

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY

ГРУЗИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

---

ISSN 1512-410X

ჰიდროენინგი  
HYDROENGINEERING  
ГИДРОИНЖЕНЕРИЯ

№1-2(25-26)



თბილისი – TBILISI – ТБИЛИСИ

2018

# სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „პიდროინჟინერია“

დაფუძნებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტისა და საქართველოს საინჟინრო აკადემიის მიერ.

## სარედაქციო პოლეგია:

**საქართველოდან:** აკადემიკოსი ა. ფრანგიშვილი, პროფესორები: ლ. კლიმიაშვილი, დ. გურგენიძე, ი. კადარია (მთ. რედაქტორი), ა. მოწოდელიძე, ზ. დანელია, ა. დავითაშვილი, ი. ინაშვილი, ზ. მეგრელიშვილი, ლ. ღოღელიანი, ნ. ჩხეიძე, შ. გაგოშიძე, გ. სოსელია, მ. გრძელიშვილი, შ. მესტვირიშვილი, ნ. ნაცვლიშვილი, მ. ნაცვლიშვილი, საგამომცემლო სახლ „ტექნიკური უნივერსიტეტის“ დირექტორის მოადგილე გ. ჯერენაშვილი, გარდაპისტის გამწმენდი ნაგებობის გენერალური დირექტორის პირველი მოადგილე მ. კანდელაკი, ასოც. პროფესორი ა. გოგოლაძე (პასუხისმგებელი პირი).

**ამერიკის შეერთებული შტატებიდან:** აიოვას შტატის უნივერსიტეტის პროფესორები: არდიოთ მანი, რამეზ კანვარი, ემი კალეიტა, სტივენ ფრიმენ, როი გუ (Aiowa State University).

**რუსეთიდან:** მოსკოვის სახელმწიფო სამშენებლო უნივერსიტეტის პროფესორები: თ. პრიმინი, პ. პალგუნივი.

## EDITORIAL BOARD:

Acad. A. Phrangishvili, Prof. of GTU L. Klimiashvili, D. Gurgenidze, I. Kadaria (Chief Editor), A. Motsonelidze, Z. Danelia, A. Davitashvili, I. Inashvili, Z. Megrelishvili, L. Ghogheliani, N. Chkheidze, Sh. Gagoshidze, G. Soselia, M. Grdzelishvili, Sh. Mestvirishvili, N. Natsvlishvili, M. Natsvlishvili, Director Of the Publishing House “Technical University” Al. Grigolishvili, deputy Director Of the Publishing House “Technical University” G. Jerenashvili, the first assistant of General Director of Clining building of Gardabani M. Kandelaki, associated professor A. Gogoladze (Responsible person).

**USA:** Prof. Ardit Maney. Ramesh Kanwar, Amy Kaleita, Steven Freeman, Roy Gu (Aiowa State University).

**Russia:** Prof. O. Primin, P. Palgunov (the State Construction University of Moscow).

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Грузия:** академик А. Прангишвили, проф: Л. Климиашвили, Д. Гургенидзе, И. Кадария (главный редактор), А. Моцонелидзе, З. Данелия, А. Давиташвили, И. Инашвили, З. Мегрелишвили, Л. Гогелиани, Н. Чхеидзе, Ш. Гагошидзе, Г. Соселия, М. Грдзелишвили, Ш. Мествиришвили, Н. Нацвалишвили, М. Нацвалишвили, начальник технического департамента директор Издательского дома «Технический университет» А. Григолишвили, заместитель директора Издательского дома «Технический университет» Г. Джеренашвили, первый заместитель генерального директора Гардабанского очистного сооружения М. Канделаки, ассоц. профессор А. Гоголадзе (ответственное лицо).

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

**Россия:** проф. О. Примин, П. Палгунов (Московский государственный строительный университет).

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)

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2018



ყველა უფლება დაცულია. ამ ჟურნალის არც ერთი ნაწილის (იქნება ეს ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) გამოყენება არანაირი ფორმით და საშუალებით (იქნება ეს ელექტრონული თუ მექანიკური) არ შეიძლება გამომცემლის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.

გამოქვეყნებული მასალის სიზუსტეზე პასუხისმგებელია ავტორები.

## გუგა ჭოხონელიძე 90 წლისაა

90 წელი ადამიანის სიცოცხლის ხანგრძლივობის სოლიდური პერიოდია, მით უფრო, როცა იგი უაღრესად ნაყოფიერ სამეცნიერო-პედაგოგიურ და საზოგადოებრივ მოღვაწეობას ეწევა.

1945 წელს ბატონმა გუგამ დაამთავრა თბილისის მე-12 საშუალო სკოლა და სწავლა განაგრძო საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის სამშენებლო ფაკულტეტზე. სწავლას კარგად უთავსებდა სპორტს, მთელი ხუთი წლის განმავლობაში იყო ინსტიტუტის ფეხბურთის ნაკრების წევრი. 1950 წელს წარჩინებით დაამთავრა ინსტიტუტი სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობის ინჟინრის სპეციალობით. 1951 წლიდან საქართველოს პიდროტექნიკისა და მელიორაციის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის ასპირანტია, სპეციალობით „გრუნტების მექანიკა და ფუძე-საძირკვლები“. 1954 წელს მუშაობას იწყებს იმავე ინსტიტუტში უმცროსი მეცნიერი თანამშრომლის თანამდებობაზე. 1958 წელს წარმატებით დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია.

1965 წელს დაუსწრებლად დაამთავრა საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის გეოლოგიის ფაკულტეტი საინჟინრო გეოლოგიის სპეციალობით. 1959 წელს სამუშაოდ გადადის საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიაში ახლად ჩამოყალიბებულ პიდროგეოლოგისა და საინჟინრო გეოლოგიის ინსტიტუტში უფროს მეცნიერ-თანამშრომლად. 1962 წელს იგი აღნიშნულ ინსტიტუტში იკავებს სწავლული მდივნის თანამდებობას, ხოლო 1975 წელს ხდება დირექტორის მოადგილე სამეცნიერო დარგში. შეთავსებით აგრძელებს პედაგოგიურ მოღვაწეობას საქართველოს პოლიტექნიკურ ინსტიტუტში.

გუგა ჭოხონელიძის ეფექტურმა კვლევებმა ლოგიკურად მოამზადა ნიადაგი სადოქტორო დისერტაციისათვის „საქართველოს სუსტი გრუნტები, როგორც პიდროტექნიკურ ნაგებობათა ფუძეები“, რომელიც წარმატებით დაიცვა 1974 წელს. იმავე წელს მიენიჭა პროფესორის წოდება.

1975–1980-იან წლებში გააგრძელა სამეცნიერო მუშაობა აზერბაიჯანისა და სომხეთის ლიოსისებრი გრუნტების კვლევისთვის. შედეგები გამოქვეყნდა მოსკოვში გამოცემულ მონოგრაფიაში „საბჭოთა კავშირის ლიოსები“, რომლის ერთ-ერთი ავტორიც გახლავთ ბატონი გუგა.

1982 წლიდან გუგა ჭოხონელიძე სათავეში ჩაუდგა საქართველოს ტექნიკური ინსტიტუტის გრუნტების მექანიკისა და ფუძე-საძირკვლების კათედრას. იგი ახალი

ძალით და დიდი ენთუზიაზმით აგრძელებს შემოქმედებით საქმიანობას. 1985 წელს მან კათედრაზე ჩამოაყალიბა ახალი სპეციალობა „საქალაქო მშენებლობა და მუზეობა“, რომელიც კადრებს ამზადებს შენობა-ნაგებობათა გაძლიერება-გამაგრებისა და რეკონსტრუქციის მიმართულებით. შექმნა მყარი ლაბორატორიული ბაზა, რომელიც აღჭურვა ახალი ტექნიკით. ამასთან ბატონი გუგა დიდ ყურადღებას აქცევს ახალგაზრდა კადრების კვალიფიკაციის ამაღლებას. მის მიერ აღზრდილი მრავალი ასპირანტი დისერტაციის დაცვის შემდეგ წარმატებით აგრძელებს მუშაობას როგორც ტექნიკურ უნივერსიტეტში, ისე მის გარეთ, სამშენებლო და საინჟინრო გეოლოგიის სფეროში.

1984 წელს გუგა ჭოხონელიძეს, როგორც მაღალკვალიფიციურ და გამორჩეულ სპეციალისტს, იწვევენ ქ. ბაქოში, აზერბაიჯანის არქიტექტურისა და მშენებლობის უნივერსიტეტში დისერტაციების დაცვის სამეცნიერო საბჭოს წევრად. იგი დღესაც აგრძელებს აღნიშნულ უნივერსიტეტთან თანამშრომლობას და ეხმარება მეზობელ სახელმწიფოს სამეცნიერო კადრების მომზადების საქმეში.

2001 წელს გ. ჭოხონელიძეს ირჩევენ საქართველოს საინჟინრო აკადემიის აკადემიკოსად, სადაც სამშენებლო განყოფილებას ხელმძღვანელობს.

გუგა ჭოხონელიძეს გამოქვეყნებული აქვს 100-მდე სამეცნიერო შრომა და რამდენიმე მონოგრაფია. მისი გამოკვლევები დანერგილია მშენებლობის პრაქტიკაში. 2000 წელს იგი, როგორც მკვლევარი და პედაგოგი, დაჯილდოვდა დირსების ორდენით. იმავე წელს მიენიჭა საქართველოს დამსახურებული მშენებლის წოდება.

ბატონი გუგა – თავისი გვარის ღირსეული წარმომადგენელი, მეოჯახე მამა და მეუღლე, ქმედების ერთგული და მხურვალე პატრიოტი, სტუდენტებისათვის თავდადებული პედაგოგი.

ბატონი გუგა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის აკადემიურმა საბჭომ წარადგინა საპატიო თბილისელის წოდებაზე.

ღმერთმა დიდხანს უცოცხლოს მშობლიურ ერს ბატონი გუგა!

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,

საქართველოს საინჟინრო აკადემია,

სამშენებლო ფაკულტეტი

# შინაარსი

ლ. ბახთიარი, თ. ბერბერაშვილი, ა. ბაგრატიონ-დავითაშვილი,	
დ. გურგენიძე, პ. კერგალიშვილი, ლ. კლიმიაშვილი. წყლის მინირული ციცლის ორგანიზაციის ეფექტური გეთოდების შემუშავება.....	8
შ. გაგოშიძე. უდაწნეო ნაკადების მდგრადობა წრიული კვეთის წყალსატარებელი.....	16
ზ. გვიშიანი, ლ. კლიმიაშვილი, გ. სოსელია, ქ. გორდეზიანი. ჩამდინარე წყლების მყარი ფაზის ჰიდრავლიკური სისხოს დაზუსტების საკითხები.....	27
ზ. გვიშიანი, დ. გურგენიძე, ზ. ცინაძე, ს. ბუკია. ნაწილაკების ვორმის გავლენა ჰიდრავლიკურ სისხოზე ჩამდინარე წყლების მექანიკური გაფენდის დროს.....	35
ი. ინაშვილი, ი. დენისოვა. ჩამდინარე წყლების სალექტებელი შეღონილი ნაწილაკების კონცენტრაციის ცვლილების დინამიკის კვლევა.....	43
ლ. კლიმიაშვილი, დ. გურგენიძე, ა. ჩიქოვანი. გეტონის დანამატების ზოზიპურ-ქიმიური ასპექტები.....	50
ვ. ნანიტაშვილი. სტრატეგიული კულტურების მორწყვა გაუმჯობესებელი, კოზიციურად მოქმედი დასაწვიმი აბრეგატი.....	61
ე. ქრისტესიაშვილი, რ. მახვილაძე, ი. გოგოლაძე. „მკვდარი კაპიტალის“ ჩართვის ეფექტურობა ქვეყნის ეკონომიკურ ბრუნვასა და სამშენებლო საძმელი.....	70
ა. ბეგიაშვილი, გ. სოსელია. წყლის ხარისხის შეფასება სტატისტიკური ჰიკორეზის შესამოწმებლად $\alpha$ მეთოდის გამოყენებით .....	77
ა. ბეგიაშვილი, გ. სოსელია. ანთროპობრული ზემოქმედების შედებად მიზნებული ზარალის დათვლის საკონტროლო რაიონის მეთოდი .....	84
ა. ბეგიაშვილი, გ. სოსელია. დაბინძურების ნორმირება და გარემოს მდგრადირების მაჩვენებელი.....	88
შ. მესტვირიშვილი. წვეთოარმოქმნა წვეთოვანი კონდენსაციის დროს და თბობაცემის პროცესის ანალიზი.....	94
ა. საყვარელიძე. თვითშემჭიდროებადი გეტონის შეკლების უნივერსალური მოდელი .....	99
ა. საყვარელიძე. თვითშემჭიდროებადი გეტონის გაჯირვება.....	107
რეფერატები.....	111

# CONTENTS

<b>A. Bakhtiari, T. Berberashvili, A. Bagration-Davitashvili, D. Gurgenidze,</b>	
<b>P. Kervalishvili, L. Klimiashvili.</b> DEVELOPMENT OF EFFECTIVE METHODS FOR ORGANIZATION OF MINOR WATER CYCLE .....	8
<b>Sh. Gagoshidze.</b> STABILITY OF FREE-FLOW STREAMS IN ROUND-CYLINDRICAL CONDUITS.....	16
<b>Z. Gvishiani, L. Klimiashvili, G. Soselia, K. Gordeziani.</b> ISSUES OF SETTLING VELOCITY OF SOLID PARTICLES IN WASTE WATER.....	27
<b>Z. Gvishiani, D. Gurgnidze, Z. Tsinadze, S. Bukia.</b> EFFECT OF SHAPE OF PARTICLES ON THEIR SETTLING VELOCITY DURING THE MECHANICAL WASTE WATER TREATMENT .....	35
<b>I. Inashvili, I. Denisova.</b> STUDY OF THE DYNAMICS OF CHANGES THE CONCENTRATION OF THE SUSPENDED SOLIDS IN SEDIMENTATION TANKS FOR WASTE WATER TREATMENT .....	43
<b>L. Klimiashvili, D. Gurgenidze, A. Chikovani.</b> CHEMICAL-PHYSICAL ASPECTS OF CONCRETE FILLERS.....	50
<b>V. Nanitashvili.</b> IRRIGATION OF STRATEGIC CULTURES THE IMPROVED IRRIGATION UNIT OF POSITIONAL ACTION .....	61
<b>E. Kristesiashvili, R. Makhviladze, I. Gogoladze.</b> THE EFFECT OF INCLUSION OF “DEAD CAPITAL” IN THE COUNTRY'S ECONOMIC TURNOVER AND CONSTRUCTION BUSINESS .....	70
<b>A. Begiashvili, G. Soselia.</b> TESTING OF WATER QUALITY AND IT'S PURITY TO TEST STATISTICAL HYPOTHESIS USING A METHOD .....	77
<b>A. Begiashvili, G. Soselia.</b> METHOD OF THE CONTROL AREA FOR CALCULATING THE LOSSES RECEIVED UNDER ANTHROPOGENIC INFLUENCE .....	84
<b>A. Begiashvili, G. Soselia.</b> WASTE NORMALIZATION AND ENVIRONMENT MONITORING .....	88
<b>Sh. Mestvirishvili.</b> THE FORMATION OF DROPLETS DURING CONDENSATION AND THE ANALYSIS OF THE HEAT TRANSFER PROCESS .....	94
<b>A. Sakvarelidze.</b> UNIVERSAL SHRINKAGE MODEL FOR SELF-COMPACTING CONCRETE .....	99
<b>A. Sakvarelidze.</b> SWELLING OF SELF-COMPACTING CONCRETE .....	107
<b>SUMMARIES.....</b>	118

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>А. Бахтиари, Т.М. Берберашвили, А.Н. Багратион-Давиташвили, Д.Р. Гургенидзе, П.Д. Кервалишвили, Л.Д. Климиашвили.</b> РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВОДНОГО МИНОРНОГО ЦИКЛА .....	8
<b>Ш. Н. Гагошидзе.</b> УСТОЙЧИВОСТЬ БЕЗНАПОРНЫХ ПОТОКОВ В КРУГЛОЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ВОДОВОДАХ .....	16
<b>З.Г. Гвишиани, Л.Д. Климиашвили, Г.А. Соселия, К.Г. Гордезиани.</b> К ВОПРОСУ УТОЧНЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ КРУПНОСТИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ СТОЧНЫХ ВОД .....	27
<b>З.Г. Гвишиани, Д.Р. Гургенидзе, З.О. Цинадзе, С.К. Букия.</b> ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ЧАСТИЦ НА ГИДРАВЛИЧЕСКУЮ КРУПНОСТЬ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД.....	35
<b>И. Д. Инашвили, И. А. Денисова.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ОТСТОЙНИКАХ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД .....	43
<b>Л.Д. Климиашвили, Д.Р. Гургенидзе, А.Б. Чиковани.</b> ХИМИКО-ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БЕТОННЫХ ДОБАВОК .....	50
<b>В. О. Наниташвили.</b> ОРОШЕНИЕ СТРАТЕГИЧЕСКИХ КУЛЬТУР УЛУЧШЕННЫМ ПОЛИВНЫМ АГРЕГАТОМ ПОЗИЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ .....	61
<b>Е.Н. Кристесиашвили, Р.Л. Махвиладзе, И.А. Гоголадзе.</b> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВКЛЮЧЕНИЯ «МЕРТВОГО КАПИТАЛА» В ЭКОНОМИЧЕСКОМ ОБОРОТЕ СТРАНЫ И В СТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	70
<b>А.Ш. Бегиашвили, Г. А. Соселиа.</b> ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ГИПОТЕЗЫ ПРИМЕНЕНИЕМ $\alpha$ - МЕТОДА .....	77
<b>А.Ш. Бегиашвили, Г. А. Соселиа.</b> РАСЧЁТ УЩЕРБА С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНТРОЛЬНОГО РАЙОНА ПРИ АНТРОПОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ.....	84
<b>А.Ш. Бегиашвили, Г. А. Соселиа.</b> НОРМИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ПОКАЗАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ .....	88
<b>Ш. А. Мествиришвили.</b> КАПЛЕОБРАЗОВАНИЕ ВО ВРЕМЯ КАПЕЛЬНОЙ КОНДЕНСАЦИИ И АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТЕПЛООТДАЧИ .....	94
<b>А.В. Сакварелидзе.</b> УНИВЕРСАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УСАДКИ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГО БЕТОНА .....	99
<b>А.В. Сакварелидзе.</b> НАБУХАНИЕ САМОНАПРЯГАЮЩЕГО БЕТОНА .....	107
<b>РЕФЕРАТЫ</b> .....	124

UDC 628.1.034

## DEVELOPMENT OF EFFECTIVE METHODS FOR ORGANIZATION OF MINOR WATER CYCLE

A. Bakhtiari, T.Berberashvili, A. Bagration-Davitashvili, D. Gurgenidze,

P.Kervalishvili, L. Klimiashvili

(Georgian Technical University)

**Summary:** Nowadays, water scarcity beside pollution is one of the most complicated problem in the world that many scientists are involved to find solutions. Most of the alternatives are based on saving and pollution prevention. However, they are useful, but not sufficient in large scale.

Pollution not only damage to environment resources, but also decrease fresh water resources and it is significant, when constant amount of fresh water on the earth is considered. Therefore, a comprehensive alternative not only remove water scarcity, but also save the world from pollutants.

**Key words:** water crisis; water minor cycle; water economy; reusing water; water resources.

### 1. INTRODUCTION

Water, as the most vital matter on the earth is prominent enough, that does not need to introduce, how is shown on the maps since ancient times civilization and potable water relation that all of them were established water resource nearby. However, natural potable water resources are about 3% of water resources in the world and it has not been distributed uniform on the earth. On the other hand, population growth and industries demand made it more serious, that resources management is inevitable.

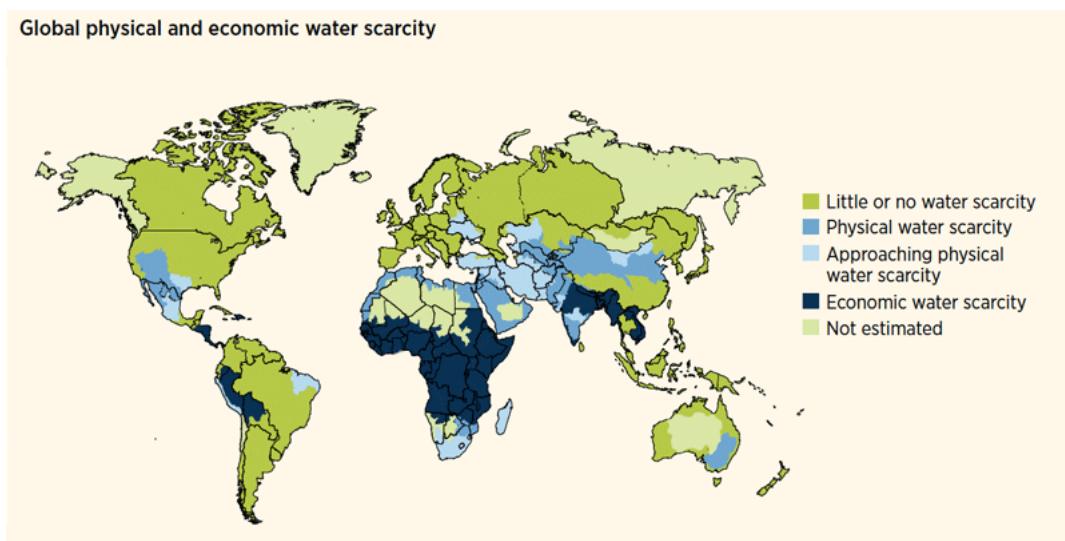
Nowadays, water scarcity<sup>1</sup> is one the most serious problem in the world, that many organizations are involved to find suitable and reasonable alternatives. Not only changes environment, but also effect on societal-economic factors, how UN secretary mentioned, "All are plac-

---

<sup>1</sup>An area is experiencing *water stress*, when annual water supplies drop below 1,700 m<sup>3</sup> per person. When annual water supplies drop below 1,000 m<sup>3</sup> per person, the population faces *water scarcity*, and below 500 cubic meters "*absolute scarcity*".

es, where shortages of water contribute to poverty. They cause social hardship and impede development. They create tensions in conflict-prone regions." [1]

- Around 700 million people in 43 countries suffer today from water scarcity.
- By 2025, 1.8 billion people will be living in countries, or regions with absolute water scarcity, and two-thirds of the world's population could be living under water stressed conditions.
- With the existing climate change scenario, almost half the world's population will be living in areas of high water stress by 2030, including between 75 million and 250 million people in Africa. In addition, water scarcity in some arid and semi-arid places will displace between 24 million and 700 million people.[1]



**Figure 1: Water scarcity map in the world [1]**

There are two different water scarcities:

- 1- Physical
- 2- Economical

Physical scarcity depends on fresh water scarcity that 17% of world population involved and 7% are close it.<sup>1</sup>

Economical scarcity refers to lack of water jobs facilities, then lack of fresh water access that 23% of world population are involved.[1]

On the other hand, refer to fix amount of fresh water on the earth, resources saving from pollution are very important too. Meanwhile, wastes should be managed to prevent environment pollution. According to water role in the world, as a carrier media, wastewater management is also significant. In words, resources pollution makes not only fresh water shortage, that effect on scarcity directly, but also damage on ecosystem then other resources. Therefore, *water crisis* is better expression instead of water scarcity and then finding a comprehensive solution for both scarcity and pollution is inevitable.

## II. THE BODY OF THE ARTICLE

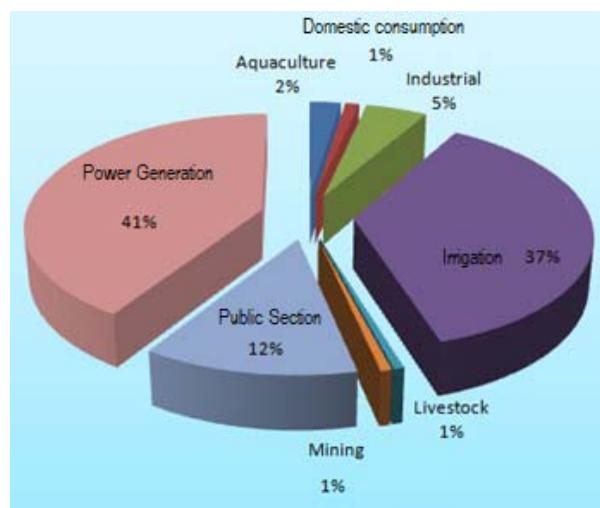
### 1. Water economy and routine treatment methods

Refer to Merriam Webster dictionary, economy means *thrifty and efficient use of material resources*. There is a fixed amount of water on the earth without increase or decrease and, as a vital substance, it is necessary for all of the creatures, then it should nourish all of them in the water cycle to make ecosystem, therefore water is not separated from its cycle. Hence, water economy is defining:

*“The analysis of elements that influence water demand and management and their socio-economic and environmental impact are of particular interest given that their results help define policies for the sustainability of the water cycle.”*

In fact, analysis without data and indicators is meaningless. On the other hand, beside water usage directly, there are many other different consumptions, as indirect like agriculture, food industries, power plants, so on. Then water economy can define relate to its socialized usage also:

*“The definition and analysis of indicators related to the environmental efficiency of businesses, emphasizing the water footprint of products, processes and production units, combined with the development of cost-effective and cost-benefit methodologies to support decision making.”*



**Figure 2: Water consumption**

Refer to definitions; water economy has two different aspects. First, relates to water hydrologic cycle, that is involved in ecosystem, as major cycle, second, is depended on localized demand than management.

According to population growing up and non-equal water resources on the earth, demand is increased. On the other hand, more localized usage without environmental considerations and

hydrologic cycle attention, damage to ecosystem via natural hydrologic cycle deficit; because more consumption change, natural-balanced hydrologic cycle.

According to figure 2, power generation consumes the biggest water contribution. On the other hand, energy consumption is related to GDP directly too, what was shown in figure 3. Therefore, it is approved water consumption relates to economic growth in direct and indirect aspects and refer to population growth it will be more. Then *hydrologic cycle and localized cycle interference is logic*.

