სპობს, მაშინ როდესაც aA და cB მონაკვეთები შეერთდება ნ და დ წერტილებში, წარმოქმნის A და B წერტილებში დამაგრებული ახალი დისლოკაციის მონაკვეთს დაცურების სიბრტყეში. ოუ გარე დაძაბულობის მოქმედება გრძელდება, AB დისლოკაციის გათვალისწინებით, ისევ გამეორდება იგივე გარდაქმნა და ა.შ.; წარმოქმნილი დისლოკაციური მარყუჯები იმავე მექანიკური დაბულობის მოქმედებით გაფართოვდება.

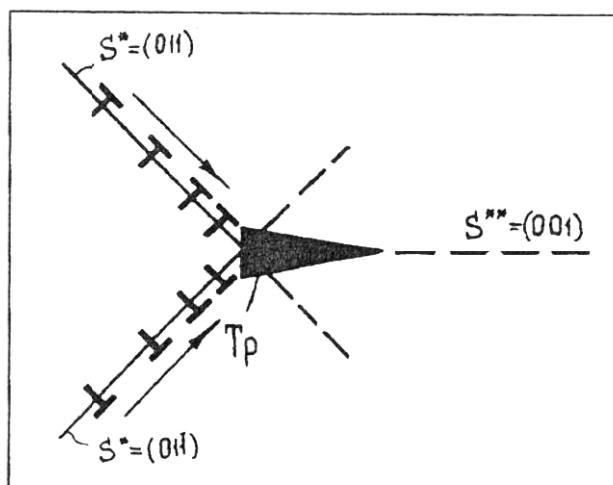


ნახ. 1. დისლოკაციების გამრავლების თანამიმდევრული სტადიები ფრანკ-რიდის მექანიზმის მიხედვით

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 დავასახელებოთ 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 მარყუჯების გაფართოებას თან ახლავს მათი გადასვლა მეზობელი (პარალელური) დაცურების სიბრტყებში. რადგან ზღვრული დისლოკაციები ას და  $b_d$  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 იწყებს მუშაობას, როგორც ფრანკ-რიდის წყაროებზე), მაგრამ სანამ შეიკვრება (ნახ. 1, დ), გადადის დაცურების შემდეგ სიბრტყეში და a.შ. შედეგად წარმოიქმნება უწყვეტი დისლოკაციური მარყუჯი, რომელიც გადის დიდი რაოდენობის პარალელური დაცურების სიბრტყეში ანუ იზრდება არა მარყუჯების რაოდენობა, არამედ ჯამური სიგრძე.



ნახ. 2. იცკ კრისტალში ორი დაცურების სიბრტყის გადაკვეთის არეში  
პზარის წარმოქმნის ერთ-ერთი შესაძლო მექანიზმი

### 3. დასპენა

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 a.შ.), ერთეუ-

ლოგანი წერტილოვანი დეფექტების წარმოქმნა და დისლოკაციების ურთიერთმოს-პობა.

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

მე-2 ნახ-ზე მოცემულია მსგავსი მაგალითი ՕЦК კრისტალური მესრის კრისტალისთვის.

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

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

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

## ლიტერატურა

6. აბრამოვი. წყალმომარაგების სისტემების საიმედოობა. სახელმძღვანელო უმაღლესი სასწავლებლების სტუდენტებისათვის. მოსკოვი: სტროიიზდატი, 1982.
- ლ. კლიმიაშვილი. წყალმომარაგების სისტემების ნაგებობათა მტყუნებათა წინაპირობებისა და მიზეზების გამოვლენა / მიმოხილვითი ინფორმაცია. “წყლის მეურნეობა. მელიორაცია”, თბილისი: საქართველოს სამეცნიერო ტექნიკური ინფორმაციის კვლევითი ინსტიტუტი, 1987.
- ლ. კლიმიაშვილი. წყლის მიწოდებისა და განაწილების სისტემების საიმედოობა. მონოგრაფია. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2011.

შაბ 627.8

## ექსპრტული სისტემების აბების შესახებ

ლ. კლიმიაშვილი, 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 ხერატეგიის, აგრეთვე მომხმარებელთან ურთიერთქმედების ქვესისტემისა და სისტემის რეალიზაციის აღკვატური ხერხების არჩევა.

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

**საკვანძო სიტყვები:** ექსპერტული სისტემები; ცოდნის ამოღება; გადაცემა; წარმოდგენა; ხერატეგია; კონცეპტები; ქვესისტემები; რეალიზაცია; აღკვატური ხერხები.