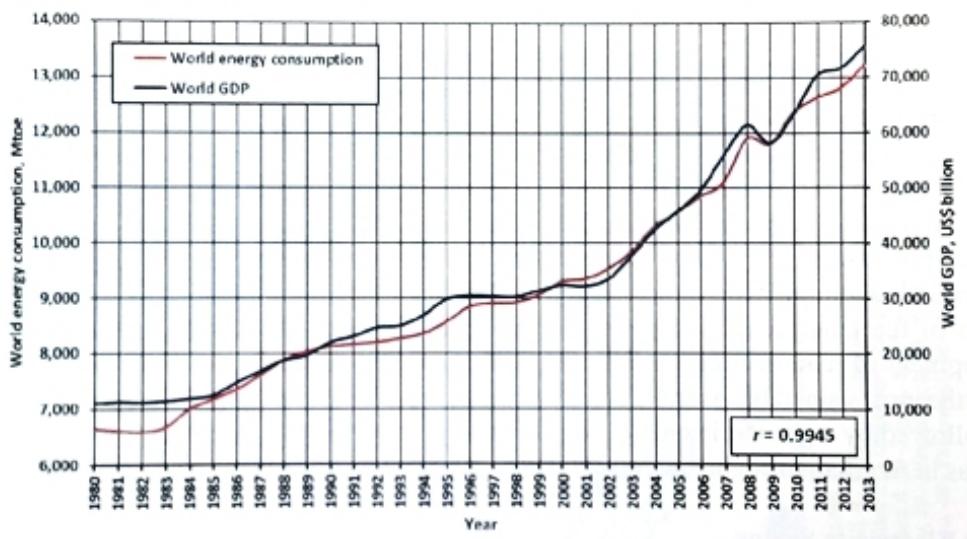


Figure 3: World GDP and water consumption relation[2]

Hence, water management should be under environmental considerations, what less is attended these days. To prove the claim, as an example, drinking water supply via reverse osmosis process in Persian Gulf without environmental consideration is significant. 60% of seawater treatment plants are in the Persian Gulf and almost 7% increase yearly. [3] All of them use seawater as feed, then treat it to drinking, but its waste what known is, as brine puts away in the sea, that prominent as one of the pollutants with two times TDS greater.

Salinity is one of the most important sea ecosystem factor, that can guarantee its health. On the other hand, according to geographic conditions, Persian Gulf water replaces during per 4 years, what should considered beside 7% plants growth. Therefore, water supply without environmental consideration damage the ecosystem.

Despite of environmental consideration, water product price is one of the most important factor, that not only effect on drinking water price directly, but also influence on the other products what are related to water (As an example, food industries, energy generation, agriculture and so on). Therefore, product cost influence on the economy more, than expectations.

## 2. Analysis

Refer to data, water crisis is serious, then to find alternatives should be priority. [4] There are different alternatives suggested by experts, but totally, they are based on *saving* and *keep clean* resources in all of aspects to save environment beside *cheaper treatment process* to produce cheaper water.

However, one of the alternatives is *reuse water*, what can make *minor cycle* beside major cycle (figure 4). It means, *water is used in a process could be treated again and reuse instead of wasting*. Then, not only resources are saved via fresh resources usage restriction, but also environment considerations are observed via waste limitation then less pollution.

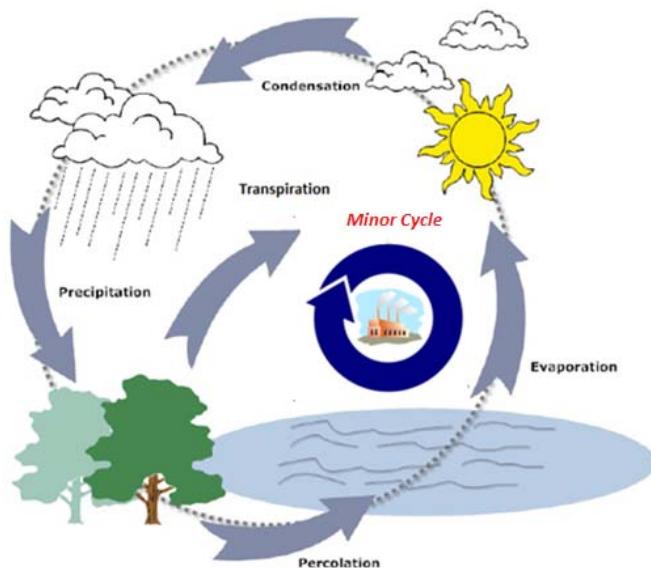


Figure 4: Minor cycle in Macrocycle

On the other hand, water treatment means impurities and contaminants release to achieve standard qualifications. It is obvious, that standards suggest quality according to minimum requirements, what depend on the case.

In fact, treated water quality is depend on usage necessity then, it is flexible. In words, drinking water standard is not necessary to pass in all of the cases, what means treatment cost optimization. As an example, irrigation does not need drinking water qualification most of the times, then maybe first farm waste after light treatment could be the other farms feed water or it could be used in the first one after a cheap treatment.

Beside treatment flexibility, according to requirements for treatment cost optimization, waste treatment to find drinking water or high quality water is possible too [5], but often it will not be feasible via common methods. This is happened in most industries, that feed by fresh wa-

ter, then their waste will be polluted more, than what needs a cheap treatment as reusing. Therefore, an innovative process is necessary to make a feasible minor cycle.<sup>2</sup>

In other words, reused water gives a chance to recharge waste, as feed water source than environment consideration could be observed too. Beside environment considerations, if treatment cost be reasonable, it will be one the best alternative, that not only preserve environment, but also produce reasonable price product.

Normally, feed water (treated water) from municipal treatment sources will carry more impurities after process passing and then it goes back to the resources and should be treated again. Now, if there is a minor cycle, processed water could be reused. Therefore, not only waste and pollutants are managed, but also save water resources via less demand. On the other hand, waste management could make value added via raw material, or semi- raw material recycling; if capable.

Reusing instead of wasting can make value adding via not only material recycling, but also gives a chance to have selective treatment. Then, waste recycling makes value adding instead of pollution; selective treatment can produce cheaper water to feed and then less demand from major cycle (or municipal treated water) via minor cycle. Therefore, the minor cycle concept according to win-win economic strategy could be significant.

Now, current treatment process investigation could be useful to find a comprehensive solution. Totally, water supply cost is depend on three zones:

- 1- Intake
- 2- Treatment
- 3- Transmission

Therefore, per cubic water price is depended on all of the above costs, as their summation, then each section discount can decrease total price. However, precise judge about cost should be case study, but treatment cost is the most important item generally, then its investigation could be useful.

Totally, there are three major impurities in water:

- 1-TSS (Total suspended solid)

---

<sup>2</sup>As an example, if a factory uses fresh water with X impurities summation and wants to reuse waste as feed, it will have X+Y impurities; Y impurities have been added because of factory process; what means more expensive treatment, because treatment process equipment then treatment cost depends on quality and quantity of impurities and contaminants.

## 2-TDS (Total dissolved solid)

### 3-Infection

Solid suspended and infection do not have chemical bond with water molecule and there are different physical specifications, which used to separate them from water, but dissolved solid has chemical bond in water then it is more difficult to separate. There are two different main methods for separation:

- Saline bond distract by vaporization → MSF, MED, VD
- Saline bond distract by filtration → RO

According to the basis of thermal process, in routine method like MSF water has to change, its liquid phase to vapor, that takes  $2260 \text{ kJ.kg}^{-1}$  at  $100^{\circ}\text{C}$  for vaporization, but in membrane process, it is not necessary. Therefore, water latent heat is the main factor of energy consumption in thermal processes and decrease of latent heat effect in the thermal process gives lower energy consumption and lower product cost.

Meanwhile, in common thermal processes, water should boil in normal atmosphere pressure (about  $100^{\circ}\text{C}$  at 1 atm) then vapor cooling after water vaporization is another significant subject. High temperature of treated vapor effects on its cooling rate and it needs more efficient heat exchanger. Therefore, phase change of water at lower temperature and decrease of its latent heat effect are the keys of thermal processes improvement.

As a matter of fact, evaporation means loosing of force between molecules. As figure 5, bubbles burst not only release heat, but also its turbulence make fine water particles; atomizing, that splash from the surface then *surface/volume* ratio through particles is increased by ultrasound. On the other hand, evaporation is from the surface more, than contact face, as more contact surface of water and environment, it means more energy exchange and more vaporization.

However, RO is the most favorite desalination method, but refer to concept; it is possible to make more thermal feasible process, that makes minorcycle of reasonable process.[6]

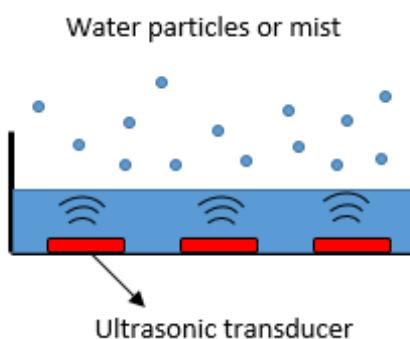


Figure 5: Ultrasound effect [6]

### **III. CONCLUSION**

According to water crisis in the world, water economy is one of the most important priority. On the other hand, water economy without water cycle concept consideration is not possible. Therefore, alternative without environment consideration is not perfect and damage ecosystem in long term.

Refer to water utilization in many aspects in the world, minor cycle could be defined, as a small new cycle what parallel to grand cycle, as hydrologic cycle. This minor cycle is executed, as reusing water, then saving fresh water resources via demand fresh water restriction and manage waste to pollutant limitation could be significant alternative. Shortly, nature way imitation, as minor cycle, could be the best solution refer to all of the aspects observation.

However, reused water procedure is utilized occasionally, but it is not cultivated generally. Of course, refer to case, minor cycle doctrine should be investigated. Sometimes integration of methods makes feasible opportunity not only save environment, but also produce cheaper water.

Hence, innovative ways like ultrasonic heating can break routine rules and make a feasible minor cycle, then not only supply water through reusing, but also save water resources, as a comprehensive alternative.

In the end, minor cycle doctrine, as a comprehensive alternative, not only solve scarcity, but also provide a solution via waste management and then improve both sides of water economy, as physical and economical.

### **REFERENCES**

1. UN website, <http://www.un.org/waterforlifedecade/scarcity.shtml>
2. A.G. Tvalchrelidze and P.J. Kervalishvili. Nanotechnology perceptions, Vol.11, No.2, July 2015, p. 91.
3. <http://www.persiangulfstudies.com>
4. Water online, News, WEF, WateReused encourage federal role in Water/ Wastewater infrastructure funding, April 7, 2016.
5. Water online, News features, Reused water gets into California beers, March 18, 2016.
6. A. Bakhtiari, T.M. Berberashvili and P.J. Kervalishvili, Nanotechnology perceptions, VOL. 13, N16BA16G, August 2017, p. 203-209.

შაბ 627.521.1

## უდაფნეო ნაკადების მდგრადობა წრიული პერიოდის მყალსატარებელი

შ. გაგოშიძე

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** სტატიაში განიხილება ტალღური მოძრაობის მდგრადობა წრიული კვეთის უდაწერეთ წყალსატარებელი. ტალღური შემფოთების მეთოდის გამოყენებით პირველადაა მათემატიკურად დასაბუთებული, თუ რატომ ხდება წრიული კვეთის გვირაბებსა და მილსადენებელი ნაკადის შეფერხებით გადინება, როცა ისინი თითქმის პირამდება სავსე. მიღებული თეორიული შედეგები სრულ შესაბამისობაშია არსებულ ექსპერიმენტებსთვის და ნატურულ დაკვირვებებთან, რომელთა თანახმად წრიული კვეთის წყალსატარში ნაკადის შეფერხებით გადინება ყოველთვის კლინდება წყალსატარის 92–93%-ით შევსებისას.

გამოყვანილია აგრეთვე მცირედ და ნახევრად შევსებულ წრიული კვეთის წყალსატარში ნაკადის ტალღური შემფოთების ასიმპტოტური განტოლებები, რომელთა ანალიზი მიუთითებს წყალსატარში ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის მდგრადობაზე.

ნაშრომი შესრულებულია შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის FR 35/9-120/14 გრანტის ფარგლებში.

**საკვანძო სიტყვები:** უდაწერეთ წყალსატარი; წრიული კვეთი; ტალღური მოძრაობა; მდგრადობა.

### 1. შესავალი

საინჟინრო თვალსაზრისით, მდგრადობის შესწავლა აუცილებელია წყალსატარი ნაგებობების ზომების დასადგენად, ვინაიდან თუ მხედველობაში არ იქნა მიღებული ნაკადების მდგრადობა და წყალსატარი ნაგებობა (არხი, სწრაფდენადი,

სადერივაციო თუ საკანალიზაციო გვირაბი და ა.შ.) გათვლილია მხოლოდ დამყარებული ან დაუმყარებელი რეჟიმისთვის, შეიძლება მოხდეს, მაგალითად, უდაწნევო რეჟიმისთვის გათვალისწინებული გვირაბის დაწნევით ან ნახევრად დაწნევით, იმპულსურ რეჟიმებში გადასვლა, რაც მეტად არასასურველია გვირაბის მწყობრიდან გამოსვლის ან მისი სრული დანგრევის თვალსაზრისით.

გამოკვლევები გვიჩვენებს, რომ ზოგადად ნაკადის მდგრადობას განაპირობებს მისი სიჩქარე, წყალსატარის გეომეტრიული ზომები და ფორმა. ამ უკანასკნელზე მდგრადობის დამოკიდებულება ნაკლებადაა შესწავლილი თუ არ ჩავთვლით ქართველ მეცნიერთა (თ. ვოინიჩ-სიანოვენსკის, ნ. ქართველიშვილისა და ა.შ.) შრომებს [1, 2], რომლებშიც პიდრავლიკური მეთოდებით შესწავლილია ნაკადების მდგრადობაზე წყალსატარის პიდრავლიკური მაჩვენებლის გავლენა.

პიდრავლიკური მეთოდებისგან განსხვავებით, უფრო „სუფთა“ პიდროდინა-მიკური მეთოდებით ნაკადების მდგრადობის კვლევა სხვადასხვა ფორმის წყალსატარში უადრესად რთული მათემატიკური აპარატის გამოყენებასთანაა დაკავშირებული. ეს შეეხება ტალღური შეშფოთებების შესწავლას ისეთი ერთი შეხედვით მარტივი კვეთისთვის, როგორიცაა ნახევრად წრიული კვეთის წყალსატარი (ლამბი [3]), რომ არაფერი ვთქვათ წრიული წყალსატარის ნებისმიერი შევსებაზე. მაგრამ, გარკვეული მიახლოებით, მაინც შესაძლებელია სამი, პრაქტიკული თვალსაზრისით, მეტად მნიშვნელოვანი ზღვრული შემთხვევის ანალიზური განხილვა და შესაბამისი დასკვნების გამოტანა. ეს შემთხვევებია:

1. წრიული კვეთის წყალსატარი თითქმის პირამდეა შევსებული;
2. წყალსატარში წყლის სიღრმე მცირეა მის რადიუსთან შედარებით;
3. წრიული კვეთის წყალსატარი ნახევრადაა შევსებული.

## 2. მიზითადი ნაწილი

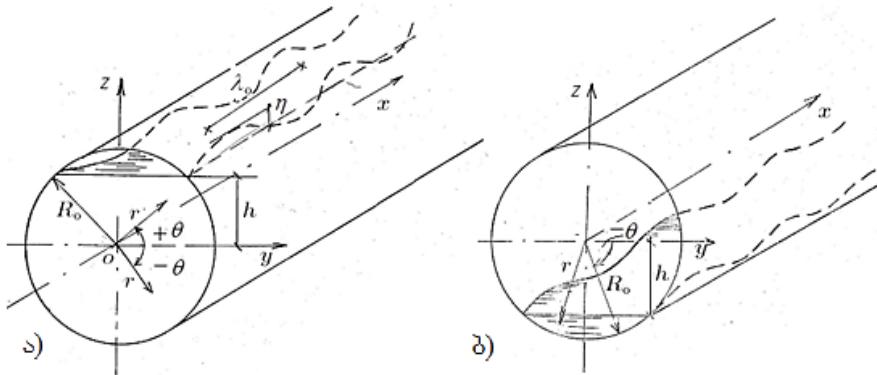
წრიული კვეთის უდაწნევო წყალსატარებში ტალღურ მოძრაობათა შესწავლისას უფრო მოსახერხებელია, თუ ვისარგებლებთ ნახაზზე წარმოდგენილი ცილინდრული  $x, r, \theta$  საკოორდინატო სისტემით და დერძის გასწვრივ მუდმივი სიჩქარით მოძრავი ნაკადის თავისუფალ ზედაპირზე ტალღური მოძრაობის გაწრფივებულ განტოლებათა სისტემას [3, 4] ჩავწერთ შემდეგი სახით:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} = 0; \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + U_0^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + 2U_0 \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial t} = -g \sin \theta \frac{\partial \varphi}{\partial r} - g \frac{\cos \theta}{r} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \theta}, \text{ როცა } r \sin \theta = \pm h; \quad (2)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial r} = 0, \text{ როცა } r = R_0, \quad (3)$$

სადაც (1) განტოლება სითხის უწყვეტობის ლაპლას-ჰელმინგის განტოლებაა, ტალღურ მოძრაობათა სიჩქარის  $\varphi$  პოტენციალის მიმართ, რომელიც სრულდება სითხის მიერ დაკავებულ ნებისმიერ წერტილში; (2) განტოლება ( $\varphi$  დრო  $t$  დროა) – გაწრფივებული დინამიკური სასაზღვრო პირობა, რომელიც სრულდება  $U_0$  მუდმივი სიჩქარით მოძრავი სითხის შეუშფოთებელ ზედაპირზე; მისი განტოლება  $r \sin \theta = \pm h$ , სადაც  $h$  ნაკადის შეუშფოთებელი ზედაპირის ნიშნულია, ათვლილი წყალსატარის ეკვატორული სიბრტყიდან; „ $\pm$ “ნიშნები აიღება, შესაბამისად, წყალსატარის ნახევარზე მეტად და ნაკლებად შევსების შემთხვევაში; (3) სასაზღვრო პირობა – სიჩქარის ნორმალური მდგენელის ნულთან ტოლობა  $R_0$ -რადიუსიანი წყალსატარის შიგა ცილინდრულ ზედაპირზე და მიგვითითებს წყალსატარის უკონვადობაზე.



წრიული ქვეთის უდაწნეო წყალსატარში ნაკადის ტალღური  
მოძრაობის საანგარიშო სქემები: а) თითქმის ხავსე წყალსატარი;  
б) რადიუსთან შედარებით ძირი და შევსებული წყალსატარი

ამასთან, შერჩეულ ცილინდრულ საკოორდინატო სისტემაში, სითხის ნაწილაკების სიჩქარის  $x$  დერძის გასწვრივი, რადიალური ( $r$  რადიუს-ვექტორის გასწვრივი) და

ტანგენციური ( $r$  რადიუს-ვექტორის მიერ შემოწერილი რკალის მხები) მდგენელები შესაბამისად განისაზღვრება შემდეგი სახით:

$$u_x = U_0 + \frac{\partial \varphi}{\partial x}; \quad v_r = \frac{\partial \varphi}{\partial r}; \quad v_\theta = \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta}, \quad (4)$$

ხოლო კავშირი ამავე ნახაზზე მოყვანილ  $x, r, \theta$  ცილინდრულ და  $x, y, z$  დეკარტის კოორდინატთა სისტემებს შორის - ტოლობებით:

$$x = x; \quad y = r \cos \theta; \quad z = r \sin \theta. \quad (5)$$

აქ იგულისხმება, რომ  $x$  დერძი კვლავ ემთხვევა წყალსატარის დერძს, ხოლო  $z$  დერძი წრიული წყალსატარის გეომეტრიული ცენტრიდან გერტიკალურად ზევითადა მიმართული.

დასმული სასაზღვრო ამოცანის ზოგადი ამოხსნა დაკავშირებულია ჯერჯერობით გადაუჭრელ მათემატიკურ პრობლემებთან, რადგან შეუძლებელია შეირჩეს ისეთი საკოორდინატო სისტემა, რომელშიც წყალსატარის ცილინდრული ზედაპირი და მასში გამავალი ნაკადის თავისუფალი ზედაპირი ერთდროულად იქნება ასახული წრფივი დამოკიდებულებების მეშვეობით. კერძოდ, თუ ჩვენ მიერ შერჩეულ ცილინდრულ საკოორდინატო სისტემაში წყალსატარის კედელი აღიწერება  $r = R_0$  წრფივი (3) განტოლებით, მაშინ ნაკადის შეუშფოთებელი პორიზონტალური ზედაპირი აისახება არაწრფივი  $r \sin \theta = \pm h$  დამოკიდებულებით. დეკარტის საკოორდინატო სისტემაში პირიქით ხდება: ნაკადის თავისუფალი (შეუშფოთებელი) ზედაპირი აისახება წრფივი პირობით, ხოლო მისი შემომზღუდავი ცილინდრული ზედაპირი – არაწრფივით. სხვა სახის გარდაქმნები იწვევს ძირითად განტოლებათა სისტემის არაწრფივ ცელილებას და წარმოშობს ახალ სირთულეებს. სწორედ ამის გამო იძულებული ვართ შემოვიფარგლოთ წყალსატარის იმ სამი მახასიათებელი შევსების განხილვით, რომლებიც ზემოთ იყო ჩამოთვლილი. ამისათვის თავდაპირველად ჩავატაროთ ზოგადი ხასიათის გარდაქმნები, რომლის საფუძველია პოტენციალის წარმოდგენა  $t$  დროსა და  $x$  გრძივი კოორდინატის გასწვრივ პერიოდული კომპლექსური ფუნქციის სახით:

$$\varphi = \Psi(r, \theta) e^{i(\sigma t - kx)}, \quad (6)$$

სადაც  $e$  ადნიშნავს ექსპონენტას (ნებერის რიცხვს);  $i$  – წარმოსახვითი ერთეული;  $\sigma = 2\pi/\tau$  – ტალღურ მოძრაობათა სიხშირე;  $\tau$  – პერიოდი;  $-k = 2\pi/\lambda$  – ტალღური ფუნქციის სახით:

რი რიცხვი,  $\lambda$  – ზედაპირული ტალღების სიგრძე (მანძილი ტალღური ზედაპირის ერთნაირ ფაზაში მყოფ ორ მეზობელ წერტილს შორის).

ძირითად განტოლებათა (1÷3) სისტემა, (6) აღნიშვნის გათვალისწინებით, სტანდარტული გარდაქმნების შემდგა იქნება:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial \theta^2} - k^2 \psi = 0; \quad (7)$$

$$(\sigma - kU_0)^2 \psi = g \sin \theta \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{g \cos \theta}{r} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial \theta}, \text{ როცა } r \sin \theta = \pm h; \quad (8)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial r} = 0, \text{ როცა } r = R_0. \quad (9)$$

(7÷9) განტოლებათა სისტემა კვლავ ინარჩუნებს ზოგადობას, რადგან იგი შეიძლება საფუძვლად დაედოს ნებისმიერი რადიუსისა და შევსების წრიული პვე-  
თის წყალსატარში უდაწერ ნაკადის თავისუფალ ზედაპირზე ზედდებული ტალ-  
ღების გაანგარიშებისა და მდგრადობის საკითხების შესწავლას.

ნაკადის მდგრადობა თითქმის პირამდე შევსებულ წყალსატარში. თუ წყალსა-  
ტარი თითქმის პირამდეა სავსე, შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ ნაკადის ვიწრო თა-  
ვისუფალი ზედაპირის ფარგლებში პოლარული კუთხის ცვლილება უმნიშვნელოა  
და მისი სინუსი და კოსინუსი, შესაბამისად, დებულობს მნიშვნელობებს:  $\sin \theta \approx 1$ ;  
 $\cos \theta \approx 0$ . ამ შემთხვევაში, (8) პირობიდან გამომდინარე, შეგვიძლია ასევე მივიჩი-  
ოთ, რომ  $\psi$  ფუნქცია არ იცვლება  $\theta$  კუთხეზე დამოკიდებულებით არც თავი-  
სუფალ ზედაპირზე და არც სითხის ნებისმიერ შიგა წერტილში; (7) განტოლებაში  
უგულებელვყოთ პოტენციალის მეორე წარმოებული პოლარული კუთხით, მაშინ  
(7÷9) განტოლებათა სისტემა გამარტივდება და მიიღებს სახეს:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial r} - k^2 \psi = 0; \quad (10)$$

$$(\sigma - kU_0)^2 \psi = g \frac{\partial \psi}{\partial r}, \text{ როცა } r = h; \quad (11)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial r} = 0, \text{ როცა } r = R_0. \quad (12)$$

როგორც ვხედავთ (და ეს მეტად მნიშვნელოვანია), გამარტივდებული (11) სა-  
საზღვრო პირობა, ძირითადი (8) პირობისგან განსხვავებით, წყლის ზედაპირის სი-

განის სიმცირის გამო, სრულდება არა, როცა  $r \sin \theta = h$ , არამედ სიმეტრიის დერძის  $r = h$  წერტილში.