### 1. შესაბალი

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 მიხვედრის 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. მიზანთადი 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 იდებს 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. წვეულებრივ, გამოიყენება შემდეგი

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

ისინი საკმაოდ დეტალურადაა განხილული და ცნობილია ლიტერატურაში. როგორც წესი, ლოგიკური ალრიცხვა შემოიფარგლება პირველი რიგის პრედიკატების ალრიცხვით. 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 ალრიცხვას. მიუხედავად ამისა, ცოდნის ასეთი ორგანიზება საკმაოდ მოხერხებულია მისი მოდულობით, წარმოსახვის თვალსაჩინოებით, შეძლებისდაგვარად ცვლადების მნიშვნელობის მითითებით, დუმილის მეშვეობით და ა.შ.

სემანტიკურ ქსელებს საფუძვლად უძვეს 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 ალრიცხვის ენასთან შედარებით, ფრეიმებით ან სემანტიკური ქსელებით წარმოდგენა უფრო ბუნებრივი, თვალსაჩინო და გასაგებია.

უმარტივეს შემთხვევაში პროდუქციული წესები სიმბოლოების ჯაჭვის მოწერით გენერირდება და კონსეკვენტს. უმეტესი წესების სიმრავლისთვის მოცემულია გარკვეული თანაფარდობა. პროდუქტიული 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 (ბეკტერკინგი). 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 სიგანეში“, 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 – დაწყებული 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. დასპაზა

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

### ლიტერატურა

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

შაბ 51:6

## ოცოს სამეულის სტრუქტურის აბება ენგინეირინგ ლოგოსში

ა. კლიმიაშვილი

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** შესწავლითია ნებისმიერ ლოგოსში არსებული მონადური პეიტინგის ლოგო, ნაჩვენებია ამ ლოგოების კავშირი თნოს 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 ლოგოები; 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 გარიანტს წარმოადგენს.

### 2. მიზანთაღი ნაწილი

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

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

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

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

$$\begin{array}{ccc} A & \xrightarrow{f} & B \\ & \searrow & \nearrow \\ & I & \end{array}$$

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

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

$$\begin{array}{ccc} A' & \xrightarrow{v} & A \\ \downarrow & & \downarrow f \\ B' & \xrightarrow{u} & B \end{array}$$

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):

$$\begin{array}{ccc} J & \longrightarrow & I \\ j \downarrow & & \downarrow i \\ A & \xrightarrow{f} & B \end{array}$$

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 შეუდლებული 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 შეუდლებულია  $f^{-1}$ -თვის,  $\exists f \dashv f^{-1}$ .

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

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 ჰიტს 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 შეუდლებულები,  $\forall f, \exists f$ .

დ) ბექ-შევალიეს პირობა.

ყოველი კომუტაციური კვადრატისთვის

$$\begin{array}{ccc} W & \xrightarrow{h} & Z \\ k \downarrow & & \downarrow g \\ Y & \xrightarrow{f} & X \end{array}$$

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

**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 პომომორფიზმს, ე. ი. ინახავს  $\vee, \wedge, \Rightarrow, \neg$  უმცირეს და უდიდეს ელემენტებს.

**თეორემა 2.** შემდეგი სამი 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 შეუდლებული შემდეგი ფუნქტორისა  $x \Rightarrow (*) : \text{Sub}(A) \rightarrow \text{Sub}(A)$  კატეგორიაში არის მარჯვენა შეუდლებული ფუნქტორისა  $x \wedge (*) : \text{Sub}(A) \rightarrow \text{Sub}(A)$  ( $x$  ფიქსირებულია). მტკიცდება, რომ ლოგოსშია ასეთი შეუდლება. მართლაც, ყოველთვის არსებობს და რომ მიღებული ოპერაცია აკმაყოფილებს იმპლიკაციის მოთხოვნებს. აქედან

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

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

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

$p \leq f^{-1}(q)$ , 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  $q$ -ობის

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

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

დაგამტკიცოთ ონოს აქსიომის 1) პირობები

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

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

დამტკიცებულია.

### დავამზღვიოცოთ 2):

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

(რადგან  $f^{-1}$  პეიტინგების პომომორფიზმია)

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

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

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

քամթյուղեծալուս.

քաշամթյուղություն 3) Յորովելու:

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

Ապացակացնելու արու մթյուղելու

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

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

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

(Կազմակերպությունը  $f^{-1}$  և  $\exists_f$  գումարելու). Տվյալները

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

քաշամթյուղություն

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

Ասցրած  $p \leq \exists p$  և  $q \leq \exists q$ , սակայն  $p \vee q \leq \exists p \vee \exists q$ .