(10)÷(12) სასაზღვრო ამოცანა ზუსტ ამოხსნას ექვემდებარება. კერძოდ, (10) განტოლების ამონახსნი ზოგადი სახით ჩაიწერება ბესელის ნულოვანი რიგის მოდიფიცირებულ ფუნქციებში [5, 6, 7]:

$$\Psi = C_1 I_0(kr) + C_2 K_0(kr), \quad (13)$$

სადაც  $C_1$  და  $C_2$  ინტეგრირების მუდმივებია ( $K_0$  ფუნქციას მაკდონალდის ფუნქციას უწოდებენ).  $I_0(kr)$  და  $K_0(kr)$  ფუნქციები განეკუთვნება სპეციალურ ფუნქციათა კლასს, რომლებიც არ გამოისახება ელემენტარულ ფუნქციებში. ამიტომ, საინჟინრო დაპროექტებისას სპეციალური ფუნქციების ნაცვლად ხშირად მიმართავენ ამ ფუნქციების ასიმპტოტურ (ზღვრულ) გამოსახულებებს, რომლებიც, როგორც წესი, გამოისახება რა ელემენტარული ფუნქციების მეშვეობით, პასუხობს არგუმენტის (ჩვენს შემთხვევაში  $kr$ -ის) დიდ მნიშვნელობებს [6, 7, 8]. ამ ასიმპტოტური ფორმულების გათვალისწინებით, ზოგადი (13) ამონახსნი ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\Psi = C_1 \frac{e^{kr}}{\sqrt{2\pi kr}} + C_2 \sqrt{\frac{\pi}{2kr}} e^{-kr}. \quad (14)$$

თუ გამოვიყენებთ ასიმპტოტური გამოსახულების გაწარმოების წესს [4,9], გავაწარმოებთ (14) გამოსახულებას და ჩავსვამთ (12) სასაზღვრო პირობაში,  $C_1$  და  $C_2$  მუდმივები შესაძლებელია დავიყვანოთ ერთ  $C$  მუდმივაზე:

$$C_1 \frac{1}{\sqrt{2\pi k}} \cdot \frac{e^{kR_0}}{\sqrt{R_0}} = C_2 \sqrt{\frac{\pi}{2k}} \cdot \frac{1}{\sqrt{R_0}} e^{-kR_0} = \frac{C}{2}, \quad (15)$$

საიდანაც ადგილად განისაზღვრება  $C_1$  და  $C_2$  მუდმივები, ხოლო ამ უკანასკნელთა ჩასმით (14) გამოსახულებაში პოტენციალის საძიებელი  $\Psi$  ნაწილი (ამალიტურა)

$$\Psi = C \frac{\sqrt{R_0}}{\sqrt{r}} \cosh k(R_0 - r). \quad (16)$$

(16) გამოსახულებისა და მისი ასიმპტოტური წარმოებულის ჩასმით (11) სასაზღვრო პირობაში, რომელიც სრულდება სითხის თავისუფალ ზედაპირზე, სადაც  $r \approx h$ , საბოლოოდ მივიღებთ ტალღურ რხევათა სისტემის განმსაზღვრელ განტოლებას:

$$(\sigma - kU_0)^2 \cosh k(R_0 - h) = -g \sinh k(R_0 - h), \quad (17)$$

რომლის ამოხსნას  $\sigma$  სიხშირის მიმართ აქვს შემდეგი სახე:

$$\sigma = kU_0 \pm \sqrt{-gk \tanh k(R_0 - h)}. \quad (18)$$

სწორედ (18) გამოსახულების საფუძველზე შეგვიძლია ვიმსჯელოთ სითხის ტალღური მოძრაობის პელმატოლცისეულ მდგრადობაზე თითქმის პირამდე შევსებულ წყალსატარში. კერძოდ, (18) დამოკიდებულების თანახმად, ვინაიდან წყლის ზედაპირის ნიშნული  $h$  ყოველთვის ნაკლებია წყალსატარის (გვირაბის)  $R_0$  რადიუსზე, ხოლო ტალღური რიცხვი  $k > 0$ , ფენექვეშ მოთავსებული სიდიდე უარყოფითია, რის გამოც, (18) გამოსახულებით დადგენილი ტალღურ რხევათა სიხშირე კომპლექსური რიცხვია

$$\sigma = kU_0 \pm i\sqrt{gk \tanh k(R_0 - h)}. \quad (19)$$

თუ (19) ტოლობით განსაზღვრულ სიხშირის ამ მნიშვნელობას ჩავსვამთ სიჩქარეთა ველის პოტენციალის (6) გამოსახულებაში, ადვილად დავრწმუნდებით, რომ (19) ფორმულის ერთ-ერთ ფენეს, კერძოდ უარყოფითნიშნიანს, მივყავართ პოტენციალის დროის მიმართ ექსპონენციალურად ზრდად დამოკიდებულებამდე:

$$\varphi \sim e^{mt}, \text{ სადაც } m = \sqrt{gk \tanh k(R_0 - h)} \quad (20)$$

ანუ ტალღური მოძრაობის არამდგრადობამდე.

ამრიგად, თუ წრიული კვეთის წყალსატარი (გვირაბი ან მილსადენი) თითქმის პირამდეა სავსე, მაშინ ამ ნაკადის ზედაპირზე აღძრული ნებისმიერი შეშფოთება აუცილებლად გაიზრდება და გამოიწვევს სითხის აშეფებას წყალსატარის ჭერზე. ეს მოხდება მაშინაც კი, როცა საქმე გვაქვს წრიული განივავეთის თითქმის პირამდე შევსებულ გრძელ ავზთან, რომელშიც წყალი უძრავია ( $U_0 = 0$ ).

როცა  $U_0 \neq 0$ , არამდგრადობის ეს გამოვლინება განაპირობებს ძირითადი, გასწვრივი დინების შეფერხებას და წრიული კვეთის წყალსატარის გამტარუნარიანობის შემცირებას (გავიხსენოთ თუნდაც ბოთლიდან წყლის გადმოსხმის პროცესი, რომელსაც მუდამ ახლავს ჭავლის რეევა და სითხის იმპულსური აშეფება ბოთლის ჭერზე, რადგან წყალს უჭირს თანაბარი სიჩქარით გადმოდვრა ბოთლის შევიწროებული ყელიდან).

წრიული კვეთის წყალსატარების ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები მართლაც ადასტურებს იმ ფაქტს, რომ, როცა წყალსატარი თითქმის პირამდეა სავსე, მეტად რთულდება მასში გამავალი სითხის ხარჯის გაზომვა. ქართველ ჰიდროგ-

ლიკოს-ექსპერიმენტაციონთა ერთ-ერთი თვალსაჩინო წარმომადგენელი ა. ჭანიშვილი, მის მიერ ჯერ კიდევ 1947 წელს ჩატარებული სკურპულოზური ცდების შედეგად მივიდა დასკვნამდე [10], რომ „საკმარისად საიმედო ექსპერიმენტირება შესაძლებელია მხოლოდ 0,93–0,95 D-ს (D დიამეტრია) ტოლ შევსებამდე. როცა შევსება იცვლებოდა 93–95%-დან 100%-მდე, ცდების ჩატარება შეუძლებელი ხდება. მიღსადენის თითქმის პირამდე შევსებისას ვერ გვიშველა ვერც სავენტილაციო ხვრელებმა და ვერც სათვალთვალო დიობებმა“. გარდა ამისა, რაც ჩვენთვის ყველაზე უფრო აღსანიშნავია, ა. ჭანიშვილი ასკვნიდა, რომ „მიუხედავად ქანობების ცვლილებისა (ე.ი. სიჩქარეების ცვლილებისა, ავტ.), ექსპერიმენტულ მიღსადენში მაქსიმალური გამტარუნარიანობა (ე.ი. სითხის მდგრადი სახით გატარება, ავტ.) აღინიშნებოდა მიღსადენის 92–93%-ით შევსებისას“. ამავე დროს, „ცდებით ვერ იქნა დადგენილი, რა გავლენა აქვს ვენტილაციას (ანუ ჰაერის შრის არსებობას, ავტ.) ზოგადად ნაკადის წინაღობაზე“.

როგორც ვხედავთ, ჩვენი თეორიული შედეგები სრულ შესაბამისობაშია ა. ჭანიშვილის ლაბორატორიული კვლევების შედეგებთან. ეს შესაბამისობა, გარდა იმისა, რომ არამდგრადობის მახასიათებელი  $m$  მაჩვენებელი არ არის დამოკიდებული ნაკადის თანაბარი მოძრაობის  $U_0$  სიჩქარეზე, ვლინდება იმაშიც, რომ (20) გამოსახულების თანახმად,  $m$  დამოკიდებულია ( $R_0 - h$ ) დიობზე სითხის თავისუფალი ზედაპირსა და წყალსატარის ჭერს შორის შეშფოთების ტალღის სიგრძეზე ( $\lambda = 2\pi/k$ ). ამ სიდიდეების ზრდასთან ერთად მცირდება  $m$  კოეფიციენტი და ნაკადი მიისწრაფვის სტაბილურობისკენ.

წრიულ წყალსატარებში სითხის მოძრაობის თავისებურების ამ გამოვლინებას პიდრავლიკოსთა ერთი ნაწილი საერთოდ უარყოფდა და მიაჩნდა, რომ სითხის დონის მატებასთან ერთად ხდება ნაკადის სარჯის გამუდმებული მატება [11], ხოლო მეორეს (მათ შორის თვით ა. ჭანიშვილს და ამჟამადაც ასეა მიჩნეული პიდრავლიკის უმრავლეს სახელმძღვანელოში) – რომ არამდგრადობის ეს გამოვლინება აიხსნება შეზის ემპირიული ფორმულის განზოგადებით უდაწეო წრიული კვეთის წყალსატარებზე. კერძოდ, შეზის ფორმულის თანახმად, მიაღწევს რა წყლის სარჯი გარკვეულ შევსებას (95%-ს ლუგერის მიხედვით [12]), თანდათანობით იწყებს კლებას გარკვეულ მნიშვნელობამდე, რაც შეიძლება (მაგრამ მათემატიკურად დაუსაბუთებლად) საფუძვლად დაედოს განხილული მოვლენის ახსნას. ჩვენი კვლევის შედეგად კი, როცა წრიული კვეთის წყალსატარი 90%-ით და მეტა-

დაა შევსებული, შეზის ფორმულით სარგებლობა დაუშვებელია, ვინაიდან ასეთი შევსებისას, როგორც ზემოთ იყო ნაჩვენები, პრინციპულად შეუძლებელია მდგრადი სტაციონარული რეჟიმის რეალიზება, რასაც შეესაბამება შეზის ფორმულა.

სწორედ, ნაკადის არამდგრადი გადინება იწვევს თითქმის პირამდე სავსე წყალსატარში ხარჯისა და სიჩქარის ხან იმპულსურ მატებას, ხან კლებას.

ნაკადის მდგრადობა მცირედ შევსებულ წყალსატარში. ამ კერძო ზღვრულ შემთხვევაში (ნახაზი, ბ)  $\theta$  პოლარული კუთხე დებულობს თითქმის  $-90^\circ$ -ის ტოლ უარყოფით მნიშვნელობებს ისე, რომ კმაყოფილდება შემდეგი მიახლოებითი ტოლობები:  $\sin \theta \approx -1$  და  $\cos \theta \approx 0$ .

ასეთ შემთხვევაში ანუ როცა წყლის პორიზონტი წყალსატარის ცენტრის ქვემოთად მოქცეული, (2) დინამიკურ სასაზღვრო პირობაში  $h$ -ის წინ საჭიროა „–“ ნიშანი. შედეგად, (5÷7) განტოლებათა სისტემა მიიღებს სახეს:

$$\frac{d^2\psi}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{d\psi}{dr} - k^2\psi = 0 ; \quad (21)$$

$$(\sigma - kU_0)^2 \psi = -g \cdot \frac{d\psi}{dr}, \quad \text{როცა } r = h; \quad (22)$$

$$\frac{d\psi}{dr} = 0, \quad \text{როცა } r = R_0. \quad (23)$$

აქაც, ისევე როგორც (10) განტოლებაში, უგულებელყოფილია პოტენციალის მეორე რიგის წარმოებული პოლარული კუთხით, როგორც მცირე სიდიდე. ეს უგულებელყოფა მნიშვნელოვნადაა განპირობებული იმითაც, რომ როგორც (10), ისე (22) სასაზღვრო პირობებში, რომლებიც სრულდება სითხის თავისუფალ ზედაპირზე, არ შედის პოტენციალის წარმოებული პოლარული კუთხით.

(9)÷(11) და (21)÷(23) განტოლებათა სისტემებს შორის სხვაობა გლინდება მხოლოდ „–“ ნიშანში, რომელიც თავს იჩენს  $\frac{d\psi}{dr}$ -ის წინ (22) სასაზღვრო პირობაში.

(21)÷(23) სისტემის ამოხსნა ფაქტობრივად იმეორებს წინა პუნქტში მოყვანილი ამოხსნის პროცედურას. აქ შემოვიფარგლებით მხოლოდ ამოხსნის საბოლოო – ასიმპტოტური შედეგების მოყვანით. კერძოდ, ისევე როგორც წინა შემთხვევაში, სიჩქარეთა ველის პოტენციალი ასიმპტოტური სახით ჩაიწერება შემდეგი კომპლექსური დამოკიდებულებით:

$$\varphi = \Psi \cdot e^{i(\sigma t - kx)} = C \sqrt{\frac{R_0}{r}} \cosh k(R_0 - r) e^{i(\sigma t - kx)}. \quad (24)$$

მაგრამ ამ შემთხვევაში, (19) დამოკიდებულებისგან განსხვავებით, დისპერსიული კავშირი ტალღურ რხევათა სიხშირესა და ტალღურ რიცხვს შორის გამოითვლება ფორმულით:

$$\sigma = kU_0 \pm \sqrt{gk \tanh k(R_0 - h)}, \quad (25)$$

რომლის თანახმად, ტალღური რხევების სიხშირე არ არის კომპლექსური სიდიდე, რაც მიგვითითებს ტალღურ მოძრაობათა მდგრადობაზე წრიული კვეთის წყალსატარის მცირედ შევსების შემთხვევაში.

ნაკადის მდგრადობის შესახებ ნახევრად შევსებულ წრიული კვეთის წყალსატარში. როცა წრიული კვეთის წყალსატარი ნახევრადაა შევსებული, შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ თავისუფალ ზედაპირზე  $\theta$  პოლარული კუთხე იცვლება ნულთან მახლობლობაში ისე, რომ სრულდება შემდეგი მიახლოებითი ტოლობები:  $\sin \theta \approx \theta$  და  $\cos \theta \approx \pm 1$  (ნიშანი „-“ აიღება სიმეტრიის დერმიდან მარცხენა ნახევარწრის განხილვის შემთხვევაში. ჩვენ განვიხილავთ მარჯვენა ნახევარწრეს „+“ ნიშნით, რაც ამოცანის სიმეტრიულობის გამო, მარცხენა ნახევარწრის განხილვის იდენტურია).

ამ ტოლობების გათვალისწინებით, ძირითად განტოლებათა (5)÷(7) სისტემა დებულობს სახეს:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial \theta^2} - k^2 \psi = 0; \quad (26)$$

$$(\sigma - kU_0)^2 \psi = \frac{g}{r} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial \theta}, \text{ როცა } \theta = 0; \quad (27)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial r} = 0, \text{ როცა } r = R_0. \quad (28)$$

როგორც ვხედავთ, (26)÷(28) განტოლებათა სისტემა მნიშვნელოვნად განსხვავდება ზემოთ განხილულ ზღვრულ შემთხვევათა (9)÷(11) და (21)÷(23) სისტემებისგან. ეს სხვაობა, პირველ რიგში, ვლინდება თავისუფალ ზედაპირზე არსებულ (27) პირობაში, რომელშიც ტალღურ რხევათა სიხშირე დამოკიდებულია პოტენციალის წარმოებულზე პოლარული კუთხით. ორი სხვადასხვა არგუმენტით განსაზღვრული (27) და (28) სასაზღვრო პირობები მიგვანიშნებს, რომ განსახილველ შემთხვევაში შესაძლოა ამოცანას პქონდეს მრავალი ამონასსნი ან მიგვითითებდეს

ნახევრად შევსებული წრიული კვეთის პორიზონტალურ წყალსატარში დინების აბსოლუტურ მდგრადობაზე.

### 3. დასპანა

ამგვარად, წყლის ტალღურ მოძრაობათა წრფივი თეორიის ფარგლებში, საინჟინრო პრაქტიკაში პირველად დასაბუთდა კარგად ცნობილი ეფექტი, რაც გამოიხატება თითქმის პირამდე შევსებული წრიული კვეთის ქონების პიდროტექნიკურ ნაგებობებში წყლის ნაკადის იმპულსური აშხევებებით წყალსატარის ჭერზე, რაც აიხსნება მხოლოდ წყლის ტალღურ შეშფოთებათა არამდგრადობით. ეს ეფექტი არ არის დამოკიდებული არც ნაკადის სიჩქარესა და არც პაერის შრის არსებობაზე წყლის ზედაპირსა და წყალსატარის თაღს შორის, დამოკიდებულია მხოლოდ წყალსატარის შევსების დონეზე.

მეორე მხრივ, თუ წრიული კვეთის წყალსატარი ან პორიზონტალური ცილინდრული ავზი მხოლოდ ნახევრამდევ შევსებული, მათში ან საერთოდ არ აღიძვრება ტალღები ან თუ აღიძრა, ამ ტალღებს ექნება მიღევადი ან რეგულარული ხასიათი.

### ლიტერატურა

1. Войнич-Сяноженцкий Т.Г., Тогонидзе Н.В. Трансформация поверхностных волн на течения в условиях изменения глубин//Тр. ЗакНИГМИ, вып. 32(38). Л.: Гидрометеоиздат, 1969, с. 132-149.
2. Картвелишвили Н.А. Неустановившиеся открытые потоки. Л.: Гидрометеоиздат, 1968.–126 с.
3. Ламб Г. Гидродинамика. М.: Гостехиздат, 1947.–928 с.
4. Stoker J.J., Water Waves. Sec. 5.3. Three-dimensional waves against a vertical cliff. 1957.
5. Янке Е., Емде Ф., Леш Ф. Специальные функции, формулы, графики, таблицы/Перевод с немецкого. М.: Наука, 1968.–344 с.
6. Ватсон Г.Н. Бесселевые функции. М.: ИЛ, 1949.–276 с.
7. Никифоров А.Ф., Уваров В.В. Специальные функции математической физики. М.: Наука, 1984.–344 с.
8. Никифоров А.Ф., Сидорчук В.М., Уваров В.В. Основы теории специальных функций. М.: Наука, 1974.–304 с.
9. Федорук М. В. Асимптотические методы для линейных обыкновенных дифференциальных уравнений. М.: Наука, 1983.–352с.
10. Чанишвили А. Г. Безнапорное равномерное движение жидкостей в трубопроводах//Изв. ТНИГЭи, №1. Тбилиси, 1947, с. 69-85.
11. Bülow FR. V. Die Leistungsfähigkeit von Flug BachWerkgraben, Kanal und Rohrquerschnitten. Gesundheits Ingenier, 1927. v. 50. h.262.
12. Евреинов В. Н. Гидравлика. М.: Водный транспорт, Л.: 1939.–632 с.

## შაბ 628.1

# ჩამდინარე წყლების მყარი ფაზის პილრაგლიძური სისხლს დაზუსტების საპითხი

ზ. გვიშიანი, ლ. კლიმიაშვილი, გ. სოსელია, ქ. გორდეზიანი

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** განხილულია ჩამდინარე წყლები როგორც პოლიდისპერსიული, პეტერო-გენერაციული, აგრეგატულად არამდგრადი სისტემა; ექსპერიმენტირებისათვის შექმნილი ხელსაწყო ჩამდინარე წყლებში ნაწილაკების პიდრაგლიკური სისხლს განხაზღვრისათვის მათი გაუმჯორი გარემოს გათვალისწინებით. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია გრაფიკული და ემპირიული დამოკიდებულებების სახით და შეპირისპირებულია სხვა ავტორთა მიერ მიღებულ მონაცემებთან. დადგინდა, რომ მიუხედავად არხებული დასაშვები ცდომილებისა, შესაძლებელია მიღებულ ემპირიულ დამოკიდებულებათა საინჟინრო პრაქტიკაში გამოყენება.

**საკვანძო სიტყვები:** ჩამდინარე წყლები; პოლიდისპერსიული; პეტეროგენერაციული; აგრეგატულად არამდგრადი სისტემა; პიდრაგლიკური სისხლ; პორიზონტალური ქვიშადამჭერი.

## 1. შესავალი

ცნობილია, რომ ჩამდინარე წყლები პოლიდისპერსიული, პეტეროგენერაციული, აგრეგატულად არამდგრადი სისტემაა [1,11,17,18,19]. მისი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები ხარისხობრივად იცვლება მყარი ფაზის დალექვის პროცესში, რაც განპირობებულია ნაწილაკების სიმკვრივით, ფორმით, ზომით, მინერალოგიური და ქიმიური შედგენილობით [2,3,8,10,20]. გასათვალისწინებელია ის გარემოებაც, რომ განსხვავებული ქიმიური შედგენილობის ნაკადთა შერწყმა იწვევს კოგულანტების წარმოქმნას, რაც ცვლის ნაწილაკების ფორმასა და ზომას [6,11,12,13,14]. ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, რთულდება სუსაენზიურ გარემოში მიმდინარე და-

ლექვის პროცესის კანონზომიერებათა განსაზღვრა. კვლევას ვიწყებთ საინჟინრო პრაქტიკაში ადიარებული პიდრავლიკური სისხოს დამოკიდებულებებით მიღებული შედეგების შედარებით [4,5,10,13,14]. მოკლედ აღვწერთ პიდრავლიკური სისხოს განსაზღვრისათვის შემუშავებულ ხელსაწყოს [6,7]; წარმოვადგენთ პიდრავლიკური სისხოს ემპირიულ დამოკიდებულებებსა და მათი გამოყენების მაგალითს – პოროზონტალური ქვიშადამჭერის გაანგარიშებას.

## 2. მიზითადი ნაწილი

ნაწილაკების სუსპენზიურ გარემოში, რომელსაც ჩამდინარე წყლებიც განეკუთნება, გადაადგილების დროს, ვარდნის რეჟიმის მიუხედავად, მოქმედებაში მოდის გარკვეული ზონა, ხოლო ხსნარის დანარჩენი მასა პირობითად უძრავია. შეშფოთებისა და უძრავი ზონების საზღვარზე ადგილი აქვს ძაბვებს, რომლებიც ხსნარის რეოლოგიური მახასიათებლებითაა განპირობებული. ამ საზღვრის გარეთ ძაბვები ხსნარში კლებულობს [3,4,5,6,7,9]. მაშასადამე, ნაწილაკის პიდრავლიკური სისხოს კლასიკური ამოცანა, პოლიდისპერსიულ სისტემებში ვარდნის დროს, საჭიროებს სუსპენზიის ბლანტ-პლასტიკური თვისებების გათვალისწინებას.

პიდრავლიკური სისხოს თეორიულ მოდელს გ. სტოქსის მიხედვით აქვს შემდეგი სახე:

$$u_0 = \frac{gd^2(\rho_2 - \rho_1)}{18\nu}, \quad (1)$$

გამოსახულება (1) გამოიყენება ვარდნის ლამინარული რეჟიმის დროს, როდესაც  $Re < 1$  და ნაწილაკების დიამეტრი  $d < 0.05$  მმ; ხოლო ვარდნის ტურბულენტური რეჟიმის დროს ( $Re \geq 400$  და ნაწილაკების დიამეტრი  $d > 2.5$  მმ) კი:

$$u_0 = \sqrt{\frac{\rho_2 - \rho_1}{0.9\rho_1} gd}, \quad (2)$$

სადაც  $d$  ნაწილაკის დიამეტრია;  $g$  – თავისუფალი ვარდნის აჩქარება;  $\rho_2$  – ნაწილაკის სიმკვრივე;  $\rho_1$  – ხსნარის სიმკვრივე;  $\mu$  – სიბლანტის დინამიკური კოეფიციენტი.

მიუხედავად (1), (2) თეორიული დამოკიდებულებების უნივერსალურობისა, მრავალმა მეცნიერმა ჩაატარა კქსპერიმენტული კვლევა მისი დაზუსტებისა და სრულყოფის მიზნით. მიღებულია დამოკიდებულებები, რომლებიც განსაზღვრავს კოეფიციენტებს ზემოაღნიშნული მოდელისათვის. მათ განეკუთნება მ. ველიკა-

ნოვისა და ა. ზეგედას [4,5,10] მიერ საკუთარი და სხვა მეცნიერთა ექსპერიმენტულ კვლევებზე დაყრდნობით მიღებული ემპირიული დამოკიდებულება სფეროსებრი ნაწილაკებისათვის:

$$\frac{gd\left(\frac{\rho_2}{\rho_1}-1\right)}{u_0} = 0.105 + 4.5Re^{-1} + \frac{2.655}{\pi} \operatorname{arctg} \sqrt{Re^{-1}} , \quad (3)$$

სადაც

$$Re = \frac{u_0 r}{\nu} .$$

გამოსახულება (3) მარტივი გარდაქმნების შემდეგ სტოქსის ფორმულის სახეს იღებს მცირე ზომის ნაწილაკებისათვის, ხოლო მსხვილი ნაწილაკების შემთხვევაში – რეტინგერისას. გასათვალისწინებელია, რომ  $d$  ეკვივალენტური დიამეტრია.

უ. რუბმა მიიღო დამოკიდებულება, რომელიც გამოიყენება რეინოლდსის რიცხვის ნებისმიერი მნიშვნელობებისათვის:

$$u_0 = F \sqrt{dg \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1}} , \quad (4)$$

სადაც

$$F = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36\mu^2}{gd\rho_1(\rho_2 - \rho_1)}} .$$

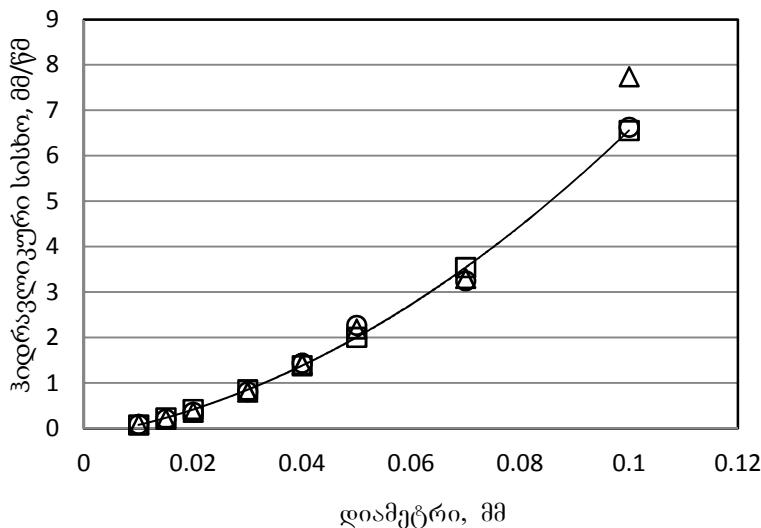
მცირე ზომის ნაწილაკებისათვის მიღებული შედეგების შესამოწმებლად საჭიროა სპეციალური ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება. გასათვალისწინებელია გაუმჯორი გარემო, რომელსაც ჩამდინარე წყლები განეკუთვნება.