քամթյուղեծալուս.

Ներկայացնելու և քամթյուղելու:

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

քամթյուղեծալուս.

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

Ասցրած  $p \geq \forall p$  և  $q \geq \forall q$ , սակայն  $p \wedge q \geq \forall p \wedge \forall q$  և 3) Յորովելու քամթյուղությունը.

քաշամթյուղություն 4) Յորովելու:

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

(0 այլ աղճութեացն է  $\text{Sub}(A)$ -ի մոնոմալյար ածույթի  $(f : A \rightarrow B)$ ,  $0_1$ -ու աղճութեացն  $\text{Sub}(B)$ -ի մոնոմալյար ածույթի, աեւզը 1-յան թյամտեցցածոց)  $\Leftrightarrow f^{-1}\exists_f 0 \leq 0$  և  $f^{-1}\exists_f 0 \geq 0$ . այլ  $f^{-1}\exists_f 0 \geq 0$ . քաշամթյունում  $f^{-1}\exists_f 0 \leq 0$ .  $0 = f^{-1}(0_1)$  (րաջացան  $f^{-1}$  էլեմենտների մասնակիութեացն)

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

թագրամ  $f^{-1}(0_1) = 0$  և  $\Leftrightarrow 0 \leq 0$ , ռաց չյամարություն. աեւզը  $\forall 1 = 1$ .  $\forall 1 \leq 1$  շաբանացն.

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

Յորություն դամբյուցելյացն.

քաշամթյունում 6) և 5) Յորություն:

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

թագրամ յեւ Յորություն գամոմարտեալների մեջ 2 տյառյամուն 1 Յորություն, տպացն  $q$ -ի հավաքածուում  $\exists_f q$ -ի օրույնացն. ամրոցաց, 6) քաշամթյունությացն. քաշամթյունում 5) Յորություն:

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

յեւ չյամարություն և ամրոցաց 5) Յորություն դամբյուցելյացն.

աելաց քաշամթյունում 7) Յորություն:

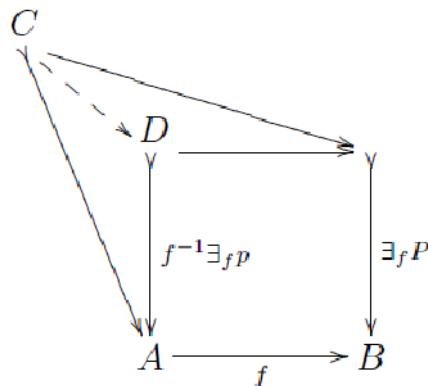
$\exists \forall p = \forall p$  յաշակալյան բարությունում արու Յորություններ:  $\exists \forall p \geq \forall p$  և  $\exists \forall p \leq \forall p$ . այլաւ Յորություն շաբանացն (ազուրություն  $p$ -ի բարությունը  $\forall p$  և գամոցույնություն 1) Յորություն). քաշամթյունում

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

რაც ჭეშმარიტია და ამრიგად  $\exists \forall p = \forall p$  დამტკიცებულია. დავამტკიცოთ  $\forall \exists p = \exists p$ . აქაც ეს მტკიცება ეპვივალენტურია 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 პეიტინგურ ალგებრას. აღსანიშნავია, რომ 1)-7) პირობები ადვილად შეიძლება დამტკიცდეს, ასე ვთქვათ, სუფთა კატეგორიულად შეუდლების პირობებისა და  $f^{-1}$  პომომორფულობის 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 პულბეგია  $f^{-1}$ -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. დასპენა

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.

## ՀԱՌԱՎԱԿԱՆԱԿԱՐԱ

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”.

შაბ 69.05.(0758)

## თვითშემსრულებაზე პეტონის ფანგამურობის კარამეტრების განსაზღვრა

**ა. საყვარელიძე**

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** შესრულებულია თვითშემსრულებაზე ბეჭონის ტენციამტარობის მახასიათებლების (ტენის დიფუზიის, ტენციადაცემის კოეფიციენტისა და ტენციაცემის კუთრი კოეფიციენტის) განსაზღვრის ექსპერიმენტულ-თეორიული გამოკვლევა. დადგენილია ცილინდრული ფორმის ნიმუშების ტენცემცველობის და წონის ცვლილება დროში (გამოშრობისას). რეალიზებულია უსასრულო ცილინდრის ამოცანა მეხამე რიგის სასაზღვრო პირობებში. განსაზღვრულია მახალის დროში ტენცემცველობის ცვლილების ექსპერიმენტული მრუდი. თეორიულად მიღებულია მრუდების მოედი რჯახი.