ექსპერიმენტის ჩასატარებლად შეიქმნა ხელსაწყო, რომელიც შედგებოდა: მყარ ფუძეზე დამაგრებული შუშის მილისაგან, ჰოლის სენსორებისა (მაგნიტური ველის მარეგისტრირებელი გადამწოდები) და კომპიუტერთან შეუდლების ბლოკისგან. მოწყობილობის მოქმედების პრინციპი გადამწოდების მიერ გაგზავნილ სიგნალთა დროის შეალების დაფიქსირებაშია. სიგნალები წარმოიქმნებოდა გადამწოდების გასწრივ, მაგნიტური მტვერით დანიშნული ნაწილაკების ჩავლისას. გადამწოდების შორის მანძილი 500 მმ იყო. ხელსაწყოს ტარირებისათვის განისაზღვრა ცდომილება, რომელმაც  $\pm 0.15\%$  შეადგინა.

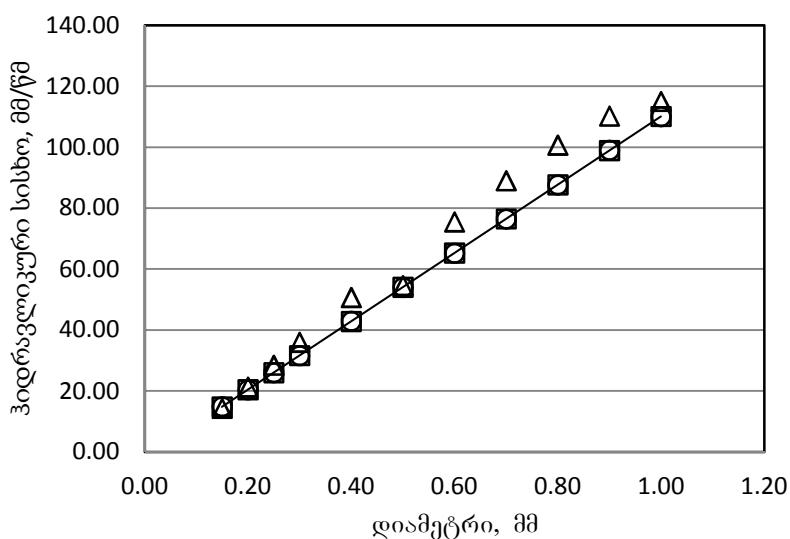
ექსპერიმენტის საწყის ეტაპზე მოხდა ნაწილაკების დახარისხება ფორმისა და დიამეტრის მიხედვით. ნაწილაკები დაიყო 3 ჯგუფად: 1. 0,01 მმ-დან 0,1 მმ ჩათვ-

ლით; 2. 0,15 მმ-დან 1 მმ ჩათვლით; 3. 1 მმ-დან 10 მმ ჩათვლით. ჯგუფების მოხედვით ჩატარდა ცდები წყალში სფეროსებრი ნაწილაკებისათვის. ექსპერიმენტების დროს ნაწილაკები ვარდებოდა წყლის ზედაპირიდან მიღის დერძის გასწვრივ.

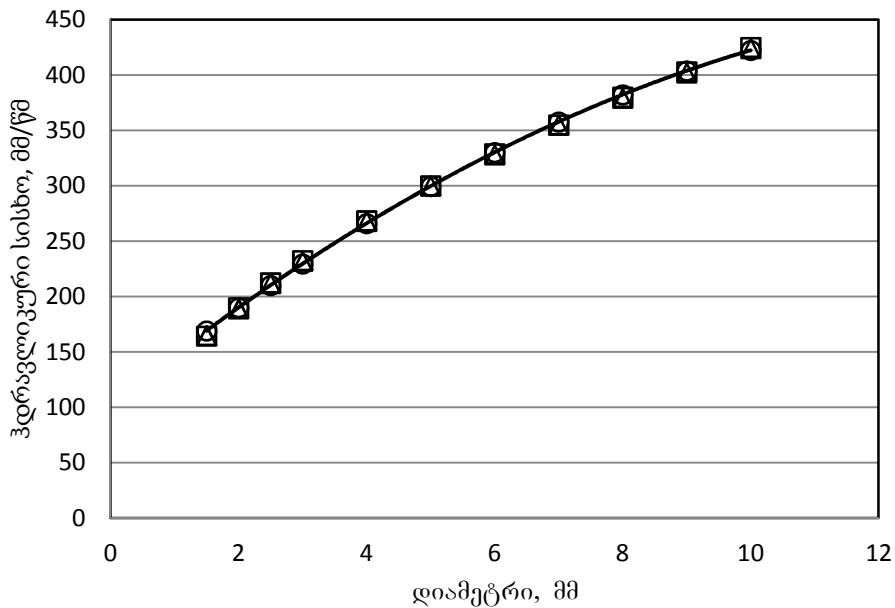
კვლევის შედეგები წრეწირზე აღნიშნულია მარკერებით (ნახაზები: 1, 2 და 3). მართკუთხედი მარკერებით ნაჩვენებია პ. გონჩაროვის [10], სამკუთხედი მარკერებით კი – "პ. ვედენევის სახელობის სკი-ს" მონაცემები [13].



ნახ. 1. სფეროსებრი ნაწილაკების პიდრავლიკური სისხო  
მათი წყალში ვარდნის დროს,  $d = 0,01\text{მმ}$ -დან 0,1 მმ ჩათვლით



ნახ. 2. სფეროსებრი ნაწილაკების პიდრავლიკური სისხო  
მათი წყალში ვარდნის დროს,  $d = 0,15 \text{ მმ}$ -დან 1მმ ჩათვლით



ნახ. 3. სფეროსებრი ნაწილაკების პიდრავლიკური სისხო  
მათი წყალში ვარდნის დროს,  $d = 18\text{--}26 \text{ mm}$  ჩათვლით

მონაცემთა დამუშავების მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდების გამოყენებით ნაწილაკთა თითოეული ჯგუფისთვის მიღებულია ემპირიკული დამოკიდებულება:

$$u_0 = 475,2d^2 + 19,73d - 0,169 \quad (5)$$

$$u_0 = 112,0d - 1,96 \quad (6)$$

$$u_0 = -1,498d^2 + 47,01d + 101,9 \quad (7)$$

სადაც  $u_0$  ნაწილაკების პიდრავლიკური სისხოა ( $\text{მმ}/\text{წმ}$ );  $d$  – ნაწილაკების დიამეტრი ( $\text{მმ}$ ).

(5), (6) და (7) გამოსახულებებში საშუალო კვადრატულმა გადახრამ, შესაბამისად,  $R^2 = 0.995$ ,  $R^2 = 1$ ,  $R^2 = 0.999$  შეადგინა, რაც მისი პრაქტიკულად გამოყენების საშუალებას იძლევა [15].

**გაანგარიშების მაგალითი.** გამოვთვალოთ ჰორიზონტალური ქვიშადამჭერის ზომები.

მოცემულია:

- ჩამდინარე წყლების მაქსიმალური და მინიმალური ხარჯები:  $q_{\max} = 0.75 \frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}}$

და  $q_{\min} = 0.25 \frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}}$ ;

- წყლის სიღრმე მიმწოდებელ არხში მაქსიმალური ხარჯის დროს:  $h=0,9$  მ;
- წყლის ნაკადის სიჩქარე მაქსიმალური ხარჯის დროს:  $V_{max}=300$  მმ³/მ;
- დასალექი ნაწილაკების დიამეტრი:  $d = 0,25\text{მმ}$ ;
- წყლის ტემპერატურა –  $20^{\circ}\text{C}$ .

**ამონენა:** მოცემული დიამეტრის ნაწილაკებისათვის პიდრავლიკური სისხოს მნიშვნელობა განისაზღვრება [2]-ში წარმოდგენილი ცხრილის შესაბამისად და უდრის:  $u_0=26,0$  მმ³/მ ბ. ვედენევის სახელობის სკო-ს [13] მონაცემები – 28,5 მმ³/მ, ხოლო დამოკიდებულება (13)-ის თანახმად იქნება: 26,05 მმ³/მ. აღსანიშნავია, რომ [13]-ს მონაცემთა ცხრილში  $15^{\circ}\text{C}$  წყლის ტემპერატურისას ნაწილაკთა პიდრავლიკური სისხოს მნიშვნელობა 26,7 მმ³/მ-ია.

W ნაკადის სიჩქარის ვერტიკალური ტურბულენტური მდგენელი განისაზღვრება ფორმულით:  $w = 0.05V_{max}=0.05 \times 300=15\text{მმ}^3/\text{მ}$  (გაანგარიშება გრძელდება ცხრილში).

### პორიზონტალური ქვიშადამჭერის გაანგარიშება

საანგარიშო ფორმულა	ბ. გონჩაროვი	ბ. ვედენევის სახელობის სკი	დამოკიდებულება (13)
ნაწილაკების დალექვის სიჩქარე ( $\text{მმ}/\sqrt{\text{მ}}$ ): $u = \sqrt{u_0^2 - w^2}$	21,26	24,23	21,30
ქვიშადამჭერის სიგრძე (მ): $L = \frac{V_{max} \cdot h}{u}$	12,70	9,47	12,67
ქვიშადამჭერის წყლის სარკის ფართობი (მ²): $F = \frac{q_{max}}{u}$	35,27	26,3	35,21

### 3. დასპანა

ჩამდინარე წყლების პოლიდისპერსიულ, პეტეროგენულ და აგრეგატულად არამდგრად ბუნებას კარგად მიესადაგება დ.სტოქსის პიდრავლიკური სისხოს მოდელი სუსპენზიური გარემოსთვის (ფორმულა (4)). მისი გამოყენება შესაძლებელია ნა-

წილაკის ჰიდროგლიკური სისხოს სუსპენზიურ გარემოში განსაზღვრისას, რეოლოგიური პარამეტრების გათვალისწინებით და ვარდნის ლამინარული რეჟიმის დროს.

(5), (6) და (7), დამოკიდებულებები შეპირისპირებული იყო სხვა ავტორების მიერ მიღებულ მონაცემებთან. ჩატარდა პორიზონტალური ქვიშადამჭერის ზომების გაანგარიშება პ. გონჩაროვისა და (13) დამოკიდებულების მონაცემების გამოყენებით. პორიზონტალური ქვიშადამჭერის სიგრძე 13 მ-ია (ი. ცხრილი), შედეგი იდენტურია. ზემოაღნიშნული დამოკიდებულებების გამოყენება პრაქტიკულ საქმიანობაში საკმაოდ ითლია. ოდონდ გასათვალისწინებელია:

- ნაწილაკთა სიმკვრივე –  $2,65 \text{ } \text{ტ}^3$ ;
- ნაწილაკის ვარდნის სამივე რეჟიმი – ლამინარული, გარდამავალი და ტურბულენტური;
- გაანგარიშებებისას საწყისი მონაცემი მხოლოდ ნაწილაკის დიამეტრია. მიღებული შედეგები საშუალებას გვაძლევს გავაგრძელოთ კვლევა ჩამდინარე წყლების მყარი შემადგენელის ფორმის გავლენაზე, ნაწილაკთა ჰიდროგლიკურ სისხოზე.

## ლიტერატურა

1. ლ. კლიმიაშვილი. წყლის მიწოდებისა და განაწილების სისტემების საიმედოობა. თბილისი: სტუ, 2011.–409 გვ.
2. Бабаев И.С. Безреагентные методы очистки высокомутных вод. Серия: Наука - строительному производству. М.: Стройиздат, 1978–82 г.
3. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. – Т. 1: Структура потока. – М.: Гостехиздат: Изв. АН, 1954. – 323 с.
4. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. – Т. 2: Наносы и русло. – М.: Гостехиздат, 1955. – 323 с.
5. Великанов Н.Л. Моделирование осаждения твердых частиц в пульпопроводе//Наука и техника транспорта, 2011, № 2, с. 69–78.
6. Гвишиани З.Г. К моделированию гидравлической крупности частиц в условиях стесненного падения в глинисто-коллоидной суспензионной среде//Тезисы докладов научно-технической конференции. Тбилиси, 1989.–86 с.
7. Гвишиани З.Г. Гидравлическая крупность крупных включений солей в глинисто-коллоидных растворах различной концентрации//Тезисы докладов научно-технической конференции. Тбилиси, 1991, с. 34-35.

8. Дроздов Е.В., Журавлева И.В. Расчет гидравлической крупности частиц загрязнений сточных вод // Науч. вестн. Воронеж. гос. архитектур.-строит. ун-та. Строительство и архитектура, 2009. № 2.С. 29–35.
9. Караушев А.В. Речная гидравлика. Ленинград: Гидрометеорологическое издательство. 1969.-205 с.
10. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. М.: Энергия. 1972.–312 с.
11. Клячко В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод. М.: Стройиздат, 1971.–579 с.
12. Марков Ю.А., Смолов А.Е. Гидравлическая крупность частиц горных пород при свободном и стеснённом падении // Горный журнал, 1960, № 3, с. 34-40.
13. ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева». Рекомендации по прогнозу трансформации русла в нижних бьефах гидроузлов с 34.21.204-2005. Санкт-Петербург, 2006.
14. Пособие по проектированию гидравлического транспорта к СНиП 2.05.07-87. М.: Стройиздат, 1988.
15. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. М.: Мир, 1972.–381 с.
16. Юрзанская Ю., Котеров В. Моделирование переноса взвешенных веществ на океаническом шельфе: Теория и практика моделирования. – [Б. м.]: Lambert Academic Publ., 2011.–116 с.
17. B.A. Benninger (1984) Determining Extraneous Flows in Waste Water Systems , Canadian Water Resources Journal, 9:3, 40-44, DOI: 10.4296/cwrj0903040. To link to this article: <https://doi.org/10.4296/cwrj0903040>
18. Joel E., Bowdan III. Sanitary sewer study report for the southwestern college campus. Michael Baker International. 9755 Clairemont Mesa Blvd. San Diego, CA 92124. 2016. <https://www.swccd.edu/modules/showdocument.aspx?documentid=14996>.
19. Tilley E., Ulrich L., Lüthi, C., Reymond Ph., Zurbrügg C. (2014) Compendium of Sanitation Systems and Technologies - (2nd Revised Edition). Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Duebendorf, Switzerland. ISBN 978-3-906484-57-0.
20. Waste Water Treatment Compound Property Processor Air Emissions Estimator (WATER 7), U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, available early 1992.

## შაბ 628.1

### ნაწილაკების ფორმის გავლენა პიდრავლიკურ სისხლის ჩამდინარე ფაზების მაქანიკური გაფანდის დროს

ზ. გვიშიანი, დ. გურგენიძე, ზ. ცინაძე, ს. ბუკია

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** განხილულია ნაწილაკების ფორმის გავლენა პიდრავლიკურ სისხლზე ჩამდინარე წყლების მექანიკური გაწმენდის ამოცანებში. კვლევის შედეგად მიღებული მონაცემები წარმოდგენილია გრაფიკული და ემპირიული დამკიდებულებების სახით. დადგინდა, რომ მიღებული ემპირიული დამკიდებულების გამოყენება საინუინრო პრაქტიკაში შესაძლებელია.

**საკვანძო სიტყვები:** ჩამდინარე წყლები; მექანიკური გაწმენდა; პიდრავლიკური სისხლ; ნაწილაკების ფორმის გავლენა.

#### 1. შესავალი

ჩამდინარე წყლების მექანიკური გაწმენდის ამოცანების გადაჭრისას სანიაღვრე ან გაერთიანებული წყალარინების სისტემებში კატასტროფული ატმოსფერული ნალექების დროს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ზედაპირული წყლების მყარი ფაზის გრანულომეტრიული შედგენილობისა და ნაწილაკების ფორმის გათვალისწინებას [1,3,4,6,10,19,20,21].

#### 2. მიზანთაღი ნაწილი

ნაწილაკების წყალში ვარდნისას, ვარდნის რეჟიმის მიუხედავად, პიდრავლიკური სისხლს კლასიკურ მოდელში საჭიროა ნაწილაკის ფორმის გათვალისწინება. ცნობილია ავტორთა [7,8,11,12,13,14,16,17,18] ნაშრომები და პრაქტიკაში აპრობირებული

ლი დამოკიდებულებები. მაგალითისათვის განვიხილოთ ა.ბ.ვექსლერის [6,12] დამოკიდებულება:

$$w = \frac{\left(\frac{\rho_2}{\rho_1} - 1\right)}{g \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2}{45}} Re_d^2\right)} \left(1 - \frac{3}{4} \frac{1 + 1.75 \cdot 10^{-12} Re_d^5}{\left(1 + \frac{24}{Re_d}\right)^2 - \frac{44}{Re_d} + 1.75 \cdot 10^{-12} Re_d^5}\right)^{-\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

სადაც

$$Re_d = \frac{d}{v} \sqrt{\left(\frac{\rho_2}{\rho_1} - 1\right) g d}.$$

პიდრავლიკური სისხოს ფორმულა (1), ლამინაციური რეჟიმის დროს ( $Re < 1$  და  $ნაწილაკების დიამეტრი  $d$  0.05 მმ-ზე), სტოქსის ფორმულის სახეს იღებს:$

$$w = \frac{gd^2 (\rho_2 - \rho_1)}{18v}, \quad (2)$$

ხოლო ტურბულენტური რეჟიმის დროს ( $Re \geq 400$  და ნაწილაკების დიამეტრი  $d > 2.5$  მმ-ზე)

$$w = \sqrt{\frac{\rho_2 - \rho_1}{0.9\rho_1} gd}, \quad (3)$$

სადაც  $d$  ნაწილაკის დიამეტრია;  $g$  - თავისუფალი ვარდნის აჩქარება;  $\rho_2$  – ნაწილაკის სიმკვრივე;  $\rho_1$  – ხსნარის სიმკვრივე;  $v$  – სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტი.

ნაწილაკის ფორმის  $\beta_w$  კოეფიციენტი ა.ბ. ვექსლერის (4) დამოკიდებულებით განისაზღვრება, რომელიც, თავის მხრივ, ვ.ვ. რომანოვსკის [12,15] ემპირიულ მონაცემებს ეყრდნობა:

$$\beta_w = 1 + \frac{2.40 - 1.75}{1 + \left(\frac{75}{Re}\right)^2}, \quad (4)$$

სადაც

$$\theta = \frac{d^2}{ab},$$

$d$  დაყვანილი დიამეტრია,  $a$  და  $b$  – ნაწილაკის უდიდესი კვეთის სიგრძე და სიგანე.

ჩატარებულმა კვლევებმა ცხადყო, რომ ნაწილაკთა ვარდნის ლამინარული რეჟიმის დროს ფორმა გავლენას არ ახდენს და  $\beta_w=1$ , ხოლო ტურბულენტური რეჟიმის დროს, როდესაც  $Re \geq 400$ , (4) მარტივდება:

$$\beta_w = 2.4\theta - 0.75. \quad (5)$$

რ.ს. რეტინგერმა შეიმუშავა პიდრავლიკური სისხოს ფორმულა [11,15] ტურბულენტური რეჟიმის დროს:

$$w = K_p \sqrt{d(\delta - 1)}, \quad (6)$$

სადაც  $K_p$  ნაწილაკის ფორმის კოეფიციენტია;  $\delta$  – ნაწილაკის ფარდობითი სიმკვრივე.

ექსპერიმენტული გზით რ.ს. რეტინგერმა განსაზღვრა ნაწილაკის ფორმის კოეფიციენტის მნიშვნელობა: სფეროსებრი ნაწილაკებისათვის – 2.73, წახნაგოვანი ფორმისათვის – 2,97, ფირფიტოვანი ფორმისათვის – 1,97.

მ.ა. ველიკანოვმა და ა.პ. ზეგუდამ [4,5,6,15] საკუთარ და სხვა მეცნიერთა ექსპერიმენტულ კვლევებზე დაყრდნობით სფეროსებრი ნაწილაკებისათვის მიიღეს ემპირიული დამოკიდებულება:

$$\frac{gd \left( \frac{\rho_2}{\rho_1} - 1 \right)}{w} = 0.105 + 4.5 Re^{-1} + \frac{2.655}{\pi} \operatorname{arctg} \sqrt{Re^{-1}}, \quad (7)$$

$$\text{სადაც} \quad Re = \frac{wr}{v}.$$

გამოსახულება (7) მარტივი გარდაქმნების შემდეგ სტოქსის ფორმულის სახეს იღებს მცირე ზომის ნაწილაკებისათვის, ხოლო მსხვილი ნაწილაკების შემთხვევაში – რეტინგერისას. გასათვალისწინებელია, რომ  $d$  ეკვივალენტური დიამეტრია.

ნაწილაკების ფორმის პიდრავლიკურ სისხოზე გავლენის მიზნით ჩატარდა ექსპერიმენტული კვლევა სპეციალურ მოწყობილობაზე, რომლის მოქმედების პრინციპი მდგომარეობს გადამწოდთა მიერ გაგზავნილ სიგნალთა დროის შეალების ფიქსირებაში. სიგნალები წარმოიქმნებოდა გადამწოდების გასწვრივ მაგნიტური მტვერით დანიშნული ნაწილაკების ჩავლისას. გადამწოდებს შორის მანძილი 500 მმ-ია. ხელსაწყოს ტარირებისას განისაზღვრა ცდომილება, რომელმაც  $\pm 0.15\%$  შეადგინა. ექსპერიმენტი ჩატარებულ იქნა სფეროსებრი, მრავალწახნაგოვანი და ფირფიტოვანი ფორმის ნაწილაკებზე, რომელთა დიამეტრი 0.1 მმ-დან 10 მმ-დან იცვლებოდა.

ექსპერიმენტების დროს ნაწილაკები ვარდებოდა წყლის ზედაპირიდან მიღის დერძის გასწვრივ. შედეგები წარმოდგენილია ნახაზზე.

მონაცემების მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდებით დამუშავების შემდეგ მიღებულია ემპირიული დამოკიდებულებები:

სფეროსებრი ფორმის ნაწილაკებისათვის:

$$u_0 = 112.0d - 1.96; \quad (8)$$

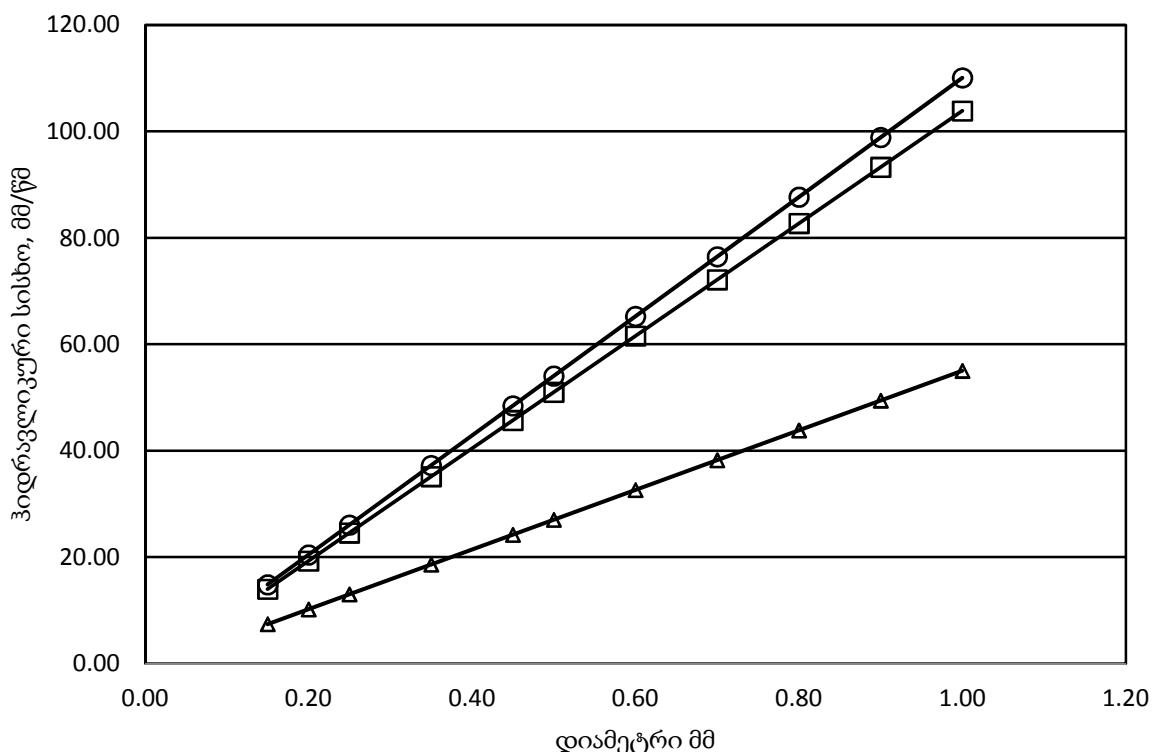
მრავალწახნაგოვანი ფორმის ნაწილაკებისათვის:

$$u_0 = 105.7d - 1.85; \quad (9)$$

ფირფიტოვანი ფორმის ნაწილაკებისათვის:

$$u_0 = 56d - 0.98, \quad (10)$$

სადაც  $u_0$  ნაწილაკების პიდრავლიკური სისხლ, მმ/წმ;  $d$  – ნაწილაკების დიამეტრი, მმ.



სხვადასხვა ფორმის ნაწილაკის პიდრავლიკური სისხლ:

- – სფეროსებრი; □ – მრავალწახნაგოვანი; Δ – ფირფიტოვანი

(8), (9) და (10) გამოსახულებებისათვის განისაზღვრა საშუალო კვადრატული გადახრა, რომელმაც შესაბამისად  $R^2 = 0.995$ ,  $R^2 = 0.993$  და  $R^2 = 0.998$  შეადგინა. მიღებული მნიშვნელობები პრაქტიკაში გამოიყენება.