თეორიული და ექსპერიმენტული მონაცემების შედარებით და ანალიზით დადგენილია თვითშემსრულებაზე ბეჭონის ტენციამტარობის მახასიათებლები: ტენის დიფუზიის, ტენციადაცემის კოეფიციენტისა და ტენციაცემის კუთრი კოეფიციენტის სიღრიცეები.

**საკვანძო სიტყვები:** თვითშემსრულებაზე ბეჭონი; ტენცემცველობა; დიფუზიის კოეფიციენტი; ტენციადაცემის კოეფიციენტი; ტენციაცემის კუთრი კოეფიციენტი; გამოშრობა; უსასრულო ცილინდრი.

### 1. შესაბამის

ჩატარდა თეორიულ-ექსპერიმენტული გამოკვლევა თვითშემსრულებაზე ბეჭონის ტენციამტარობის მახასიათებლების დასადგენად.

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

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.

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

## 2. მიზითადი ნაშილი

თვითშემჭიდროებადი ბეტონი არის კაპილარულ-ფორმოვანი 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-ფორმოვან 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  $W$  ტენგემცველობაა;  $\lambda_w'$  – ტენის დიფუზიის კოეფიციენტი.

განტოლების ამოხსნისას (ტანის ტენგემცველობის 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 (საზღვრო 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  $\varphi$  ფარდობითი ტენიანობის გარემოში), რომელიც დროის ერთეულში ტანის ზედაპირიდან გადაიცემა  $\varphi$  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  $\varphi$  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 მეთოდიკა და დავადგინეთ თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ტენგამტარობის მახასიათებლები. თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ტექნოლოგიური და სიმტკიცის პარამეტრები მოცემულია შესაბამის ლიტერატურაში [2], ნარევი №2.

თვითშემჭიდროებად ექსპერიმენტებში გამოიცადა 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 გამოიცადა 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 გამოიცადა. გარემოში ტენგადაცემა ხდებოდა ცილინდრის გვერდითი ზედაპირიდან. უსასრულო ცილინდრის ამოცანა ამოიხსნა მესამე რიგის საზღვრო 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 მეთოდიკა შედგება ორი ნაწილისაგან: თეორიული და ექსპერიმენტული. ექსპერიმენტით მიღებული მონაცემების და თეორიული გამოთვლების შედეგის შედარებით და ანალიზით დადგინდება ტენგამტარობის პარამეტრები.

**ნიმუშების წონის და  
ტენშემცველობის ცვლილება დროში**

აწონის დრო, დღე	28 დღის ნიმუშები	
	ნიმუშის წონა, გ	ნიმუშის ტენშემცველობა, გ/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 ექსპრიმენტებიდან 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  $t$  მომენტი;  $P_0$  – 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 სახელდე:

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

სადაც

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

აღვნიშნოთ

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

(5)-ის შეტანით (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]

$$v_c = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{\mu_n} I_1(\mu_n) \cdot e^{-\mu_n^2 \cdot \tau}, \quad (7)$$

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

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

როდესაც ვიცით  $\chi$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა და  $v_c$ -ს დროზე დამოკიდებულების მრუდი, შესაბამისი ფორმულებიდან გამოითვლება ტენგამტარობის პარამეტრები:  $\lambda'_w$  – 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  $\lambda'_w = 0,077 \text{ სმ}^2/\text{დღე}$ ;  $K_w = 0,44 \text{ სმ}/\text{დღე}$ ;  $K = 5,71 \text{ 1/სმ}$ .

### 3. დასპანა

ჩვენ მიერ შემუშავებული ცემენტისფუძიანი სამშენებლო კომპოზიტების ტენგამტარობის თეორიაზე დაყრდნობით და სათანადო მეთოდიკით 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 adventages and production in Georgia 2-d International Scientific and Technical conference “Architecture and construction 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), ობილის: სტუ, 2014 წ. გვ. 125-128.
4. Боли Б.А. Уеннер Д.Х. Теория температурных напряжений, М. Мир, 1964. - 517 с.

შაბ 636.32/38

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

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

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** მოცემულია ცხოველთა კვებაში გამოყენებული სახოფლო-სამუშაოებისა და მრეწველობის ანარჩენების ზოგადი დახასიათება, მათი ქიმიური შედგენილობის შესწავლა და გამოყენება სახოფლო-სამუშაოების ცხოველთა კვებაში.