ცდების შედეგების ანალიზმა გვიჩვენა (ნახაზი), რომ სფეროსებრი და მრავალწახნაგოვანი ფორმის ნაწილაკების ჰიდრავლიკური სისხოს მნიშვნელობები განსხვავდება, მაგრამ ერთმანეთთან მიახლოებულია. მათვის აღინიშნა ნაწილაკთა ვარდნის სამი რეჟიმის არსებობა - ლამინარული, გარდამავალი და ტურბულენტური. როდესაც ფირფიტოვანი ფორმის ნაწილაკების ჰიდრავლიკური სისხოს შემცირებისაკენ საგრძნობი გადახრა ჩანს, ადგილი აქვს ვარდნის ლამინარულ და გარდამავალ რეჟიმებს, რაც განპირობებულია ფირფიტოვანი ფორმის თავისებურებით. კერძოდ, ნაწილაკის წყალში ვარდნისას უდიდესი წიბო ორიენტირებულია მოძრაობის მიმართულების პერპენდიკულარულად [9,17]. შესაბამისად, იზრდება წყლისა და ნაწილაკის შეხების ფართობი და წინაღობის ძალის მნიშვნელობა. გამოკვლეული ფირფიტოვანი ფორმის ნაწილაკების დიამეტრთა მთელ დიაპაზონში ვარდნისას აღინიშნა ჰორიზონტალურ სიბრტყეში მარჯვნივ და მარცხნივ გადაადგილება, რასაც პირობითად "ფრიალი" გუწოდეთ. ეს მოვლენა ვარდნასაც აფერხებს.

მონაცემთა დამუშავების შემდეგ ეტაპზე მიღებული დამოკიდებულება (8), (9) და (10) ემპირიულ ფორმულებს აერთიანებს:

$$u_0 = [112.04d - 1.96] / \kappa_{\vartheta} \quad (\vartheta/\sqrt{\vartheta}), \quad (15)$$

სადაც  $d$  ნაწილაკის დიამეტრია მმ;  $\kappa_{\vartheta}$  – ფორმის კოეფიციენტი, უგანზომილებო სიდიდე, მისი მნიშვნელობებია: სფეროსებრი ფორმისთვის - 1, მრავალწახნაგოვანი ფორმისთვის - 1.06, ფირფიტოვანი ფორმისთვის - 2;  $\rho = 2.65 \text{ г/см}^3$  – ნაწილაკთა სიმკვრივე.

მიღებული შედეგების შესამოწმებლად განვიხილოთ მაგალითი. განვსაზღვროთ ჰორიზონტალური ქვიშადამჭერის სიგრძე.

**მოცემულია:** ჩამდინარე წყლების მაქსიმალური და მინიმალური ხარჯები, შესაბამისად,  $q_{max}=0.75\text{м}^3/\sqrt{\text{მ}}$  და  $q_{min} = 0.25\text{м}^3/\sqrt{\text{მ}}$ ; წყლის სიღრმე მიმწოდებელ არხში მაქსიმალური ხარჯის დროს –  $h=0.9\text{მ}$ ; წყლის ნაკადის სიჩქარე მაქსიმალური ხარჯის დროს –  $V_{max}=300\text{მ}^3/\sqrt{\text{მ}}$ ; დასალექი ნაწილაკების დიამეტრი –  $d=0.25 \text{ მმ}$ ; წყლის ტემპერატურა –  $20^\circ\text{C}$ .

**ამოხსნა.** მოცემული დიამეტრის ნაწილაკებისათვის პიდრავლიკური სისხოს მნიშვნელობა განისაზღვრება (15) დამოკიდებულებით. სფეროსებრი ნაწილაკებისათვის –  $u_0=26,05$  მმ/წ, მრავალწახნაგოვანისათვის –  $u_0=24,57$  მმ/წ, ფირფიტოვანი ფორმისათვის –  $u_0=13,02$  მმ/წ.

ა ნაკადის სიჩქარის გერტიკალური ტურბულენტური მდგენელი განისაზღვრება ფორმულით:  $w = 0.05V_{max}=0.05 \times 300=15$  მმ/წ (გაანგარიშება გრძელდება ცხრილში).

საანგარიშო ფორმულა	ნაწილაკების ფორმა				
	სფეროსებრი $d = 0.25$ მმ	მრავალწახ- ნაგოვანი $d = 0.25$ მმ	ფირფიტოვანი		
			$d = 0.3$ მმ	$d = 0.45$ მმ	$d = 0.5$ მმ
ნაწილაკების დალექვის სიჩქარე (მმ/წ): $u = \sqrt{u_0^2 - w^2}$	21.3	19.5	5.0	19.0	22.5
ქვიშადამჭერის სიგრძე (მ): $L = \frac{V_{max} \cdot h}{u}$	12.0	13.0	53.6	14.2	12.0

ცხრილიდან ჩანს, რომ სფეროსებრი და მრავალწახნაგოვანი ნაწილაკებისათვის ქვიშადამჭერის სიგრძე  $L$  (მ) ერთ დიაპაზონშია.

იმ შემთხვევაში, როცა ფირფიტოვანი ფორმის ნაწილაკების ეკვივალენტური დიამეტრი 0,25 მმ-ია, მისი პიდრავლიკური სისხო 13,02 მმ/წ-ია, ნაწილაკის დალექვის სიჩქარის ფორმულაში

$$u = \sqrt{u_0^2 - w^2} \quad (16)$$

ფესვებები გამოსახულება უარყოფით მნიშვნელობას იღებს. ეს მიანიშნებს, რომ ნაწილაკი მოცემულ პირობებში არ დაილექება - დარჩება შეტივნარებული.

ფირფიტოვანი ფორმის ნაწილაკების ეკვივალენტური დიამეტრის ზრდა იწვევს ქვიშადამჭერის სიგრძის შემცირებას. 0,25 მმ სფეროსებრი ფორმის ნაწილაკის დიამეტრის და 0,5 მმ ფირფიტოვანი ფორმის ნაწილაკის ეკვივალენტური დიამეტრის დროს ქვიშადამჭერის სიგრძე  $L$  (მ) ერთმანეთთან მიახლოებულია.

### 3. დასპენა

ჩამდინარე წყლების მექანიკური გაწმენდის საფეხურზე ნაგებობათა ჰიდრავლიკური გაანგარიშებისას ნაწილაკების ეპივალენტური დიამეტრით ოპერირება მიზანშეწონილი არ არის.

ცხრილში წარმოდგენილი გაანგარიშება ცხადყოფს, რომ ქვიშადამჭერის ოპტიმალური ზომების დასადგენად აუცილებელია ნაწილაკების ფორმის გავლენის გათვალისწინება ჰიდრავლიკურ სისხლზე.

ჩამდინარე წყლების ქვიშადამჭერის ზომების დაზუსტება წყლის გაწმენდის ეფექტურობის ამაღლების საშუალებას იძლევა.

ჩამდინარე წყლების გაწმენდის პირველ საფეხურზე მიღებული დადებითი ეფექტი – წინასწარ განსაზღვრული დიამეტრის ნაწილაკების მოცილება – გაწმენდის სრული ციკლისა და მისი ეკონომიკური ეფექტურობის ამაღლებას იწვევს.

### ლიტერატურა

- დ. გურგენიძე, ნ. კიკნაძე, მ. ნაცვლიშვილი, ლ. კლიმიაშვილი. წყლის გაწმენდის მეთოდების შესახებ სამრეწველო წყალმომარაგებაში // ჟურნალი ”ჰიდროინჟინერია”, №1-2 (13-14), თბილისი: სტუ, 2012.
- ლ. კლიმიაშვილი. წყლის მიწოდების და განაწილების სისტემების საიმედოობა. თბილისი: სტუ, 2011.–409 გვ.
- Бабаев И.С. Безреагентные методы очистки высокомутных вод. Серия: Наука - строительному производству. М.: Стройиздат, 1978 г.–82 с.
- Великанов М.А. Динамика русловых потоков. – Т. 1: Структура потока. – М.: Гостехиздат: Изв. АН, 1954. — 323 с.
- Великанов М.А. Динамика русловых потоков. – Т. 2: Наносы и русло. – М.: Гостехиздат, 1955. –323 с.
- Великанов Н.Л. Моделирование осаждения твердых частиц в пульпопроводе. Наука и техника транспорта. 2011. № 2. с. 69–78.
- Гвишиани З.Г. К моделированию гидравлической крупности частиц в условиях стесненного падения в глинисто-коллоидной суспензионной среде // Тезисы докладов научно-технической конференции. Тбилиси, 1989. – 86 с.

8. Гвишиани З.Г. Гидравлическая крупность крупных включений солей в глинисто-коллоидных растворах различной концентрации // Тезисы докладов научно-технической конференции. Тбилиси, 1991, с. 34-35.
9. Гургенидзе Д., Намгаладзе Д., Применение теории катастроф для определения критических чисел Рейнольдса при движении дисперсной среды // Georgian Ehgineering News, N1. Tbilisi, 2007.
10. Дроздов Е.В., Журавлева И.В. Расчет гидравлической крупности частиц загрязнений сточных вод // Науч. вестн. Воронеж. гос. архитектур.-строит. ун-та. Строительство и архитектура, 2009, № 2. С. 29–35.
11. Караушев А.В. Речная гидравлика. Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1969.– 205 с.
12. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. М.: Энергия, 1972.– 312 с.
13. Клячко В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод. М.: Стройиздат, 1971.– 579 с.
14. Марков Ю.А., Смоловырев А.Е. Гидравлическая крупность частиц горных пород при свободном и стеснённом падении // Горный журнал, 1960, № 3, с.34–40.
15. ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева». Рекомендации по прогнозу трансформации русла в нижних бьефах гидроузлов с 34.21.204-2005. Санкт-Петербург, 2006.
16. Пособие по проектированию гидравлического транспорта к СНиП 2.05.07-87. М.: Стройиздат, 1988.
17. Юрезанская Ю., Котеров В. Моделирование переноса взвешенных веществ на океаническом шельфе: Теория и практика моделирования. – [Б. м.]: Lambert Academic Publ., 2011. 116 с.
18. B.A. Benninger (1984) Determining Extraneous Flows in Waste Water Systems , Canadian Water Resources Journal, 9:3, 40-44, DOI: 10.4296/cwrj0903040. To link to this article: <https://doi.org/10.4296/cwrj0903040>
19. Joel E., Bowdan III. Sanitary sewer study report for the southwestern college campus. Michael Baker International. 9755 Clairemont Mesa Blvd. San Diego, CA 92124. 2016.  
<http://www.swccd.edu/modules/showdocument.aspx?documentid=14996>
20. Tilley E., Ulrich L., Lüthi, C., Reymond Ph., Zurbrügg C. (2014) Compendium of Sanitation Systems and Technologies - (2nd Revised Edition). Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Duebendorf, Switzerland. ISBN 978-3-906484-57-0.
21. Waste Water Treatment Compound Property Processor Air Emissions Estimator (WATER 7), U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, available early 1992.

შაგ 628.339

## ჩამდინარე ტყლების სალექრებაში შეფონილი ნაწილაკების პოცენტრაციის ცვლილების დინამიკის პოლევა

ი. ინაშვილი, ი. დენისოვა

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** ხტატიაში განხილულია ჩამდინარე წყლების გაწმენდის დროს, სალექრებაში გრავიტაციული დალექციას, შეწონილი ნაწილაკების კონცენტრაციის ცვლილების დინამიკა. ლაბლასის პიფხომეტრულ კანონზე დაყრდნობით, მიღებულია შეწონილი ნაწილაკების მოცულობითი კონცენტრაციის, დალექციის ხილომებზე დამოკიდებულების საანგარიშო განტოლება. განსაზღვრულია შეწონილი ნაწილაკების ლამინარულ და გარდამავალ გარს შემოდების რეჟიმებს შორის ზღვრული კონცენტრაციის მნიშვნელობა. გამოთვლილია, რა ხილომებზე ხდება ნაწილაკების ლამინარული გარს შემოდების რეჟიმის გადასვლა გარდამავალი გარს შემოდების რეჟიმში.

**საკვანძო სიტყვები:** ჩამდინარე წყლები; ხედიმენტაცია; პიდრავლიკური ხილო; ზღვრული კონცენტრაცია; ნაწილაკის გარს შემოდების რეჟიმი.

### 1. შესავალი

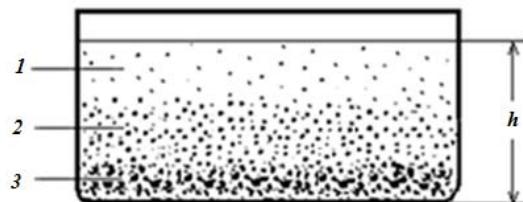
ჩამდინარე წყლების გაწმენდის ყველაზე მარტივი და ეფექტური საშუალებაა შეწონილი, დისპერსიული მინარევების მოშორება სედიმენტაციით (დალექციით). სედიმენტაციის პროცესი მიმდინარეობს გრავიტაციული ძალების ზეგავლენით, თვითნებურად, სპეციალურ ნაგებობებში – სალექრებში.

სალექრებს იყენებენ ჩამდინარე წყლების საბოლოო გაწმენდისთვის (მხოლოდ უხსნარი მინარევების მოშორების საჭიროების შემთხვევაში) ან როგორც მოსამზადებელ ეტაპს ბიოლოგიური გაწმენდის წინ, ამიტომ სალექრების გაანგარიშებისათ-

ვის ჩამდინარე წყლების დალექვისას მიმდინარე პროცესების კვლევას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა ენიჭება.

ვინაიდან ჩამდინარე წყლები პოლიდისპერსიული, პეტეროგენული, აგრეგატულად არამდგრადი სისტემაა, ამიტომ სალექრების გათვლისას აუცილებელია ძირითადი საანგარიშო პარამეტრების სწორი განსაზღვრა. ჩამდინარე წყლების სედიმენტაციის კვლევისას უმნიშვნელოვანესი პარამეტრებია შეწონილი ნაწილაკების პიდრავლიკური სისხო (დალექვის სიჩქარე) და მათი კონცენტრაცია.

სალექრებში გრავიტაციული დალექვისას შეწონილი ნაწილაკების კონცენტრაცია თანდათანობით იზრდება წყლის ზედაპირიდან სალექრის ფსკერის მიმართულებით (ნახ. 1). თავისუფალი დალექვის ზონის ქვემოთ (1) ყალიბდება შეზღუდული დალექვის (2) და ნალექის გამკვრივების (3) ზონები. რეალურობაში შეწონილი ნაწილაკების დალექვისას ძირითად ზონებს შორის წარმოიქმნება მცირე სისქის მქონე გარდამავალი ზონები.

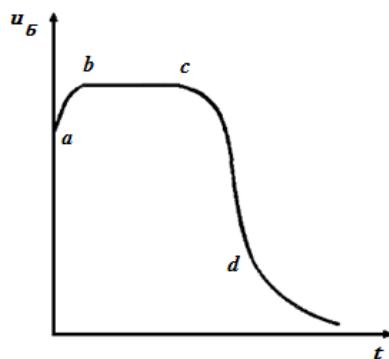


ნახ.1. სალექრებში შეწონილი ნაწილაკების დალექვის პროცესის სქემა

1- თავისუფალი დალექვის ზონა; 2 - შეზღუდული დალექვის ზონა;

3 - ნალექის გამკვრივების ზონა

განვიხილოთ ჩამდინარე წყლებში შეწონილი ნაწილაკების სედიმენტაციისას კონცენტრაციის ცვლილების დინამიკა.



ნახ. 2. შეწონილი ნაწილაკების დალექვის სიჩქარის დროზე

დამოკიდებულების გრაფიკი

დალექვის საწყის ეტაზე (ნახ. 2) ნაწილაკების მოძრაობა აჩქარებულია (მონაკვეთი *ab*). ნაწილაკებზე მოქმედი ძალების დინამიკური წონასწორობის დამყარების შემდეგ, როდესაც წინაღობის ძალა გაუტოლდება სიმძიმის ძალისა და ამომგდები ძალის ტოლქმედს, ნაწილაკები იძენს მუდმივ სიჩქარეს (მონაკვეთი *bc*). ნაწილაკების კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად თავს იჩენს შეზღუდული დალექვა, რომლის დროსაც დისპერსიული ფაზის ნაწილაკებს შორის ურთიერთქმედების შედეგად ჩნდება დამატებითი ძალები. კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად იზრდება პიდროდინამიკული წინააღმდეგობა. ყოველივე ეს იწვევს შეწონილი ნაწილაკების დალექვის სიჩქარის კლებას (მონაკვეთი *cd*). დალექვის პროცესის ბოლო ფაზაზე ხდება ნალექის გამკვრივება. კონცენტრაცია იმდენად იზრდება, რომ რთულდება სითხის შეღწევა ნაწილაკებს შორის. ამ პროცესის დროს ნაწილაკთა დალექვის სიჩქარე ძალიან მცირეა [1, 2, 3, 4, 5].

## 2. მიზითადი ნაწილი

განვსაზღვროთ ჩამდინარე წყლებში შეწონილი ნაწილაკების კონცენტრაციის დალექვის სიღრმეზე დამოკიდებულება. ამისათვის, შეგვიძლია ვისარგებლოთ ლაპლასის პიფსომეტრული კანონით, რომელიც პერენმა გამოიყენა მყარდისპერსიული სისტემისთვის. პერენმა დაადგინა, რომ სითხეში, გრავიტაციული დალექვის პირბებში, შეწონილი ნაწილაკების დალექვის სიღრმის მატებასთან ერთად ნაწილაკების რაოდენობა ექსპონენციალურად იზრდება. იგივე დამოკიდებულებით ხდება მოლეკულების განაწილების კლება პაერის სვეტის სიმაღლის მატებასთან ერთად. ამიტომ, ნაწილაკების კონცენტრაციის დალექვის სიღრმეზე დამოკიდებულების გასააგრიშებლად, პერენმა გამოიყენა გრავიტაციულ ველში მოლეკულების სიმაღლეზე განაწილების კანონი  $\frac{c_{n_0}}{c_{n_h}} = \exp\left(-\frac{mgh}{kT}\right)$ . მრავალრიცხოვანი ცდების მეშვეობით დადგინდა ამ კანონის მართებულება მონოდისპერსიული, თხევადი, მცირე ზომის ნაწილაკების შემცველი სისტემებისთვისაც [6, 7, 8, 9, 10].

ბოლცმანის მუდმივას ტემპერატურაზე ნამრავლის (*kT*), საშუალო კინეტიკური ენერგიის საშუალებით გამოსახვით,  $\frac{3}{2}kT = \overline{E}_3$ , პიფსომეტრული ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\frac{C_{n_0}}{C_{n_h}} = \exp\left(-\frac{3mg^h}{2\bar{E}_3}\right), \quad (1)$$

სადაც  $C_{n_0}$ -ის შეწონილი ნაწილაკების საწყისი რაოდენობრივი კონცენტრაცია;  $C_{n_h}$  – სიღრმეში შეწონილი ნაწილაკების რაოდენობრივი კონცენტრაცია;

$m$  – შეწონილი ნაწილაკების მასა, კგ;  $\bar{E}_3$  – ნაწილაკების საშუალო კინეტიკური ენერგია, კ:

$$\bar{E}_3 = \frac{m\bar{u}^2}{2}, \quad (2)$$

$\bar{u}$  – შეწონილი ნაწილაკების დალექვის საშუალო სიჩქარე, მ/წ;  $h$  – ნაწილაკების დალექვის სიღრმე, მ.

გამოვსახოთ რაოდენობრივი კონცენტრაციები მოცულობითი კონცენტრაციების მეშვეობით:

$$C_{n_h} = \frac{C_{V_h}}{V_\delta}; \quad (3)$$

$$C_{n_0} = \frac{C_{V_0}}{V_\delta}, \quad (4)$$

სადაც  $C_{V_h}$  არის  $h$  სიღრმეში ნაწილაკების მოცულობითი კონცენტრაცია;  $C_{V_0}$  – შეწონილი ნაწილაკების საწყისი მოცულობითი კონცენტრაცია.

კინეტიკური ენერგიის სიდიდისა და (3, 4) განტოლებების გათვალისწინებით, გამოსახულება (1) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$C_{V_h} = C_{V_0} \exp\left(\frac{3gh}{\bar{u}^2}\right). \quad (5)$$

განტოლება (5) შეწონილი ნაწილაკების მოცულობითი კონცენტრაციის დამოკიდებულებაა დალექვის სიღრმეზე.

ამ განტოლების გალოგარითმებით გამოვთვალოთ შეწონილი ნაწილაკების დალექვის სიღრმე:

$$h = \frac{\bar{u}^2 \cdot \ln \frac{C_{V_h}}{C_{V_0}}}{3g}. \quad (6)$$

მიღებული (5, 6) დამოკიდებულებების გამოყენებით შესაძლებელია დავადგინოთ, რა კონცენტრაციის შემთხვევაში (ან რა სიღრმისას) გადადის ნაწილაკების დალექვა ლამინარული გარსშემოდენის რეჟიმიდან გარდამავალი გარსშემოდენის რეჟიმში. ამისათვის, ორივე შემთხვევისთვის განვსაზღვროთ ნაწილაკზე მოქმედი წინადობის ძალის სიდიდეები.

ჩამდინარე წყალში შეწონილი ნაწილაკების საწყისი რაოდენობა

$$n = \frac{C_{Vo}}{V_0} = \frac{6C_{Vo}}{\pi d^3}. \quad (7)$$

თავისუფალი დალექცისას, ნაწილაკების ლამინარული გარსშემოდენის დროს, სისტემის ყველა ნაწილაკზე მოქმედი წინაღობის ძალა  $F_{\beta\delta}^{\varphi}$  გამოისახება დამოკიდებულებით:

$$F_{\beta\delta}^{\varphi} = n 3\pi \mu u_{\varphi} d = \frac{6C_{Vo}}{\pi d^3} \cdot 3\pi \mu u_{\varphi} d = C_{Vo} \frac{18\mu u_{\varphi}}{d^2}, \quad (8)$$

სადაც  $\mu$ -ის სითხის დინამიკური სიბლანტე, მ/წ;  $u_{\varphi}$  – ნაწილაკის ჰიდრავლიკური სისხო ლამინარული გარსშემოდენისას, მ/წ.

კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად, ნაწილაკებს შორის ურთიერთქმედების შედეგად გაჩენილი დამატებითი წინაღობის ძალების გამო, ნაწილაკების გარსშემოდენა კარგავს ლამინარულ ხასიათს. ამ შემთხვევაში წინაღობის ძალა გამოითვლება ნიუტონის ბლანტი ხახუნის წინაღობის ფორმულით:

$$F_{\beta\delta}^{\varphi} = c_d S \frac{\rho_b u_{\varphi}^2}{2} = c_d \frac{\pi d^2 \rho_b u_{\varphi}^2}{8}, \quad (9)$$

სადაც  $F_{\beta\delta}^{\varphi}$  არის ნაწილაკზე მოქმედი წინაღობის ძალა გარდამავალი რეჟიმით გარსშემოდენისას;  $c_d$  – ნაწილაკზე მოქმედი წინაღობის კოეფიციენტი;  $u_{\varphi}$  – ნაწილაკის ჰიდრავლიკური სისხო გარდამავალი რეჟიმით გარსშემოდენისას, მ/წ;  $S$  – სფეროსებრი ნაწილაკის მიდელის ფართობი, მ²:

$$S = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (10)$$

ამგვარად, გარდამავალი რეჟიმით ნაწილაკების გარსშემოდენისას ყველა ნაწილაკზე მოქმედი წინაღობის ძალა იქნება:

$$F_{\beta\delta}^{\varphi} = c_d \frac{\pi d^2 \rho_b u_{\varphi}^2}{8} n' = c_d \frac{\pi d^2 \rho_b u_{\varphi}^2}{8} \frac{6C_V}{\pi d^3} = c_d \frac{3\rho_b u_{\varphi}^2}{4} \frac{C_V}{d}, \quad (11)$$

სადაც  $n'$ -არის ნაწილაკების რაოდენობა გარდამავალ რეჟიმში;  $C_V$  – გარდამავალ რეჟიმში ნაწილაკების მოცულობითი კონცენტრაცია.

კონცენტრაციის ზღვრულ მნიშვნელობად მივიჩნიოთ ნაწილაკების ისეთი მოცულობითი კონცენტრაცია  $C'_V$ , რომლის დროსაც ნაწილაკების ლამინარულ და გარდამავალ რეჟიმებში გარსშემოდენისას წინაღობის ძალები ერთნაირია:

$$F_{\beta\delta}^{\varphi} = F_{\beta\delta}^{\varphi} \Rightarrow C_{Vo} \frac{18\mu u_{\varphi}}{d^2} = c_d \frac{3\rho_b u_{\varphi}^2}{4} \frac{C'_V}{d} \Rightarrow C'_V = C_{Vo} \frac{24u_{\varphi}}{c_d \rho_b u_{\varphi}^2}. \quad (12)$$

განტოლება (12) ნაწილაკების ლამინარულ და გარდამავალ გარსშემოდენის რეჟიმებს შორის კონცენტრაციის ზღვრულ მნიშვნელობაა.

იმის დასადგენად, თუ რა ( $h_{\text{ტ}}^{\text{2}}$ ) სიღრმეზე ხდება ნაწილაკების დალექვის ლამინარული გარსშემოდენის რეჟიმის გადასვლა გარდამავალი გარსშემოდენის რეჟიმში, (6) განტოლებაში ზღვრული კონცენტრაციის მნიშვნელობა გამოვსახოთ (12) განტოლების მეშვეობით:

$$h_{\text{ტ}}^{\text{2}} = \frac{u^2}{3g} \cdot \ln \frac{24u_{\infty}}{c_d \rho_b u_{\delta}^2}. \quad (13)$$

(13) განტოლებით განისაზღვრება, სალექარში შეწონილი ნაწილაკების დალექვისას, ლამინარული გარსშემოდენის რეჟიმის გარდამავალ გარსშემოდენის რეჟიმზე გადასვლის სიღრმე.

### 3. დასპანა

ამგვარად, ჩატარებული ანალიზის შედეგად მიღებულია დამოკიდებულებები, რომლებიც საშუალებას იძლევა შეწონილი ნაწილაკების დალექვის სიღრმიდან გამომდინარე დაგადგინოთ მათი მოცულობითი კონცენტრაცია, ასევე კონცენტრაციის ზღვრული მნიშვნელობა ნაწილაკების ლამინარულ და გარდამავალ გარსშემოდენის რეჟიმებს შორის და ამ კონცენტრაციისას შეწონილი ნაწილაკების დალექვის სიღრმე.

მიღებული დამოკიდებულებების გამოყენებით შესაძლებელია, ჩამდინარე წყლებში შეწონილი ნაწილაკების კონცენტრაციის მიხედვით, დავადგინოთ, რომელ გარსშემოდენის რეჟიმში ილექტა შეწონილი ნაწილაკები და რომელი ფორმულით უნდა ვაწარმოოთ ნაწილაკებზე მოქმედი წინადობის ძალისა და პიდრავლიკური სისხოს გაანგარიშება.

### ლიტერატურა

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. 10-ое изд., стереотипное, доработанное. Перепеч. с изд. 1973 г. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753 с.
2. Безруков Л. В. Физика: в 3 ч. Ч.1: Механика. Молекулярная физика. Новочеркасск: Гос. мелиор. акад., 2011. – 232 с.
3. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. Москва: Наука, 1974. – 714 с.
4. Иванов С.А. Газовая динамика. Самара. «Самарский ГТУ», 2014. – 61 с.

5. M. Jean Perrin. Brownian Movement And Molecular Reality. Translated from the Annales de chimie et de physique, 8me series, 1909, by F. Soddy. TaylorandFrancis. London. 1910. p.93.
6. Болдырев А.И. Физическая и коллоидная химия. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1983.– 408 с.
7. Воюцкий С. С. Курс колloidной химии. Издание 2-е, переработанное и дополненное. М.: «Химия», 1975. –512 с.
8. Килимник Д. Ю., Разработка метода расчета скоростей седиментации частиц в полидисперсной суспензии: Дис.канд.техн. наук: 25.00.36: Санкт-Петербург, 2004. – 140 с.
9. Кикоин А.К., Кикоин И.К. Общий курс физики. Молекулярная физика. Издание второе, переработанное - М., 1976. – 480 с.
10. Brubacher L. An experiment to measure Avogadro's constant. Repeating Jean Perrin's confirmation of Einstein's Brownian motion equation. Chem 13 news. May, 2006. pp 14-17.

შავ 691.32

## ბეტონის დანამატების ფიზიკურ-მიმღები ასპექტები

ლ. კლიმიაშვილი, დ. გურგენიძე, ა. ჩიქოვანი

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** ადგილობრივი მასალებისა და ტექნიკური ნარჩენების აქტივაცია და ერთგვაროვნობის ამაღლება ხორციელდება მათი მექანიკურ-ქიმიური და მუშავებით საფქავ აგრეგატებში. თუ დაფქვა ხდება ზედაპირულ-აქტიურ ნივთიერებებთან ერთად, კიდევთ თრგანულ-მინერალურ დანამატების, რომელიც ეფექტურად გამოიყენება სამშენებლო დუღაბებსა და ბეტონებში.

**საკვანძო სიტყვები:** ქიმიური და მინერალური დანამატები; მიკროშემაგრებლები; დაფქვა; აქტივაცია; ეპიტექცია; დიპოლი; კომპოზიციური შემკვრელი; სილანი; სილიკონი; პოლარიზება; ადიტიურობა.

### 1. შესაბალი

ბეტონის სტრუქტურის ფორმირება ცემენტის ცომში ერთდროულად მიმდინარე პიდრატული და სტრუქტურაწარმოქმნის პროცესების შედეგია, რომელიც განიხილება, როგორც კოაგულაციური სტრუქტურის გადასვლა სივრცობრივი კრისტალური კარკასის წარმოქმნაზე. მოდიფიკატორებით შევსებული ცემენტიანი ბეტონის სიმტკიცისა და სტრუქტურის ამაღლებისათვის აუცილებელია დისპერსიული ფაზის ოპტიმალური კონცენტრაციის მიღწევა, ხოლო მოდიფიკატორის დისპერსიულობის ოპტიმალური პირობების დროს – სისტემის ზღვრული ჩაწყობა და შემკვრივება.

ბეტონის ნარევში მოდიფიკატორის და ცემენტის ნაწილაკები სივრცობრივ ბადეში ფიქსირდება კოაგულაციური კონტაქტების დახმარებით. შევსებული ცემენტიანი ბეტონის სიმტკიცე ქიმიური, ფიზიკურ-ქიმიური და ფიზიკურ-მექანიკური პროცესების სინთეზის შედეგია, რომელშიც შემავსებელი აქტიურად მონაწილეობს.

## 2. მირითადი ნაწილი

ბეტონისა და ბეტონის ნარევის სტრუქტურის აქტიური მართვისათვის, ქიმიური დანამატების გვერდით გამოიყენება მინერალური დანამატი (მდ), რომელიც ბუნებრივი ან ტექნოგენური ნედლეულისგან (მიკროკაუმიწა, დაფქული მთის ქანი ან წილა, ნაცარი და სხვა) მიღებული სხვადასხვა ხასიათის მინერალური ფენილია.

მინერალური დანამატი აქტიური და ინერტულია. აქტიურ მდ-ს უნარი აქვს ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე, წყალთან ერთად, იმოქმედოს კალციუმის დიოქსიდთან და შექმნას შემკვრელი თვისების ნაერთი, რომელიც ბეტონში შეყვანისას ურთიერთქმედებს პორტლანდცემენტის ჰიდრატაციის დროს გამოყოფილ  $Ca(OH)_2$ -თან. მდ-ს თვისებებზე დიდ გავლენას ახდენს მარცვლოვანი შედგენილობა, რომელიც განსაზღვრავს კუთრ ზედაპირს და, შესაბამისად, რეაქციის უნარს ან ბეტონის შემკვრივების შესაძლებლობას.

ინერტული მდ, მაგალითად კვარცის ქვიშა, ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე რეაქციაში არ შედის ცემენტის კომპონენტებთან, მაგრამ გარკვეულ პირობებში შეუძლია გამოავლინოს რეაქციის უნარი (მაგალითად, ავტოკლავური დამუშავებისას). ხშირ შემთხვევაში, ინერტული დანამატი გამოიყენება, როგორც მყარი ფაზის „შემავსები–ცემენტი–მინერალური დანამატი“ მარცვლოვანი შედგენილობისა და სიცარიელის და ბეტონისა და ბეტონის ნარევის თვისებების რეგულირების მიზნით.

ბუნებრივი მდ მიიღება სხვადასხვა ვულკანური (ტუფი, ტრასი, ფერფლი) ან დანალექი (დიატომიტი, ტრეპელი, ოპოკა) წარმოშობის მთის ქანის დაფქვით. თავდაპირველად სწორედ ტუფისთვის გამოიყენეს ტერმინი „პუცოლანი“ (იტალიური სახელწოდება, სადაც ის მოიპოვება).

ბეტონის ეფექტურობის ასამაღლებლად და ეკოლოგიური პრობლემის გადასაწყვეტად ბეტონის ტექნოლოგიაში ფართოდ გამოიყენება კაუმიწა შემავსებელი, როგორც ადგილობრივი მასალა (საჩხერისა და სურამის კვარცის ქვიშები). პორტლანდცემენტის, დუდაბისა და ბეტონის მიღებისას შემავსებლად გამოიყენება წმინდად დაფქული კვარცის ქვიშა, კირქვა, ცარცი, დოლომიტი, მაგნეზიტის, ქრომიტის, ტალკის, შამოტის დანამატი, წარმოების ნარჩენი (ნაცარი, მარტენის, ელექტროთერმოფოსფორის და საწვავის წილები და ა.შ.).

კომპოზიური საშენი მასალების სტრუქტურის ფორმირება ცემენტის ცომში ერთდროულად მიმდინარე ჰიდრატული და სტრუქტურაწარმოქმნის შედეგია, ე.ი.

თანამიმდევრული გადასვლა კოაგულაციური სტრუქტურიდან სივრცობრივი კრისტალური კარკასის შექმნაზე.

ცემენტიან კომპოზიტებში გამოყოფენ: მიკრო-, მეზო- და მაკროდონებს.

მიკროდონები ხასიათდება ცემენტის პიდრატაციის პროდუქტების შემავსებელთან მოლეკულური ურთიერთქმედებით. ქიმიური აქტიური შემავსებელი რეაქციას მიმართავს პიდრატაციის პროდუქტების ინტენსიური გამოყოფის მხარეს, მიაბამს რა უხსნარ ნაერთებთან. ასე, მაგალითად, კაჟმიწა შემავსებელი შედის ურთიერთქმედებაში  $Ca(OH)_2$ -თან და ქმნის დაბალფუძიან პიდროსილიკატებს. კალციუმისა და მაგნიუმის კარბონატები ურთიერთქმედებს ალუმინშემცველი კლინკერის მინერალებთან, ქმნის ეტრინგიტის მსგავს კომპლექსურ ნაერთებს.

შემავსებლის მაქსიმალურად შესაძლო დისპერსიის მიღწევა ჩვეულებრივ დადებითად მოქმედებს მის თვისებებზე. აქეს რა დიდი კუთრი ზედაპირი, შემავსებელი პირდაპირ ქიმიურ ქმედებასთან ერთად გავლენას ახდენს ფაზათა გაყოფის ზედაპირის ფიზიკურ-ქიმიურ პროცესებზე. კონდესაციურ-კრისტალიზაციური სტრუქტურის შექმნის შედეგად მწებავ მასასა და შემავსებლის მარცვლებს შორის ხდება ეპიტაქსიური კონტაქტების ფორმირება. შემავსებლის მინერალების კრისტალური მესრის შენებასთან ერთად მიკროდონებზე იზრდება ეპიტაქსიური კონტაქტები ახლობელ ქიმიურ ბუნებასთან.

პიპს-ფოლმერის თეორიის შესაბამისად, მყარ და თხევად ფაზებს შორის თავისუფალი ზედაპირული ენერგიის შემცირებისას, გაყოფის ენერგიის ხარჯზე, შემავსებელი მნიშვნელოვნად აჩქარებს ახალწარმონაქმნთა კრისტალიზაციას. თერმოტენიანი დამუშავებისას შევსებული ცემენტის სისტემები მეტ ეფექტური გვაძლევს, ვიდრე ნორმალურ პირობებში გამაგრებული.

ვამცირებთ რა შემავსებლის მარცვლების დისპერგირების რადიუსს და ზედაპირულ დაჭიმულობას „კრისტალ-თხევადი ფაზის“ საზღვარზე, ელექტროლიტების და სხვა გამაგრების დამატების ხარჯზე, შეიძლება მნიშვნელოვნად ავამაღლოთ ახალი ფაზის წარმოქმნის ალბათობა. კრისტალების ახალწარმონაქმნთა ზრდის მიხედვით ხდება ცემენტის გელის მიკროფორების შევსება. შემავსებლის ოპტიმალური კონცენტრაციისა და დისპერსიულობის შედეგად წარმოიქმნება ბმის წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურა, რაც დადებითაც აისახება ხელოვნური ქვის ტექნიკურ თვისებებზე.

კონსტრუქციულთან ერთად შესაძლებელია შემავსებლის დესტრუქციული გავლენა. მაღალი დისპერსიულობის შემავსებლის სიჭარბის დროს წარმოიქმნება თვითდაბულობის უბნები, რამაც კრისტალების ზრდასთან ერთად შეიძლება მიგვიყვანოს ბზარების წარმოშობასა და ერთგვაროვანი სტრუქტურის სხვა დარღვევებთან. ამ მოვლენების ასაცილებლად შემავსებლის შედგენილობაში უნდა შევიყვანოთ დიდი ზომის ნაწილაკები. ამასთან, შესაძლებელია ელექტროსტატიკური მიზიდულობისა და მექანიკური ჩამაგრების ძალებზე დაფუძნებული ახალი ტიპის ეპიტაქსიური კონტაქტების წარმოქმნა.

**მეზოდონების უპირველეს ყოვლისა, ხასიათდება ფიზიკური ურთიერთქმედებით შემავსებლის მარცვლებს შორის და პიდრატირებული ცემენტის ნაწილაკებთან. პიდრატირებულ სისტემებში ნაწილაკების ფიზიკური ურთიერთქმედებისას მოქმედებს შეზღუდული პირობები, რომელიც გამოირჩევა მყარი ფაზის მოცულობითი კონცენტრაციის გადიდებით და წყლის მოცულობითი ნაწილის აფსკურში გადაყვანით. შეზღუდული პირობების შექმნა უფლებას გვაძლევს ტექნოლოგიურად დასაბუთებულად შევამციროთ ბეტონის ნარევის წყალშემცველობა. სხვა პარამეტრების მუდმივობის დროს შემავსებლის გამოყენება ხელს უწყობს სტრუქტურაწარმოქმნის კოაგულაციურ სტადიაზე ასეთი პირობების შექმნას.**

**მაკროდონების ხასიათდება ცემენტიანი ბეტონის ფორმირებით ორ დონეზე: შევებული ცემენტის ცომი – შემავსებელი, შემავსებელი – ცემენტის ცომი. შემავსებელმა უნდა უზრუნველყოს შემკვრელის მაქსიმალური კოპეზიური სიმტკიცე მაკროდონებზე, მინიმალური სიცარიელე, ცემენტის ცომის კონტაქტურ ზონაში გაძევებით და ასევე მთლიანად ბეტონის საერთო სიცარიელე. შევსების ხარისხი უნდა იყოს ისეთი, რომ სტრუქტურის ჩამოყალიბების სტადიაზე უზრუნველყოფილი იყოს ნარევის საჭირო რეოლოგიური პარამეტრები.**

მაღალხარისხიანი ბეტონის მისაღებად და ბეტონში ცემენტის უფექტურობის ამაღლებისათვის გამოიყენება კომპოზიციური შემკვრელი. ასეთი შემკვრელის საფუძველია მრავალკომპონენტიანი სისტემების მექანიკურ-ქიმიური აქტივაცია. მათი მიღებისათვის საჭიროა სპეციალური და აქტიური მინერალური დანამატების გამოყენება. ასეთი კომპოზიციური შემკვრელის მაგალითია დაბალი წყალმოთხოვნილების შემკვრელები (დწშ), რომელთა სიმტკიცე 1,5...2-ჯერ მეტია საწყისი ცემენტის სიმტკიცეზე, დაფქულ წიდასთან ან კვარცის ქვიშასთან განზავებული (50...70%) უზრუნველყოფს იმავე სიმტკიცეს, რაც ჰქონდა საწყის ცემენტს. დწშ-ის

ტექნოლოგიის შემდგომი განვითარება გამოიწვია წვრილდისპერსიული შემკვრელი ნივთიერებისა და კომპოზიციური მასალების შექმნაშ. ამასთან, დიდი ყურადღება ეთმობა შემავსებელთან ურთიერთქმედების მექანიზმს.

შევსებულ ცემენტის სისტემებში კონტაქტური ურთიერთქმედების მექანიზმის ანალიზი საშუალებას გვაძლევს დავსახოთ შემავსებლის აქტივაციის გზები, რათა გაძლიერდეს მისი ადჰეზია შემკვრელთან და სტრუქტურაწარმოქმნის როლი.

ყველა კონტაქტური სისტემის დაყოფა არის გაწონასწორებული და გაუწონას-წორებელი. გაწონასწორებელ სისტემებში კონტაქტირებადი ფაზის კომპონენტების ქიმიური პოტენციალი ერთნაირია, ადჰეზიური კავშირები ლოკალიზდება თითოეული ფაზის ზედაპირულ ატომებზე, ხდება ატომებთან მოსაზღვრე თავისუფალი ვალენტობის ურთიერთგაჯერება, რასაც თან ახლავს თითოეული ფაზის მოცულობა-ში ატომთშორისი კავშირების გაწყვეტა.

გაუწონასწორებელ სისტემებში გაყოფის საზღვარზე მიმდინარეობს ქიმიური რეაქცია თითოეული ფაზის მოცულობაში ატომთშორისი კავშირების ნაწილობრივი გაწყვეტით, წარმოიშობა სხვადასხვა ტიპის შუალედური შეერთება, ხდება დიფუზია, ერთი ფაზის გახსნა მეორეში. თავდაპირველი საზღვარი ფაზებს შორის იშლება და ხშირად ფორმირდება ახალი. მაგალითად, ერთ-ერთ ფაზასა და შუალედური ქიმიური შენაერთის ფენას შორის შემავსებლის არჩევასა და მისი აქტივაციის გზების განსაზღვრისას, უმჯობესია მივაღწიოთ მაღალი ადჰეზიური სიმტკიცის ქიმიურად გაწონასწორებული სისტემების შექმნას.

საკმაოდ მტკიცე ადჰეზიური კონტაქტების შექმნა „ცემენტ-შემავსებლის“ სისტემაში შესაძლებელია იმ შემთხვევაში, თუ შემავსებლის ზედაპირული ენერგია გაცილებით მეტი იქნება, ვიდრე ცემენტის. ეს დასკვნა დაფუძნებულია ადჰეზიის თერმოდინამიკურ კონცეფციაზე, რომელთა შეთავსებით ადჰეზიური სიმტკიცის ფორმირებაში ძირითადი როლი ეკუთვნის ადჰეზივის ზედაპირული ენერგიისა და სუბსტრატის ფარდობას, ამასთან ადჰეზივის ზედაპირული ენერგია ნაკლებია, ვიდრე სუბსტრატის.

სითხისათვის ზედაპირული ენერგიის ცნების ეკვივალენტია ზედაპირული დაჭიმულობა, რომელიც განისაზღვრება კარგად დამუშავებული ექსპერიმენტული მეთოდებით. მყარი სხეულებისათვის მის მნიშვნელობაზე შეიძლება მხოლოდ ირიბად ვიმსჯელოთ – მეთოდების ან ზოგიერთი მექანიკური ნაერთის გაზომვით. მაგალითად, მინერალების ზედაპირული ენერგიის შეფასებისას გამოიყენება ხეხვის,

ბურდვის, ნაკაწრების, მიღევადი რხევების მეთოდი. ასევე იყენებენ დაშლის ენერგიაზე დაფუძნებულ მეთოდებს, რომელიც გრიფიტსის თეორიას ემყარება.

ფხვნილისებრი შემავსებლის აქტივაციის დროს ზედაპირული ენერგიის შეცვლის შეფასებისათვის საინტერესოა მეთოდები, რომელიც დაფუძნებულია დასველების შესწავლაზე სისტემაში „მყარი სხეული-სითხე“, კერძოდ კრიტიკული ზედაპირული დაჭიმულობის (ზისმანის მეთოდი) განსაზღვრის მეთოდი, რომელიც ვარაუდობს მყარი სხეულის დასველების კუთხის კოსინუსის ექსპერიმენტულ დადგენას, სითხის ზედაპირულ დაჭიმულობასთან დამოკიდებულებაში.

ზედაპირული ენერგიის მნიშვნელობათა ინტერვალი სხვადასხვა მასალისათვის ფართოა: 0,072 ჯოული/მ<sup>2</sup>-დან, ნორმალური ტემპერატურის წყლისათვის, 1...2 ჯოული/მ<sup>2</sup>-მდე ისეთი მასალისათვის, როგორიცაა ალმასი ან კაჟბადის კორუნდი.

ზედაპირული ენერგია სხეულის სრული ენერგიის ნაწილია, რომელიც განისაზღვრება ატომთა რხევის ენერგიის ჯამური ეფექტით, მიკრონაწილაკების (მოლეკულა, ატომი, იონი, თავისუფალი ელექტრონი და სხვა) ქაოსური წინსვლითი და ბრუნვითი მოძრაობის კინეტიკური ენერგიით, ნაწილაკების პოტენციური ენერგიის ურთიერთქმედებით, ატომებისა და იონების ელექტრონული ენერგიით, შიგაბირთვული ენერგიით, ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ენერგიით.

პიბს-ჰელმჰოლცის თეორიის თანახმად, კუთრი ზედაპირული ენერგია განისაზღვრება განტოლებით:

$$U = \sigma - T \delta\sigma / \Delta T,$$

სადაც  $U$  სრული ზედაპირული ენერგიაა;  $T \delta\sigma / \Delta T$  – ერთეული ზედაპირის შექმნის სითბო.

კრისტალური მასალისათვის კუთრი ზედაპირული ენერგია დამოკიდებულია გისოსის სიმტკიცესა და იმ გარემოზე, რომლითაც გარემოცულია სხეული. შემავსებლის აქტივაციის ეფექტური საშუალებაა ქიმიურ-მექანიკური დამუშავება. ზედაპირული ენერგიის გაზრდა, უპირველეს ყოვლისა, გამოწვეულია სტრუქტურის ატომთშორისი კავშირის გაწყვეტით. ეს ხდება მყარი სხეულის დამსხვრევის, დაფქვის, ხეხვის დროს. ახლად წარმოქმნილ ზედაპირს აქს გაცილებით მეტი ადჰეზიური აქტიურობა. ახალი დაქუცმაცემული მინერალური მასალების (კვარცი, კირქვა, მაგნეზიტი, თაბაშირი და სხვა) ზედაპირთა განსაკუთრებული ენერგეტიკული მდგომარეობა შეიძლება აიხსნას დიდი რაოდენობის გაუჯერებელი ვალენტური კავშირების წარმოქმნით. ასე, მაგალითად, კვარცის კრისტალების დაჭუცმაცებისას

$Si-O$  კავშირის მნიშვნელოვანი წყვეტის შედეგად მარცვლების ზედაპირზე  $Si^{+4}, O^{2-}$  იონები იქმნება.

დაქუცმაცებისას კვარცის შემავსებლის აქტიურობის ამაღლებაში გარკვეული წვლილი ასევე შეაქვს ზედაპირულ ამორფულობას. დაქუცმაცებული კვარცის ზედაპირული ამორფიზებული ფენის სისქე  $150\ldots400 \text{ \AA}^0$  აღწევს. კარბონატული მასალების დაქუცმაცებისას ხდება მათი კრისტალური სტრუქტურის დრმა დაშლა ნაწილობრივ დისოციაციამდე  $CO_2$ -ის გამოყოფით.

მინერალური და ორგანული მასალების მექანიკური დაქუცმაცების პროცესები, ზედაპირული ენერგიის ზრდასთან ერთად, იწვევს ფხვნილის იზობარული პოტენციალის და, შესაბამისად, ქიმიური აქტივობის ზრდას, რაც შემკვრელთან კონტაქტისას ასევე ხელს უწყობს მაღალ ადჰეზიურ სიმტკიცეს. უნდა გავითვალისწინოთ დაფქული ფხვნილის მისწრაფება ჰაერზე მისი დეზაქტივაციისაკენ, მაღალი ადსორბციული უნარისა და წარმოქმნილი მუხტების ურთიერთკომპაქნსაციის გამო. ქიმიურ-მექანიკური დამუშავებისას წარმოქმნილი რადიკალების ჰაერში არსებობის დრო  $10^{-3}\ldots10^{-6}$  წმ შეადგენს.

ახალდაფქული ფხვნილების სინესტისა და ნახშირორჟანგის ორთქლისაგან ადსორბციას და არაკომპაქნირებული მოლეკულური ძალებით გაჯერებას არა მარტო შემავსებლის ზედაპირის „დაბერებისაკენ“ მივყავართ, არამედ დამატებით წინა-ადმდეგობას ქმნის ახალი საიმედო ადჰეზიური კავშირების დამყარებისას. ამის გამო, შემავსებლის ქიმიურ-მექანიკური აქტივაცია ეფექტურია, როცა სტრუქტურირებული შემკვრელის დაფქვის პროცესში იქმნება მარცვლების პირველადი კონტაქტური ფენა. მინერალური ფხვნილების ასეთი აქტივაციის დადებითი ცდები მიღწეულია ასფალტბეტონის ტექნოლოგიაში. ცნობილია, რომ პოლიმერული კომპოზიტების სიმტკიცის ზრდა ასევე მიიღწევა პოლიმერული შემავსებლის ზედაპირის დამუშავებით, ადჰეზივის და მონომერის თანხლებით.

შემავსებლის ადჰეზიური უნარის აქტივაციას, მისი თავისუფალი ზედაპირული ენერგიის გაზრდის ხარჯზე, შეიძლება მივაღწიოთ ელექტრული და მაგნიტური ველის ზემოქმედებით, ულტრაბგერითი დამუშავებით, იონიზებული გამოსხივების დახმარებით.

გარე ელექტრული ველის მოქმედებით მასალის შემქმნელი მოლებულები და იონები პოლარიზდება. გამოირჩევა პოლარიზების სამი მექანიზმი: ელექტრონული, იონური, ორიენტაციული.

ჯამური პოლარიზება  $\alpha$  შეიძლება მივიღოთ ადიტიურობის პირობიდან:

$$a = a_3 + a_o \cdot a_{\text{თ}} .$$

იონური კრისტალური სხეულებისათვის დამახასიათებელია ელექტრონული და იონური პოლარიზაცია, არაპოლარული ნივთიერებებისათვის – მხოლოდ ელექტრონული. ელექტრონული (ატომური) პოლარიზებადობა არის ატომის ყველა ელექტრონის პოლარიზების ჯამი, იონური – ატომთშორისი დაშორებისა და განზიდვის ფუნქცია. ორიენტაციული პოლარიზებადობა დიპოლისა და ტემპერატურის ფუნქციაა. ელექტრონული ველის მოქმედებით ნაწილაკების გარკვეული გადაადგილების შედეგად იქმნება დიპოლი.

დიპოლის მომენტი

$$\mu = aE ,$$

სადაც  $E$  ელექტრონული ველის დაძაბულობაა.

ელექტრონულ ველში ნაწილაკების მიერ მუხტის შეძენა ხდება სამი გზით: კონტაქტური მუხტით ელექტრონზე, შეწონილ მდგომარეობაში მოცულობითი დამუხტვით, გვირგვინისებრი მუხტის საშუალებით ნაწილაკების ტრიბოლოგიური დამუხტვით, ე.ი. მუხტის შეძენა აგლომერატის ხახუნით ან დამსხვრევით.