**საკვანძო სიტყვები:** საკვები ბაზა; ანარჩენები; შაქრის ჭარხლის ფოჩი; ვაშლის ნაჯახი; ტომატის ანარჩენი; მსხლის ნაჯახი; ტრიფტოფანი; ლიზინი; მეთიონინი; ცისტინი; მონელებადი 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 რიცხობრივ ზრდას და აუცილებელს ხდის მის ინტენსიურ განვითარებას.

ჩვენს ქვეყანაში მეცხოველეობის განვითარებისათვის, საკვები მარაგის გაზრდისა და პროდუქციის თვითდირებულების შემცირებისათვის, პირველ რიგში, აუცილებელია ერთეულ ფართობზე გაიზარდოს საკვები კულტურებისა და საფურაუმარცვლეულის საპექტარო 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. მიზითადი 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 ნაქუჩი, ბამბუკის ავეჯის ქარხნის, ინდივიდუალური და საზოგადოებრივი კვების ანარჩენები, ფოთლოვან მცენარეთა ყლორტები და წიწოვანთა ფქვილი, ფრინველის გამშრალი ფეხალი 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 ცილგბით, 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,  $30-60$  გგ კაროტინს,  $1,2-2,8$  გ კალციუმს,  $0,2-0,5$  გ ფოსფორს და  $2,6\%$  უჯრედისს.

უჯრედისის მცირე რაოდენობით შემცველობის გამო, ფოჩი კარგი მონელება-დობით 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 დასამზადებლადაც, რომელიც საშუალებას იძლევა გვიან შემოდგომამდე გავახანგრძლივოთ ბალახის ფქვილის წარმოების სეზონი. შაქრის ჭარხლის ფოჩის დასილოსებით გავზრდით წენიანი საკვების მარაგს. ფოჩის სილოსით შეიძლება შევაგსოთ 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. ჰიდროსკოპიული ტენი (წყალი)	13,49
2. ნაცარი	25,63
3. ცხიძი	4,64
4. უჯრედისი	24,69
5. პროტეინი	8,65
6. უაზოტო ექსტრაქტული ნივთიერება (უენ)	22,9
7. კალციუმი (Ca)	275 გ/კგ
8. ფოსფორი (P)	2 გ/კგ
9. საკვები ერთეული (სე)	0,38 კგ

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

## 3. დასპანა

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 თვითდირებულება შედარებით დაბალი იქნება.

## ლიტერატურა

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

შაბ 636.32/38

## საქართველოს მეცნიერებების სამსახურის მინისტრის

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

**რეზიუმე:** გაშექმნილია მეცნიერების ზოგადი მნიშვნელობა და საქართველოში არსებული აბორიგენული ჯიშების დღევანდელი სავალალო მდგომარეობა. ამ პრობლემის გადასაჭრელად აუცილებელია გარკვეული დონისძიებების გატარება. დღევანდელი გადასახედიდან დეტალურად არის აღწერილი მეცნიერების სავალალო მდგომარეობა.

**საკვანძო სიტყვები:** ცხვარი; მაჟდაკი; მატყლი; მომთაბარე; საძოვრული; ხელისამატყლიანი; ნაზღაულიანი; პოლიეტრულობა; ცხოველმყოფელობა.

### 1. შპსავალი

მეცნიერება მეცნიერების ერთ-ერთი დარგია, რომლის ამოცანაა ცხვრის მოშენება ძვირფასი ნედლეულის (მატყლი, მაჟდაკი, ტყავი) და საკვები პროდუქტების (ხორცი, რძე, ქონი) მისაღებად. მატყლისაგან მზადდება მაღალ-ხარისხოვანი 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-სამაჟდაკე, სამატყლე-სახორცე-სარძეო და სხვა მიმართულებებს.

საჭიროა ადინიშნოს, რომ საქართველოში მეცნიერება ისტორიულად საზოგადოებრივ-სამეცნიერო ცხოვრების და წარმოებითი ურთიერთობის ცვლილებების შესატყვის ფონზე ვითარდება, ამდენად ქვეყანაში ამ ცვლილებების თანმხლებმა

სოციალურ-ეკონომიკურმა ვარიაციებმა თავისებური დაღი 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 უკელაზე რთული და ითვალისწინებს მთელი წლის განმავლობაში ბუნებრივი საძოვრების გამოყენებას. ასეთი სისტემა გამოყენებულია ყაზბეგის, დუშეთის, თიანეთის, ახმეტის, თელავის, გურჯაანის, სიღნაძის, 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 შემოდგებულია 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. მირითადი 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 ცხიმკუდიან ვერძებს, შემდგომ ყარაბაღული ჯიშის ვერძებს, რომელიც ადრე და ამჟამადაც 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 უურადღება 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 სისხოსი, 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, ჩეჩენეთი, 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 პგებისა 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, ბალდათის, 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 დღე; 3. მრავალნაყოფიერება – ერთ დადოლებაზე ერთი ნერბიდან შეიძლება მივიღოთ 2 ან 3, იშვიათად 3–4 ბატკანი; 4. მაღალი ცხოველმყოფელობა – ახალშობილი დაბადების შემდეგ მაღე დგება, მოძრავი და გამძლება.