ნაწილაკების ტრიბოლოგიური დამუხტვა ხდება, მაგალითად, დაქუცმაცების პროცესში და წარმოიქმნება, როგორც იონების ფლუქტუაციის შედეგი, დამსხვრებისას. ქიმიურ-მექანიკური პროცესების გვერდით ის გარკვეულ როლს ასრულებს მინერალური ნივთიერებების აქტივაციის პროცესში. დამუხტული სხეულის ნაწილაკები, რომლებიც დენს არ ატარებს კონტაქტური გადაცემისას იძენს მუხტს. მოცულობითი დამუხტვის ძირითადი წყარო, რომლის დროსაც ელექტროდებს შორის დალექვის ხარჯზე ხდება ნაწილაკების იონიზაცია, არის გვირგვინისებრი მუხტი, რომელიც შეიძლება განხორციელდეს აირში, მკვეთრად არაერთგვაროვან ელექტრულ ველში, ელექტროდების დახმარებით, გამტარების სისტემის კოაქსიალური ცილინდრების ან სიბრტყეზე ნემსების სახით და ა.შ. გვირგვინისებრი განმუხტვა ხდება გარკვეული კრიტიკულ-დაძაბული ველის დროს.

ელექტრონულ ველში ნაწილაკზე მოქმედი ძალა მისი მუხტის წარმოებულისა და ველის დაძაბულობის პროპორციულია. ადჰეზიურ სიმტკიცეზე ელექტრონული

ველის დადებით გავლენას განაპირობებს ელექტრული მუსტის ზემოქმედებით დასველების კუთხის შემცირება, ფუძეშრის ზედაპირიდან სინესტის კვალისა და პაგრის მოცილება, ფოროვანი მასალის გამოყენებისას კი – გაუდენთის არსებითი დაჩქარება.

ფაზათშორისი ზედაპირული ენერგიის შემცირების ეფექტური გზაა შემავსებლის დამუშავება ზედაპირულ-აქტიური ნივთიერებით (ზან). ზან-ის ეფექტურობის აუცილებელი პირობაა მისი შემავსებლის ნაწილაკების ზედაპირთან ქიმიური შთანთქმის ზემოქმედების უნარი. მუავა ხასიათის მინერალური მასალისათვის, ზოგად შემთხვევაში, ყველაზე ეფექტურია კათიონის ტიპის ზან-ი, ფუძის ტიპისათვის – ანიონაქტიური.

ადსორბციულ-აქტიური გარემოს გავლენა ფაზათშორისი ზედაპირული ენერგიის სხვაობაზე, ზან-ის გარეშე და მისი თანხლებით, იზრდება შემავსებლის დისპერსიულობისა და კონცენტრაციის ზრდით, რაც დაკავშირებულია ფაზათშორისი ზედაპირის გადიდებასა და, შესაბამისად, ჭარბ ზედაპირულ ენერგიასთან.

ფაზათშორისი გაყოფის ზედაპირზე ზედაპირული ენერგიის მინიმალური მნიშვნელობა მიიღწევა შემკვრელსა და შემავსებელს შორის მოლეკულური ბუნების სიახლოვით. რებინდერის წესის შესაბამისად, დამასველებელი სითხის ფაზათშორისი ზედაპირული დაჭიმულობა მით ნაკლებია, რაც ნაკლებია განსხვავება მყარი სხეულისა და სითხის პოლარობაში. შემავსებლის შემკვრელისადმი სწრაფვის ამაღლება მიიღწევა მის ზედაპირზე აქტიური ფუნქციური ჯგუფების მოდიფიკაციით. ეს მეთოდი გამოიყენება პოლიმერების ადჰეზიური ურთიერთქმედების აქტივაციისათვის. ის პერსპექტიული იქნება არაორგანული შემავსებლისთვისაც. მაგალითად, კვარცის ქვიშის ზედაპირს სილიკოგელის პოლიმერულ კომპოზიტებში ხშირად სახეს უცვლიან, იყენებენ რა მის უნარს სხვადასხვა სილანისა და სილიკონის რეაქციისადმი. ამ რეაქციის შედეგად ხდება ორგანოსილიკატური ჯგუფის კაუმიწა შემავსებლის ზედაპირთან შერწყმა. ასეთი კაუმიწით მოდიფიცირებული კაუმუკის შემავსებლის გამოყენებას მივყავართ კომპოზიტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მკვეთრ გაუმჯობესებასთან.

შემავსებლის აქტივაციის ერთ-ერთი გზაა მისი ზედაპირის ოპტიმალური რეალიეფის შექმნა. შემავსებლის ხორკლიანობის გადიდება არა მარტო ხელს უწყობს შემკვრელის მექანიკურ ჩასოლვას, ასევე ამაღლებს კონტაქტის ზედაპირს. ამ

შემთხვევაში ადგეზიური სიმტკიცის გადიდება ხდება დასველების პირობების გაუმჯობესებით.

ნაწილაკების ფორმა და ზედაპირის ხასიათი დამოკიდებულია დაფქვის აგრეგატის ტიპსა და მასალის ბუნებაზე. ვიბროვისქვილში უხეშად დაფქვისას მსხვილი მარცვლები მიიღება მომრგვალებული, წვრილი კი – შედარებით კუთხოვანი. ბურთულებიან წისქვილში მარცვლების 0,5...0,6 მმ-მდე დაქუცმაცებისას მეტი მრგვალი მარცვლები მიიღება. დეზინტეგრატორული დაფქვა უპირატესად გვაძლევს ქვიშის კუთხოვან მარცვლებს.

შემავსებლის შემკვრელთან ურთიერთქმედების აქტივაციის გზებთან ერთად საინტერესოა შემავსებლის აქტივაციის მეთოდები, შემკვრელის ეპიტაქსიური კრისტალიზაციის ინტენსიფიკაციის მიზნით. აღსანიშნავია რომ, ცემენტის სისტემებთან დაკავშირებით, შემავსებელი უფრო უკეთესი ქვეყუძეა ჰიდრატული ახალწარმონაქმნის ჩანასახის შექმნისათვის, ვიდრე საწყისი ცემენტის ნაწილაკები. ჰიდრატების ორგანზომილებიანი წარმონაქმნები მყარად ფიქსირდება შემავსებლის ზედაპირზე და ინტენსიურს ხდის ცემენტის ქვის ორგანიზებულ ზრდას, მათი გახსნით ჩამორეცხილ წყალში და აღმოჩნდება რა მასში შეწონილ მდგომარეობაში, ხელს უწყობს შემთხვევითი, არაორგანიზებული სტრუქტურის ცემენტის ქვის წარმოქმნას.

ბევრი ადგილობრივი მასალა და საწარმოო ნარჩენი არაერთგვაროვანია, ამიტომ მათი გამოყენება წინასწარი დამუშავების გარეშე არ შეიძლება. ამასთან დაკავშირებით, ბეტონის ქარხანაში ითვალისწინებენ ადგილობრივი მასალისა და ნარჩენის აქტივაციის და ერთგვაროვნობის ასამაღლებელ მოსამზადებელ განყოფილებას. ეს საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ კონდიცირებული კაუმიწა მიკროშემავსებელი ან მრავალკომპონენტიანი ეფექტური შემკვრელი.

### 3. დასპპნა

ადგილობრივი მასალებისა და ტექნოგენური ნარჩენების აქტივიზაციისა და ერთგვაროვნობის ასამაღლებლად ხდება მათი მექანიკურ-ქიმიური დამუშავება საფქვავ აგრეგატებში. თუ აღნიშნულ მასალებს დაგვჭვავთ ზედაპირულ-აქტიურ ნივთიერებასთან (ზან) ერთად, მივიღებთ მაღალი ერთგვაროვნობისა და დაბალი

წყალმოთხოვნილების ორგანულ-მინერალურ დანამატების, რომელიც ეფექტურად გა-  
მოიყენება სამშენებლო დუღაბებისა და ბეტონებში.

## ლიტერატურა

1. ა. ჩიქოვანი. ბეტონის ტექნოლოგია. თბილისი, 2015.
2. ლ. კლიმიაშვილი, დ. გურგებიძე, ა. ჩიქოვანი. სამშენებლო მასალათმცოდნეობა. თბილისი: სტუ, 2017.
3. Баженов Ю.М. Технология бетона. Москва, 2007.
4. Ратинов В.Б., Розенберг Г.И. Добавки в бетон. Москва, 1993.
5. Ратинов В.Б. Химия в строительстве. Москва, 1998.
6. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. Структура и свойства бетонов с наномодификаторами на основе техногенных отходов. Москва, 2013.
7. Алимов Л.А., Воронин В.В. Технология строительных изделий и конструкций. Бетоноведение. Москва, 2010.
8. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Москва, 1999.
9. Несветаев Г.В. Бетоны. Ростов-на-Дону, 2011.

შაბ 631.367

**სტრატეგიული პულტურების მორფიზა გაუმჯობესებული,  
პოზიციურად მოქმედი დასაწვიმი აბრეგატით**

**ვ. ნანიტაშვილი**

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** ნაშრომში განხილულია ჩაიხა და ციტრუსეოვანი კულტურების მოწყვის საკითხი, როგორც დიდმნიშვნელოვანი ღონისძიება, რომელიც იძლევა მაღალი და ხარისხიანი მოხავლის მიღების გარანტიას, თრიუბირებულს საექსპორტო პროდუქციის გაზრდაზე.

მოცემულია ჩაიხა და ციტრუსეოვანი კულტურების სარწყავი, დასაწყიდი დანადგარების კონცერტუქციული სქემები, ძირითადი კვანძები და მუშაობის პრინციპები, აგრეთვე ტექნიკური პარამეტრები და მოწყვის ტექნიკურობია.

**საკვანძო სიტყვები:** სარწყავი ტექნიკა; ირიგაციული ეროვნია; გეოლოგიური უხაფრობელება; დაწესებულება.

**1. შესავალი**

საქართველოში მეჩაიეობა და მეციტრუსეობა ფორმირებულია, როგორც დამოუკიდებელი დარგი სოფლის მეურნეობაში. ქვეყნის მეურნეობის განვითარებაში ამ დარგს განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს. როგორც ყერძენი, ისე ჩაი და ციტრუსები ძირითად მიეკუთვნება სტრატეგიულ კულტურებს და წამყვანი ადგილი უკავია სოფლის მეურნეობის მთლიანი, მათ შორის საექსპორტო პროდუქციის წარმოებაში.

საქართველოს ნიადაგურ-კლიმატური პირობები განაპირობებს სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოწყვის აუცილებლობას აღმოსავლეთ რაიონებში, რომელიც არასაკმარისი ტენიანობის ზონაშია მოქცეული, ასევე დასავლეთშიც, სადაც,

მიუხედავად ატმოსფერული ნალექების სიჭარბისა, მათი არათანაბარი განაწილების გამო, წლის განმავლობაში შეიგრძნობა ტენის დეფიციტი მცენარის ვეგეტაციის პერიოდში, ამიტომ ჩაისა და სუბტროპიკული კულტურების მორწყვა, სხვა ტექნოლოგიურ პროცესებთან ერთად, ითვლება მნიშვნელოვან აგროტექნიკურ ღონისძიებად, რომელიც იძლევა მაღალი და ხარისხიანი მოსავლის მიღების გარანტიას, ორიენტირებულს საექსპორტო პოტენციალის გაზრდაზე.

რწყვის ტექნოლოგიებიდან ჩაისა და ციტრუსოვანი კულტურებისათვის ჩვენში ფართოდ გამოიყენება დაწვიმების სტაციონარული სისტემები. მაგრამ, იმის გამო, რომ ასეთი სისტემები ითვლება კაპიტალურ ნაგებობებად და მათთვის საჭიროა დიდი რაოდენობით მილსადენი, სხვა დეფიციტური მასალები და, შესაბამისად, დიდი კაპიტალური დაბანდებები, ამიტომ ასეთი სისტემების მშენებლობა მომავალში ნაკლებად მიზანშეწონილია.

## 2. ძირითადი ნაშილი

ჩაისა და ციტრუსების რწყვის განხორციელება უფრო ეფექტურია პოზიციური მოქმედების დასაწვიმი დანადგარებით, რომელთა გაბარიტები საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ ისინი ისე, რომ მცენარეთა რიგთაშორის გადაადგილება მოხდეს მათი ამოძირკვისა და დაზიანების გარეშე.

უკანასკნელ წლებში საქართველოში დამუშავდა და დამზადდა გრძელჭავლიანი დასაწვიმი დანადგარი დდჩ-50 (ავტორი ო. ნანიტაშვილი, ტექნ. მეცნ. დოქტორი).

დასაწვიმი დანადგარ დდჩ-50-ის ტექნიკური მონაცემები:

მწარმოებლურობა, კა/სთ ..... 0,65

ძირითადი სიგანე რიგთაშორის, რომელზეც

გათვლილია დანადგარი, მ ..... 1,75, 2,05

წყლის ხარჯი, ლ/წმ ..... 50

წნევა, მ ..... 70

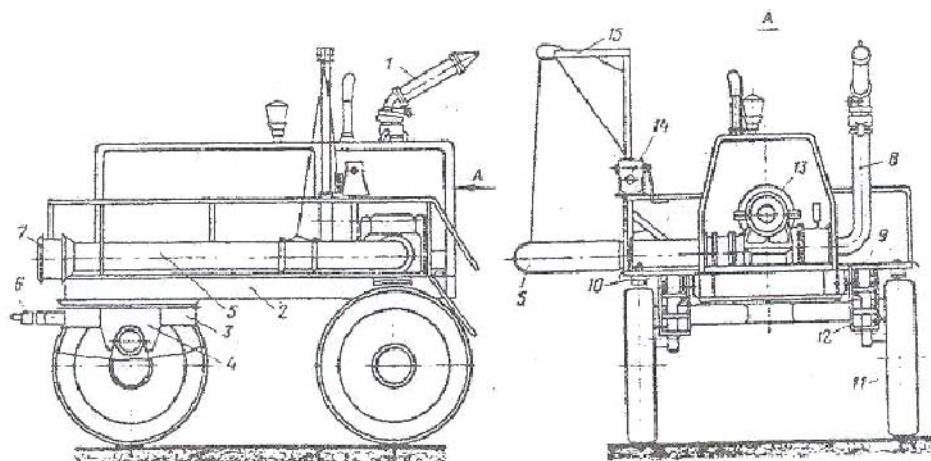
მოქმედების რადიუსი, მ ..... 68

წვიმის ინტენსიურობა, მმ/სთ ..... 12-13

მანძილი მრწყველებს შორის, მ ..... 100

მანძილი პოზიციებს შორის, მ ..... 110

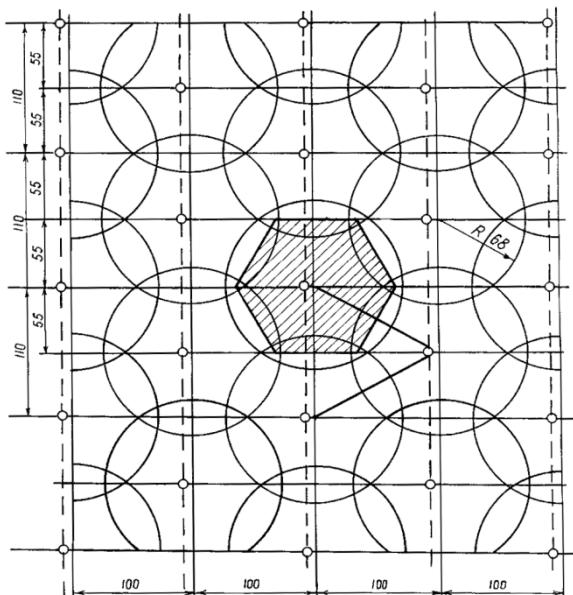
ყველაზე მაღალი მოსარწყავი მცენარის სიმაღლე, მ	0,90
მომსახურე პერსონალი, კაცი	1
დანადგარის მასა ძალური დანადგარითა და	
სატუმბი აგრეგატით, კბ	2850
გაბარიტული ზომები, მმ	
სიგრძე	4120
სიგანე	2450
სიმაღლე	3265



ნახ. 1. დასაწვიმი დანადგარ დდჩ-50-ის სქემა

ჩაის პლანტაციების სარწყავი გრძელჭავლიანი დასაწვიმი მაღალი ლიანდის მქონე პნევმოთვლებიანი (წინა თვლების მოსაბრუნებელი მექანიზმით) დანადგარი დდჩ-50 არის მისაბმელი, რომელიც შედგება შემდეგი ძირითადი კვანძებისაგან (ნახ. 1): ჩარჩო (1), კოჭა (2), ხელნა (3), ხრუტუნა (4), ბაქანი (5), ისარი (6), მუხრუჭი (7), საკიდური (8), შემწოვი მილყელი (9), სადაწნეო მილსადენი (10), კიბე (11), ჯალამბარი (12), სატუმბი აგრეგატი (13), სავალი ბორბალი (14), დასაწვიმი აპარატი (15).

დანადგარი მუშაობს პოზიციურად როგორც წრეზე (ნახ. 2), ისე სექტორზე. იგი წყალს იღებს სარწყავი არხიდან ან მილსადენის დახურული ქსელის პიდრანტიდან. მუშაობის ადგილამდე და პოზიციიდან პოზიციამდე მისი გადაადგილება ხდება ჩაის მოდიფიკაციის ტ-16მჩ მარკის თვითმავალი შასით. პოზიციებზე დანადგარი ფიქსირდება მუხრუჭით, რის შემდეგაც მოეხსნება თვითმავალი შასი სხვა სამუშაოს შესასრულებლად.



— დანადგარის გადაადგილების გზა

— სარწყავი არხი

○ დანადგარის დგომის ადგილი

**ნახ. 2. დასაწვიმი დანადგარ დდჩ-50-ის მუშაობის სქემა**

ჩაის პლანტაციების წრეზე რწყვის დროს

დანადგარის როულ რელიეფურ პირობებში გამოყენებისათვის ჩატარდა კვლევები მისი მუშაობის უსაფრთხოების მიზნით, ფერდობის დახრილობის მიხედვით. მიღებული შედეგების მიხედვით, დანადგარს აქვს მაღალი დინამიკური მდგრადობა, რაც საშუალებას იძლევა რეკომენდებულ იქნეს იგი მთიანი მასივების მოსარწყავად. დაწვიმებისას ეროზიული პროცესების კვლევებმა გვიჩვენა, რომ მსუბუქი და საშუალო მექანიკური შედგენილობის თიხნარ ნიადაგებში დანადგარის გამოყენება, ეროზიული პროცესების წარმოქმნის გარეშე, ჩაისა და ციტრუსოვანი კულტურების რწყვის ჩატარების სრულ გარანტიას იძლევა 11–12 გრადუსამდე დახრილობის ფერდობებზე, ხოლო მძიმე თიხნარ ნიადაგებში გარანტიის ზღვარმა 9 გრადუსს არ უნდა გადააჭარბოს. აღნიშნულ პირობებში უფრო მეტი დახრილობის ფერდობებზე რწყვის ჩატარებას თან ახლავს ეროზიის წარმოქმნის საშიშროება.

დაწვიმების დანადგარის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ტექნიკური მახასიათებელია მდგრადობის მაჩვენებლები, რომლის მიხედვით განისაზღვრება დანადგარის

ექსპლუატაციის შესაძლო არეალი, მუშაობის უსაფრთხოების ხარისხი და, შესაბამისად, მისი საერთო ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები.

მდგრადობის მაჩვენებლების სიდიდეები კიდევ უფრო მნიშვნელოვანია დანადგარის ფერდობზე მუშაობის დროს. მობილური მანქანების ანალოგიურად, ფერდობზე მომუშავე დაწვიმების დანადგარის მდგრადობა (როგორც სტატიკური, ისე დინამიკური პირობებისთვის) შეიძლება დახასიათდეს მისი გრძივი და განივი მდგრადობის მახასიათებლებით.

გრძივი მდგრადობის დარღვევის შემთხვევაში დანადგარი გადაყირავდება წინ (დაღმართი) ან უკან (აღმართი), ხოლო განივი მდგრადობის დარღვევის შემთხვევაში – გვერდით (მარჯვნივ ან მარცხნივ).

ამრიგად, განსახილველი დაწვიმების დანადგარი პოზიციური მოქმედების აგრეგატია. მის დინამიკურ მდგრადობაზე, ნიადაგის მიკრორელიეფისა და საექსპლუატაციო წონის გარდა, გავლენას ახდენს საჭირები საქმენიდან მაღალი წევით (70 გ) გამოდინებული ჭავლის მიერ განვითარებული რეაქტიული ძალა, რომელიც მოქმედებს დამჭირენი მილეულის ვერტიკალური დერძის გარშემო მბრუნავი საქმენის დერძის გასწვრივ. ეს უკანასკნელი, თავის მხრივ, ნიადაგის სიბრტყის მიმართ დახრილია  $\gamma$  კუთხით, რომლის ოპტიმალური სიდიდე  $\gamma = 28 \div 32$ -ის ფარგლებში მერყეობს, რაც ჭავლის მაქსიმალური ფრენის მანძილს შეესაბამება.

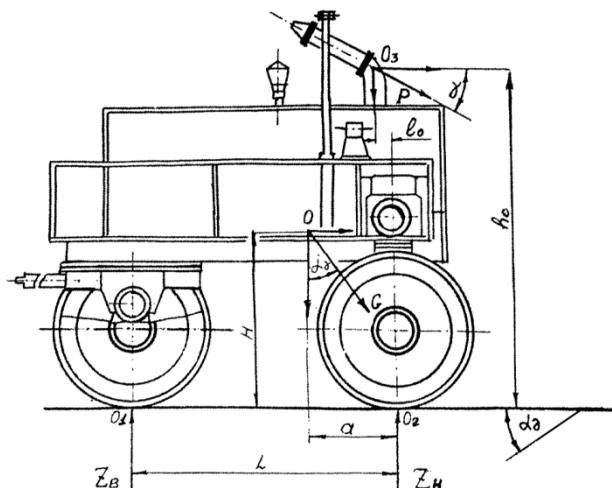
რეაქტიული  $P$  ძალა, საქმენოან ერთად, ასრულებს ბრუნვით მოძრაობას  $n = 0.5 \div 1$  ბრწო სიხშირით, ამიტომ  $P$  ძალის მიერ შექმნილი მომენტი, აყირავების შესაძლო დერძის მიმართ, ერთი პერიოდის განმავლობაში იცვლის მდგომარეობას ამყირავებელ, მასტაბილიზებელ და ამ თრ საპირისპირო ხასიათის მომენტებს შეარსებულ შუალედში (ამყირავებელ-მასტაბილიზებელი). დანადგარის დინამიკური (როგორც გრძივი, ისე განივი) მდგრადობის თვალსაზრისით,  $P$  ძალის ის მიმართულებაა საინტერესო, რომლის დროსაც ეს ძალა ცდილობს ამოაყირავოს მომუშავე აგრეგატი. ამიტომ, დაწვიმების დანადგარის მდგრადობის განხილვისას რეაქტიულ  $P$  ძალას პირობითად მინიჭებული აქვს ფიქსირებული მიმართულება, კერძოდ ისეთი, როდესაც მის მიერ შექმნილი მომენტი აყირავების დერძის (გრძივი ან განივი) მიმართ ასრულებს ამყირავებელი მომენტის ფუნქციას. ამ დაშვების გათვალისწინებით (ფერდობის მიკრორელიეფის თავისებურებას მხედველობაში არ ვიღებთ) განვსაზღვროთ აგრეგატის დინამიკური მდგრადობის კუთხეები.

გრძივი დინამიკური მდგრადობის საზღვრების გამოთვლისათვის განვიხილოთ  $\alpha_{\text{კ}}$ -გრადუსიან აღმართზე მომუშავე დაწვიმების დანადგარზე მოქმედ ძალთა სქემა (ნახ. 3). მდგრადობის კრიტერიუმად ამ შემთხვევაში გამოიყენება ნიადაგის ნორმალური რეაქციის სიდიდე განტვირთულ თვალზე. ჩვენს შემთხვევაში ასეთად გვევლინება  $Z_B$  რეაქცია  $\dot{\nu}$  ინა თვლებზე. მისი დადებითი მნიშვნელობის დროს  $\dot{\nu}$  ინა თვლები კარგ კონტაქტშია ნიადაგთან და დანადგარი შეიძლება არ ამოყირავ-დეს (ე. ლვოვი).

$Z_B$  რეაქციის დასადგენად შევადგინოთ დანადგარზე მოქმედ ძალთა მომენტების განტვოლება უკანა დატვირთული თვლების ნიადაგთან კონტაქტის  $O_2$  წერტილის მიმართ

$$Z_B \cdot L - a \cdot G \cos \alpha_{\text{კ}} + HG \sin \alpha_{\text{კ}} - Pl_0 \sin \gamma + Ph_0 \cos \gamma = 0, \quad (1)$$

სადაც  $P$  რეაქტიული ძალაა;  $h_0$  და  $l_0$  – რეაქტიული ძალის მოდების  $O_3$  წერტილის შესაბამისად ვერტიკალური და გრძივი კოორდინატები  $O_2$  წერტილის მიმართ;  $G$  – დანადგარის წონა;  $H$  და  $a$  – სიმძიმის  $O$  ცენტრის ვერტიკალური და გრძივი კოორდინატები;  $\gamma$  – საქშენის დახრის კუთხე;  $L$  – დანადგარის ბაზა.