განსაკუთრებით გამოირჩევა იმერული ცხვრის ხორცი მაღალპულინარიული 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 ლაურიატის, პროფ არჩილ ნატროშვილის მიერ. ამ ჯიშის გამოყვანის მიზანი იყო მიედოთ ნახევრად ნაზმატლიანი 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 პრკონის ჯიშის ვერძებს. შეჯვარება წარმართეს F<sub>1</sub> და F<sub>2</sub> 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

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

ქართული ჯიშის ცხვარი წარსულში გარკვეული პოპულარობით სარგებლობდა, გაჰყავდათ ჩინეთში, მონდოლეთსა 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 გარდვევას 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 გვჭავს 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 ცხვრის გადასარეკი ტრასების, ტრასებზე გასაბანების, დეზობარიერების, კარანტინების და სხვა რეგისტრაცია, დემარკაცია და მოწყობა.
6. ქვეყანაში არ არსებობს ეროვნული საიდენტიფიკაციო პროგრამა, რის გამოც გართულებულია ეპიზოოტური მდგომარეობა;
7. გვიჭირს მატყლის რეალიზება;
8. არ არსებობს თანამედროვე ინფრასტრუქტურა.

### 3. დასტვა

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

### ლიტერატურა

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

# რევილატები

უაპ 628.2

ოყალსაცავის ეგზოგრაციის დონის დაღმინა. ლ. ლოდელიანი, ქ. ხატიაშვილი, ზ. ასკურავა // პიდროინჟინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 6-9.

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

უაპ 627.8

დინების განვაჭრების სიხშირის პიდროდინამიკური განტოლების ინტებრალური ზორმა, როცა ქვედა უფრო დაბალი დინება ჩამონბრული კლდის გასაში შესრიღებია სეისმური ძალების ზემოქმედებით. ლ. ლოდელიანი // პიდროინჟინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 10-18.

იმ აქტუალური მიზეზის გამო, რომ არსებულ ფუნდამენტურ ნაშრომებში განხილულ სხვადასხვა სიმკვრივის მქონე ნაკადების დიფერენციალურ განტოლებებში, როდესაც ქვედა ფენა წარმოადგენს ჩამოქცეულ-დაცურებულ მთის ქანების მასას, მხედველობაში არ არის მიღებული სეისმური ძალები, რომელიც ამ ნაკადის წარმოქმნის ძირითადი მიზეზია. მოცემულ ნაშრომში განხილულია აღნიშნული განტოლებები ჰოზონტალური სეისმური ზემოქმედების გათვალისწინებით და მოყვანილია მათი მიახლოებითი ინტეგრირება.

უაპ 627.81

წყალსატევებში კატასტროფული ტალღების წარმოშობისა და ბაზრცელების თეორიული მახასიათებლების შედარება ნატურულ მონაცემებთან. ლ. ლოდელიანი, ქ. ხატიაშვილი, ზ. ასკურავა // პიდროინჟინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 19-24.

წყალსატევებში ქანების შექრისას, მათემატიკური სირთულის გამო, არსებითია ე.წ. “საანგარიშო მოდელირების” შესრულება. მთის ქანების შექრისას განხილება მოძრაობა, როდესაც შექრილი მასივი ნაწილობრივ წყალქვეშაა. იძულებითი ტალღების პარამეტრების დადგენისას გამოყენებულია ენერგიისა და მასის შენახვის კანონები. წყალსატევის ფერდობებზე იძულებითი ტალღების ზვირთვების ნაკადის აწევის განსასაზღვრავად გამოყენებულია პიდრავლიკური მიდგომა.

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

### შაპ 626.823.93

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

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

### შაპ 626.823.93

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

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

დია 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 რეგულირების ტექნოლოგიის სრულყოფა სხვადასხვა დონის მარებულირებელდღიურებიანი სადრენაჟო-მოდულური სისტემებით. **რ. ტკაჩუკი, ნ. ტკაჩუკი, ა. როკოჩინსკი // პიდროინუინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 36-46.**

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

### **უაპ 541.8**

წყალხსნარებში ქიმიური ელემენტების არსებობის ვორმების განსაზღვრა.

**ი. ბერძენიშვილი, კ. გამკამიძე, დ. კიკნაძე // პიდროინჟინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 47-51.**

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

### **უაპ 621.1: 621.6**

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

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.

### **უაპ 621.1: 621.6**

თბურამძრავიანი მემბრანული ტუმბოს აქსავრიმენტული მოდელის შექმნა და თერმოკიდროდინამიკური პროცესების ბაზოპლავა **ი. შეყრილაძე, მ. მეფარიშვილი, ე. მაჭავარიანი, გ. გიგინეიშვილი, ჯ. რუსიშვილი, დ. შეყრილაძე // პიდროინჟინერია, №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 მარგი ქმედების კოეფიციენტსა და დაწევების შორის. დასახულია ტუმბოს შემდგომი დახვეწის გზები.

### **უაპ 551.578**

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

მთის რელიეფის პირობებში კაშხლის გარღვევა იწვევს დიდი გამრეცხი ენერგიის მქონე გამრღვევი ტალღის წარმოქმნას, რომელიც სწრაფად გარდაიქმნება დგარცოფულ ნაკადად. განხილულია დგარცოფული 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.

### უაპ 628.1.

ფყალმომარაგების სისტემების მექანიკური ზემოქმედებისას დეფექტების წარმოქმნის შესახებ ლ. კლიმიაშვილი, მ. ნაცვლიშვილი // ჰიდროინჟინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 75-79.

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

### უაპ 627.8

ექსპერტული სისტემის 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 აღეპვატური 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.

### უაპ 51:6

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

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

### **უაპ 69.05.(0758)**

თვითშემჭიდროებადი ბეჭონის ტენბამტარობის პარამეტრების ბანსაზღვრა. **ა. საყვარელიძე** // პიდროინუინერია, №1-2(19-20), 2015, გვ. 94-100.

შესრულებულია თვითშემჭიდროებადი ბეჭონის ტენბამტარობის 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 ბეჭონის ტენბამტარობის მახასიათებლები: ტენის დიფუზიის, ტენგადაცემის კოეფიციენტისა და ტენგადაცემის კუთრი კოეფიციენტის სიდიდეები.

### **უაპ 636.32/38**

ცხოველთა კვებაში ბამოყენებული სასოფლო-სამეურნეო წარმოებისა და მრეწველობის ანარჩენების ზოგადი დახასიათება. **მ. ცინცაძე, ნ. ორჯანელი, ნ. ნატროშვილი, გ. ცქვიტინიძე** // პიდროინუინერია, №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.

### **უაპ 636.32/38**

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

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

დღევანდელი გადასახედიდან დეტალურად არის აღწერილი მეცნიერების სავალალო მდგომარეობა.

# SUMMARIES

UDC 628.2

DETERMINATION OF THE RESERVOIR EUTROPHICATION. **L. Ghogheliani, E. Khatiashvili, Z. Askurava** // Hydroengineering. №1-2(19-20), 2015, pp. 6-9.

There is discussed article the reservoir eutrophication process and mathematical model of its development is created. The nutrient inflow from the catchment - area, that caused by both of the ongoing natural processes (precipitation, soil erosion, etc.) as well as in a result of human activities is considered. The transformation of the nutrients concentration in the water reservoir is studied. Based on the values of the nutrients concentration the degree of eutrophication is determined and its forecasting is made.

UDC 627.8

INTEGRAL FORM OF A HYDRAULIC EQUATION OF A STRATIFIED-DENSITY FLOW, WHEN THE LOWER FLOW IS THE COLLAPSED ROCK MASS INTRUDING INTO THE WATER RESERVOIR UNDER THE ACTION OF SEISMIC FORCES. **L. Gogeliani** // Hydroengineering. №1-2(19-20), 2015, pp. 10-18.

In the published fundamental works about hydrodynamic theory of mud streams, avalanches and landslides, the calculation of their characteristics, seismic forces have not been taken into consideration. That is why we additionally introduce the seismic force into the dynamic equation since the crumbling slope is potentially dangerous, because it may be set in motion under the action of a seismic shock of certain intensity and direction.

UDC 627.81

COMPARISON OF CALCULATED DISASTROUS WAVE GENERATION AND PROPAGATION CHARACTERISTICS IN RESERVOIRS WITH MEASURED ONES. **L. Ghogheliani, E. Khatiashvili, Z. Askurava** // Hydroengineering. №1-2(19-20), 2015, pp. 19-24.

There is discussed comparison of the results, received by calculation (method designed by "Tbilckalgeo") with the Vajont's disaster data.

Because of the mathematical nature difficulties of earth soil intrusion into the reservoir, it is necessary to carry out the so-called "calculation simulation". The developed theoretical methods are compared to events that have already occurred.

There is discussed the motion, when the invading rock massif is partially submerged under water. In determining parameters of the compulsory waves, only the laws of energy and mass conservation are used. For the case of the surf stream height determination, the hydraulic approach is used.

The calculations are compared with the results of the Vajont's reservoir disaster. Results coincidence are good, the discrepancy is about 12-15%.

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. Shekrialadze, M. Meparishvili, E. Machavariani, G. Gigineishvili, J. Rusishvili, D. Shekrialadze** // 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.

# РЕФЕРАТЫ

УДК 628.2

УСТАНОВЛЕНИЕ УРОВНЯ ЭВТРОФИКАЦИИ ВОДОХРАНИЛИЩА. **Гогелиани Л.Д., Хатиашвили Э.Б., Аскурава З.И.** // Гидроинженерия, №1-2(19-20), 2015, с. 6-9.

В статье рассматриваются процессы эвтрофикации водохранилища. Создана математическая модель. Рассматривается приток биогенных соединений с территории водосборной площади, как из-за проходящих естественных процессов (осадки, эрозия почв и т.д.), так и вследствие антропогенной деятельности.

Изучается трансформация концентрации биогенных элементов в водохранилище. На основании значений концентрации биогенных элементов определяется степень эвтрофикации и выполняется прогнозирование.

УДК 627.8

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ФОРМА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ЧАСТОТЫ РАЗНОПЛОТНОСТНОГО ПОТОКА, КОГДА НИЖНИЙ СЛОЙ ГОРНОГО ПОТОКА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ ВТОРГАЕТСЯ В ВОДОЕМ ЧЕРЕЗ МАССУ ОБВАЛО-ОПОЛЗНЕВОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ. **Гогелиани Л.Д.** // Гидроинженерия, №1-2(19-20), 2015, с. 10-18.

По той актуальной причине, что склон горного водоема может прийти в движение под воздействием сейсмических толчков, а в существующих фундаментальных работах гидродинамики разноплотностного потока, когда нижний слой представляет обвало-оползневую массу горной породы вторгшейся в водоем, в уравнениях не учитываются сейсмические силы, в данной работе приводится данное уравнение гидравлики разноплотностного потока с учетом горизонтальных сейсмических сил и дается их приближенное интегрирование.

УДК 627.81

ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ВОЛН В ВОДОХРАНИЛИЩАХ И СОПОСТАВЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РЕЗУЛЬТАТОВ С НАТУРНЫМИ ДАННЫМИ. **Гогелиани Л.Д., Хатиашвили Э.Б., Аскурава З.И.** // Гидроинженерия, №1-2(19-20), 2015, с. 19-24.

В статье сравниваются результаты расчетов по методике «Тбиликалго» с данными по Вайонской катастрофе.

Из-за трудностей математического характера, возникает необходимость проведения т.н. «расчетного моделирования». При этом разработанные теоретические методики сопоставляются с явлениями, которые уже произошли. Рассматривается движение, когда вторгающийся горный массив частично погружен под воду. При установлении параметров вынужденных

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.** **Климиашвили 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. Выявленна 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.** **Климиашвили Л.Д., Губеладзе Д.О., Круашвили 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 ВОДОРЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ ДРЕНАЖНО – МОДУЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ С РАЗНОУРОВНЕВЫМИ РЕГУЛИРУЮЩИМИ ДРЕНАМИ.** **Ткачук Р.Н., Ткачук Н.Н., Рокочинський 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 дрен (уложенных на одинаковую глубину) и дренажных модулей с разноуровневым подключением регулирующих дрен и методика расчета параметров дренажно - модульной системы.

УДК 541.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ. **Бердзенишивили 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 pH раствора. Рассчитаны формы нахождения алюминия в разных средах. Выявлены доминирующие формы кальция в растворе в зависимости от величин pH.

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. **Климиашвили 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. **Климиашвили 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. **Климиашвили 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. Использованы основные свойства сочененных 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, влагосодержанием (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., Натрошивили 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., Натрошивили 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.

რედაქტორები: ლ. მამალაძე, დ. ქურიძე, მ. პრეობრაჟენსკაია  
კომპიუტერული უზრუნველყოფა ხ. უნგიაძის

გადაეცა წარმოებას 22.09.2015. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 19.11.2015. ქაღალდის ზომა  
60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბაზი 8.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77