ნახ. 3. აღმართზე მომუშავე დასაწვიმ დანადგარზე  
მოქმედ ძალთა სქემა

(1) განტოლებიდან განვსაზღვროთ  $Z_B$  რეაქციის სიდიდე

$$Z_B = \frac{G(\alpha_{\text{კ}} \cos \alpha_{\text{კ}} - H \sin \alpha_{\text{კ}}) + P(l_0 \sin \gamma + h_0 \cos \gamma)}{L} . \quad (2)$$

ამრიგად, დანადგარის გრძივი დინამიკური მდგრადობის პირობა, მისი აღმართზე მუშაობის დროს, შეიძლება გამოისახოს უტოლობით:

$$Z_B \geq 0; \quad (3)$$

ამ რეაქციის ნულოვანი მნიშვნელობა

$$Z_B = 0 \quad (4)$$

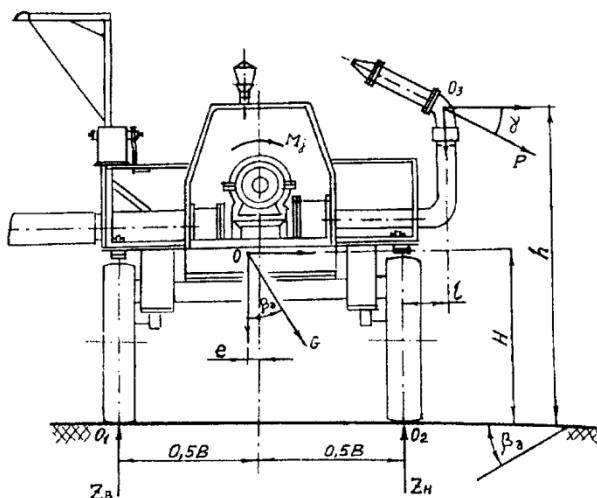
არის დანადგარის არამდგრადი წონასწორობის პირობა  $\alpha_{\varphi}^K$  კუთხის კრიტიკული მნიშვნელობით. ამ კუთხის სიდიდე გამოითვლება ფორმულით:

$$H \operatorname{tg} \alpha_{\varphi}^K = a - \frac{P}{G \cos \alpha_{\varphi}^K} (h_0 \cos \gamma - l_0 \sin \gamma). \quad (5)$$

ანალოგიურად განისაზღვრება განივი დინამიკური მდგრადობის  $\beta_{\varphi}^K$  კრიტიკული კუთხე. ამ შემთხვევაში მდგრადობის კრიტერიუმია ნიადაგის  $Z_B$  რეაქციის სიდიდე. მისი მნიშვნელობის დასადგენად შევადგინოთ დანადგარზე მოქმედ ძალთა მომენტების განტოლება დატვირთული თვლის ნიადაგთან  $O_2$  შეხების წერტილის მიმართ (ნახ. 4):

$$Z_B \cdot B - G(0.5B + l_{\vartheta}) \cos \beta_{\varphi}^K + HG \sin \beta_{\varphi}^K + Pl_0 \sin \gamma + Ph_0 \cos \gamma = 0, \quad (6)$$

სადაც  $B$  აგრეგატის ლიანდია;  $l_{\vartheta}$  – სიმძიმის  $O$  წერტილის ექსცენტრისიტეტი აგრეგატის გრძივი დერძის მიმართ;  $h_0$  და  $l_0$  – რეაქტიული  $P$  ძალის მოდების  $O_3$  წერტილის კოორდინატები  $O_2$  წერტილის მიმართ.

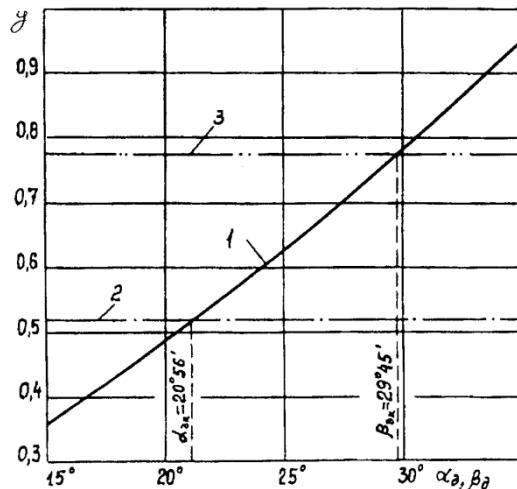


ნახ. 4. დანადგარზე მოქმედ ძალთა სქემა განივი დახრის ფერდობზე მუშაობისას

(6) გამოსახულების გარდაქმნებით და წინა მსჯელობების ანალოგიურად, კრიტიკული  $\beta_{\varphi}^K$  კუთხის განსაზღვრისათვის ვიღებთ შემდეგ დამოკიდებულებას:

$$H \operatorname{tg} \beta_{\varphi}^K = (0.5B + l_0) - \frac{P}{G \cos \beta_{\varphi}^K} (l_0 \sin \gamma + h_0 \cos \gamma). \quad (7)$$

მე-5 ნახ-ზე მოცემულია (5) და (7) განტოლებების გრაფიკული ამოხსნები  $\alpha_{\varphi}^K$  (1 და 2 მრუდების კვეთის წერტილი) და  $\beta_{\varphi}^K$  (1 და 3 მრუდების კვეთის წერტილი) კუთხეების მიმართ.



ნახ. 5. დიაგრამა დასაწყიმი დანადარის დინამიკური მდგრადობის კრიტიკული კუთხეების განსაზღვრისათვის:

1.  $y = H \operatorname{tg} \alpha_{\varphi}^K$  - გრძივი დინამიკური მდგრადობისათვის;  $y = H \operatorname{tg} \beta_{\varphi}^K$  - განივი დინამიკური

მდგრადობისათვის; 2.  $y = a - \frac{P}{G \cos \alpha_{\varphi}^K} (h_0 \cos \gamma - l_0 \sin \gamma)$ ; 3.  $y = (0.5B + l_0) - \frac{P}{G \cos \beta_{\varphi}^K} (l \sin \gamma + h \cos \gamma)$

თუ (5) და (7) გამოსახულებებში ჩავსვამო  $P = 0$ , მივიღებთ გრძივი და განივი სტატიკური მდგრადობის ზღვრული კუთხეების საანგარიშო დამოკიდებულებებს.

### 3. დასპპნა

ნიადაგის მდგომარეობისა და მიკრორელიეფის გარემოებათა მიხედვით, ფერ-დობის რეალური ქანობები, რომლებზეც შეუძლია იმუშაოს დანადგარმა დღწ-50-მა, გაცილებით ნაკლებია ფერდობის ზედაპირის არადეფორმირებული პირობებიდან გამოთვლილ თეორიულ მნიშვნელობებზე.

## ლიტერატურა

1. Мирцхулава Ц.Е. Водная эрозия почв. Тбилиси: Мецниереба, 2000. – 423 с.
2. Nanitashvili O., Nanitashvili V. Technology of antierosionsprinkling Irrigation. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences. 173, N1. 2006. p 108-109.
3. Наниташвили О., Вартанов М., Наниташвили В. Экологически безопасное дождевание чайных и цитрусовых плантаций в горных условиях // Экологические системы и приборы. Москва: "Научтехлитиздат", 2008 г., N6.
4. Наниташвили О.С., Рехвиашвили Э.Р., Наниташвили В.О. Устойчивость установки ДДЧ-50 на поперечном склоне. Тракторы и сельскохозяйственные машины. М.: "Машиностроение", N3, 2003, с.24-29.
5. Наниташвили В. К расчёту критических узлов боковой устойчивости дождевальных установок типа ДДЧ". Вестник Академии наук Грузии. Тбилиси, 2014 г. – 168 с.

შაგ 332.025

## „მდგრადი კაპიტალის“ ჩართვის ეფექტურობა შემცნის ეპონომიკურ ბრუნვასა და სამშენებლო საქმეში

ე. ქრისტესიაშვილი, რ. მახვილაძე, ი. გოგოლაძე

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** ნაშრომში განხილულია მხოლოდია და საქართველოში მოსახლეობის ფაქტობრივ სარგებლობაში არსებული “შევდარი კაპიტალის” სამოქალაქო ბრუნვაში ჩართვის როლი ქვეყნის ეკონომიკის, მათ შორის სამშენებლო საქმიანობის განვითარების სფეროში.

**საკვანძო სიტყვები:** იპოთეკა; მკვდარი კაპიტალი; მატერიალური და შინაგანი დორებულება; მიწა; შენობა-ნაგებობები; უძრავი ქონება; მატერიალური აქტივი; დეველოპმენტი; კუმულაციური ეფექტი.

### 1. შპსავალი

მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, თუ რატომ მიიჩნევა სამშენებლო სექტორის ყველაზე ეფექტურ განმავითარებლად იპოთეკა, რა განსაკუთრებული თვისებების მატარებელია ეს კონკრეტული სანივთო უფლება, რა შედეგების მომტანია მისი გამოყენების ეკონომიკური მექანიზმი, რომ მას გარანტირებულად შეუძლია სამშენებლო სექტორში პროგრესის ინიცირება და მისი შემდგომი განვითარება.

იპოთეკის არსებობის შესაძლებლობებსა და გამოყენების ეფექტურობაზე ყურადღება თავდაპირველად გავამახვილე ჩემთვის საეტაპო ნაშრომის, კერძოდ პერუელი ეკონომისტისა და მოაზროვნის, ერნანდო დე სოტოს ნაშრომის – „კაპიტალის მისტერია - რატომ ზეიმობს კაპიტალიზმი დასავლეთში და წარუმატებელია დანარჩენ მსოფლიოში“ – წაკითხვისას.

ნაშრომში აღნიშნული რიტორიკული კითხვა, სავარაუდოდ, განვითარების გზაზე მდგომარეობა ყველა ადამიანმა და სახელმწიფომ უნდა დასვას. ბუნებრივია, თუ

კონკრეტული სისტემა წარმატებულია სხვა ქვეყნებში, თუ სხვაგან ეკონომიკა განვითარებულია, რატომ ვერ აღწევს ჩვენი ქვეყანა იმავე წარმატებას, რაშია მიზეზი? აღნიშნულ ნაშრომში ამ კითხვაზე მრავალსახოვნადაა გაცემული პასუხი, თუმცა ყველაზე მთავარ ახსნად, თუ რატომ ვერ ავითარებს ესა თუ ის ქვეყანა ეკონომიკას, სახელდება სახელმწიფოში არსებული ე.წ. „მკვდარი კაპიტალის“ დიდი და გამოუყენებელი მოცულობები.

## 2. ძირითადი ნაშილი

ტერმინი „მკვდარი კაპიტალი“ ეწოდება ისეთ კაპიტალს, აქტივს, რომელიც არაა ჩართული სამოქალაქო და ეკონომიკურ ბრუნვაში, რომელიც თამაშგარე მდგომარეობაშია და ნულოვანი ან უმნიშვნელო წვლილი შეაქვს ქვეყანაში დოკლათის შექმნის საშურ საქმეში. ნებისმიერი სახის უფლებადაუდგენელი ან გაუფორმებელი, ან ფუნქციის გარეშე არსებული ქონებრივი ფონდია ტიპური „მკვდარ კაპიტალი“.

ნებისმიერ ნივთს, კონკრეტულად სამშენებლო სექტორის მთავარ პროდუქტს - შენობა-ნაგებობას აქვს ღირებულების რამდენიმე განზომილება, თუმცა შესაძლებელია მათი გამსხვილება ორ მთავარ განზომილებად: პირველი და ზედაპირული განზომილებაა შენობა-ნაგებობის მატერიალური ღირებულება ანუ იმ მასალა-ნაკეთობებისა და მოწყობილობების ღირებულებათა ჯამი, რომლისგანაცაა ეს შენობაა კონსტრუირებული. ღირებულების მეორე განზომილებაა შენობის არამატერიალური ღირებულება ანუ ის პოტენციალი, ის სარგებელი და შემოსავალი, რომლის მიღებაც კონკრეტული ნივთის გონივრული განკარგვითა შესაძლებელი.

იპოთეკის ბუნების უკეთ შესაცნობად სამოქალაქო სამართლიდან უნდა გავიხსენოთ რამდენიმე ცნება, კერძოდ ნივთსა და ქონებას შორის არსებული განსხვავება.

როგორც ცნობილია, ნივთი ეწოდება მატერიალურ საგანს, ხორციელ, ფიზიკურ ობიექტს, რომელზეც ადამიანები ფაქტობრივ ბატონობას (ფლობას, სარგებლობას, განკარგვას) ახორციელებენ. ეს, სხვა საგნებთან ერთად, ბუნებრივია, შეეხება შენობა-ნაგებობებზეც. ქონებად ნივთი გადაიქცევა მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ პირს გაუჩნდება რაიმე სახის უფლება აღნიშნულ ნივთთან მიმართებაში ანუ მარტივად რომ ჩამოვაყალიბოთ: **ქონება = ნივთს + უფლება ამ ნივთზე.**

ტრადიციულად, უძრავ ნივთებს მიეკუთვნება კაცობრიობის ყველაზე მთავარი მატერიალური აქტივი, კერძოდ მიწა და მასთან მყარად, უძრავად დაკავშირებული ნივთები, რომლებშიც, პირველ რიგში, შენობა-ნაგებობები იგულისხმება.

სამშენებლო სექტორი თავისი საქმიანობის ფარგლებში სწორედ უძრავ ნივთებთანაა მჭიდროდ დაკავშირებული, რადგან მშენებელი ახორციელებს უმთავრესი უძრავი ქონების, კერძოდ მიწის ნაკვეთის განვითარებას, გაუმჯობესებას, რაც ასევე მეორე ტიპის უძრავი ნივთების – შენობა-ნაგებობების აგებაში გამოიხატება. ცალკე აღნიშვნის ღირსია მიწის ნაკვეთის აღნიშნული გაუმჯობესების, დეველოპმენტის (სამშენებლო განვითარება) შედეგად მიღებული ე.წ. „სინერგიის ანუ კუმულაციური ეფექტი“, ანუ ცარიელი, განუვითარებელი მიწის ნაკვეთის ღირებულება ნაგებობის ასაშენებლად საჭირო მასალებიანად, როგორ წესი, ნაკლები ღირებულებისაა, ვიდრე უკვე შენობა-ნაგებობებით გაუმჯობესებული, კეთილმოწყობილი მიწის ნაკვეთი.

საბაზო ეკონომიკის პირობებში ნებისმიერი პირის ამოცანაა მაქსიმალური სარგებელი მიიღოს მის დაქვემდებარებაში არსებული აქტივებისაგან. ნივთებიდან, მათ შორის უძრავი ნივთებიდან, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, შესაძლებელია ღირებულების ორი განზომილებით სარგებლობა. ნივთების გამოყენების ყველაზე გავრცელებული ფორმაა პირველი ანუ მატერიალური ღირებულების გამოყენება. შენობა-ნაგებობის განხილვისას იგულისხმება მისი გამოყენება საცხოვრებლად, თავშესაფრად, სადგომად და ა.შ. შენობა-ნაგებობის ღირებულების მხოლოდ ამ ნაწილის გამოყენებაა ბუნებრივი, თუმცა ეს ნამდვილად არაა სარგებლის ის მაქსიმუმი, რისი მიღებაც აქედანაა შესაძლებელი. შენობის ღირებულების მეორე განზომილების გამოსაყენებლად იგი ნივთიდან ქონებად უნდა გადაიქცეს ანუ მასზე საკუთრების უფლება უნდა იქნეს მოპოვებული, რაც მხოლოდ ფაქტობრივი ბატონობით არ მიიღწევა და კონკრეტულ სახელმწიფო უწყებაში, კერძოდ უძრავ ნივთებზე უფლებათა მარეგისტრირებელ ორგანოში, საჯარო რეესტრის ეროვნულ სააგენტოში, უფლების რეგისტრაციითაა შესაძლებელი.

სანივთო უფლების რეგისტრაციით ნივთი გამოდის ე.წ. „მკვდარი კაპიტალის“ რეჟიმიდან, იქცევა ქონებად, შესაბამისად უკვე თავისუფლად შეუძლია ჩაერთოს სამართლებრივ და ეკონომიკურ ბრუნვაში. ქვეყანაში დღემდე არსებულ და გატარებულ უფლებათა რეგისტრაციის სახელმწიფო პოლიტიკა, ასევე ამჟამად მიმდინარე რეფორმები ემსახურება სწორედ ლეთარგიულ მდგომარეობაში მყოფი

სანივთო აქტივის სამართლებრივ „გამოცოცხლებას“, ეკონომიკურ არენაზე მათ შემოყვანას და, აღნიშნულის შედეგად, ქვეყნის მთლიანი შიგა პროდუქტის ფორმირებაში მათ თანამონაწილეობასა და პოზიტიურ კონტრიბუციას.

იპოთეკა მთელი თავისი პოზიტიური ეფექტით სწორედ ამ მომენტიდან ერთვება საქმეში, კერძოდ იგი გამოიყენებს უძრავი ქონების როგორც გარეგან, მატერიალურ, ისე შინაგან, პოტენციურ ღირებულებას, ხოლო აკუმულირებული მოცულობით ახდენს რაიმე სახის გარემოების გადაზღვევა-უზრუნველყოფას, თანაც ისე, რომ რეალურად შესაძლოა არც გახდეს აღნიშნული ღირებულების მატერიალიზება საჭირო.

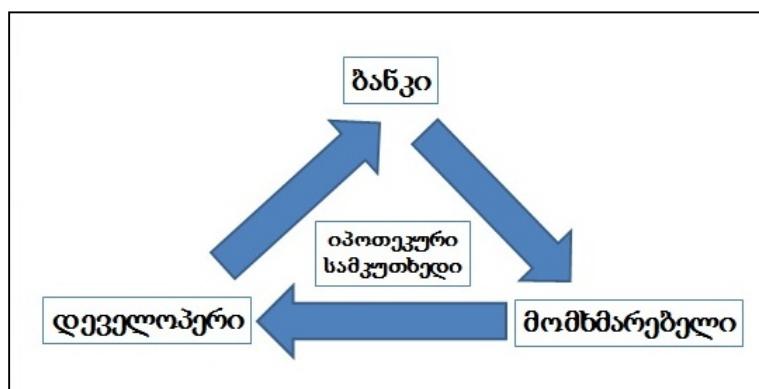
კონკრეტული მაგალითები კიდევ უფრო თვალსაჩინოს გახდის იპოთეკის ეფექტს. წარმოვიდგინოთ ავარიული, გასარემონტებელი ერთსართულიანი საცხოვრებელი სახლი, რომლის ღირებულება 20 ათას ლარს შეადგენს. თუ ამ სახლს დავტვირთავთ იპოთეკით, ხოლო აღებულ თანხას 10 ათასი ლარის ოდენობით მოვახმართ მისსავე გაუმჯობესებას, შედეგად მივიღებთ მტკიცე, გარემონტებულ, კეთილმოწყობილ ნივთს, რომლის ღირებულებაც აშკარად მეტი იქნება, ვიდრე 30 ათასი ლარი. ეს პირველი ეფექტია, რაც შესაძლებელია იპოთეკით იქნეს მიღწეული.

ახლა მოვახდინოთ სახლის უფრო განვითარება და დავაშენოთ ერთი სართული. ამისათვის, კვლავ დატვირთოთ უკვე გარემონტებული სახლი, ამჯერად თავისუფლად იქნება შესაძლებელი უკვე არა 10, არამედ 20 ათასი და უფრო მეტი ოდენობის რესურსის მიღება, რომელსაც თუ ამავე სახლს მოვახმართ, შედეგად მივიღებთ თითქმის 80 ათასამდე ღირებულების ქონებას.

აღნიშნული 2-სართულიანი სახლის გაზრდილი ღირებულების იპოთეკური უზრუნველყოფით შესაძლებელია უკვე 40 ათასამდე რესურსის მობილიზება, რომლითაც შესაძლებელია აღნიშნული სახლის თავდაპირველი მდგომარეობის ანალოგიური, 4 სხვა სახლის პირველადი გაუმჯობესება. შემდგომ, თავის მხრივ, იმ სახლებზეც შეიძლება, იპოთეკური ეფექტის წყალობით, გაზრდილი ღირებულების აქტივების მიღება და ანალოგიური ციკლის იტერაცია. შესაბამისად, აღნიშნული პროცესი შესაძლოა პრაქტიკულად უსასრულოდ იქნეს გაგრძელებული.

იპოთეკას, როგორც ინსტრუმენტს, უმნიშვნელოვანესი ადგილი უჭირავს ბინათმენებლობითი სამშენებლო ბიზნესის წარმატებაში. აღნიშნულ ბაზარზე მოხსენის მხარეს წარმოადგენენ უძრავი ქონების შეძენით დაინტერესებული პირები, თუმცა მათ უმრავლესობას არ გააჩნია აღნიშნული ქონების შესაძენად საჭირო

რესურსები სრული მოცულობით, ხოლო მიწოდების მხარეს – დეველოპერები, რომელთაც სურთ მათი სამშენებლო პროდუქციის ეფექტური და რენტაბელური რეალიზაცია. სწორედ აღნიშნულ სიტუაციაში ერთგება საქმეში იპოთეკური მექანიზმი, კერძო სამართალურთიერთობაში შემოდის თავისუფალი ფინანსური რესურსის მქონე პირი (როგორც წესი, კომერციული ბანკი), რომელიც აკავშირებს და შესაძლებელს ხდის მოთხოვნისა და მიწოდების მხარეების სარგებლიან კორელაციას. იპოთეკური მექანიზმის საშუალებით იკვრება სამკუთხა წრედი და შესაძლებელი ხდება ფინანსური ნაკადების მოძრაობა ბაზრის მონაწილეებს შორის.

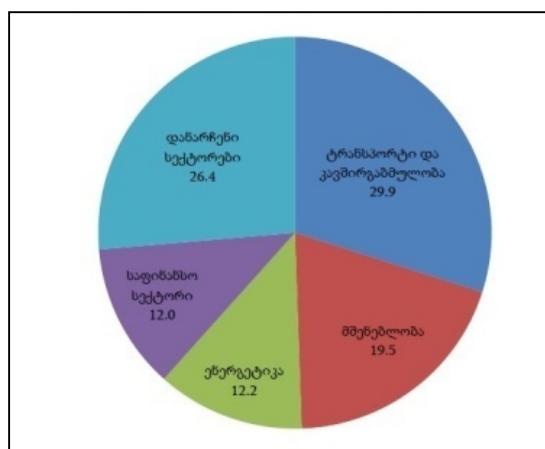


გონივრული დაგეგმვის პირობებში იპოთეკის პოზიტიური ეფექტი შესაძლებელია გეომეტრიული პროგრესით გაიზარდოს, იგი ექსპონენტური ხასიათისაა, თუმცა გარკვეული შეზღუდვებით. აღნიშნული ეფექტი ანუ შიგა ღირებულების გამოყენება საკუთარი თავის გასაძლიერებლად შესაძლოა ფიგურალურად შედარდეს იმ მოვლენას, როდესაც ბარონმა მიუნაუზენმა საკუთარი თავი და ცხენი თავად, საკუთარი ძალით ამოათრია ჭაობიდან. ასეთივე, თანაც მასშტაბური ეფექტის მოხდენაა შესაძლებელი ქვეყანაში ოპტიმალურად ორგანიზებული იპოთეკური მექანიზმით.

მსოფლიო მოსახლეობის უმეტესი ნაწილი იპოთეკური სესხებით სარგებლობს არა მარტო უძრავი ქონების შესაძენად, არამედ სხვა მოთხოვნილებების დასაკმაყოფილებადაც. ამ მხრივ საინტერესოა მსოფლიოში არსებული წლიური საპროცენტო განაკვეთის ოდენობა იპოთეკურ სესხებზე, კერძოდ აღნიშნული მონაცემი ყველაზე დაბალია იაპონიაში და 1,16%-ს შეადგენს, შემდეგ მოდის შვეიცარია – 1,44%, ფინეთი – 1,49%, გერმანია – 1,49%, შვედეთი – 1,89%, სლოვაკეთი – 1,94%, საფრანგეთი – 2%, ჩეხეთი, ტაივანი და ლიბერა – 2,05%, სინგაპური – 2,1%, ავსტრია, დანია, პონგკონგი, ესპანეთი, ბელგია, ესტონეთი, იტალია, ნიდერლანდები, ნორვეგია, ლატვია, პორტუ-

გალია, კანადა, დიდი ბრიტანეთი, რუმინეთი, ისრაელი, სამხრეთ კორეა, სლოვენია, მალტა, პოლონეთი, საუდის არაბეთი, ირლანდია, აშშ, კვიპროსი, სერბეთი, არაბეთის გაერთიანებული საემიროები, ჩილე, ავსტრალია და ა.შ. უკეთაზე მაღალი მაჩვენებელია არგენტინაში – 25,94%, საქართველოში – 11,86%, რუსეთში – 11,98%, უკრაინაში – 21,05%, სომხეთში – 13,27%, აზერბაიჯანში – 9,47%.

სტატისტიკური მონაცემებით საქართველოს მოსახლეობის ნახევარზე მეტი ანუ ეკონომიკურად აქტიური 2 მლნ. ადამიანიდან 1,16 მლნ. ცხოვრობს სოფლად, სადაც დაკავებულნი არიან დაბალი ინტენსივობის თვითკმარი ფერმერული (სასოფლო-სამეურნეო) საქმიანობით. საქსტატის „ერთსაათიანი დასაქმებულობის“ კრიტერიუმის გათვალისწინებით, სოფლად მცხოვრები გლეხები ეკუთვნიან თვითდასაქმებულთა კატეგორიას, რაც სტატისტიკურ მონაცემებზე გავლენას ახდენს. აღნიშნული მეთოდოლოგიით ოჯახის უფროსი გათანაბრებულია „ინდივიდუალურ მეწარმესთან“, ხოლო ოჯახის დანარჩენი წევრები, რომლებიც დახმარებას უწევენ მეურნეობის გაძლიერების, კლასიფიცირებული არიან, როგორც „ანაზღაურების გარეშე მომუშავეები“. სტატისტიკური მონაცემების დამუშავების აღნიშნული მეთოდოლოგიიდან გამომდინარე, უმუშევრობის დონე სოფლად ბევრად დაბალი მაჩვენებლებით გამოისახება (4.8% 2015 წელს და 5% 2016 წელს), ვიდრე ქალაქად მცხოვრებთა ანალოგიური მაჩვენებელი, სადაც აღნიშნული მონაცემი 20%-იან ნიშნულს აჭარბებს.



საქართველოში შინამეურნეობის (ოჯახების) შემოსავლები სხვადასხვა ოდენობით, თუმცა სტაბილურად იზრდება 2000 წლიდან. 2004–2016 წლებში შემოსავლები 3-ჯერ მეტად გაიზარდა, ხოლო 2016 წელს, წინა წელთან შედარებით, 2%-იანი მატება დაფიქსირდა.

2017 წლის III კვარტალში საქართველოში განხორციელებულმა პირდაპირმა უცხოურმა ინვესტიციებმა 594,5 მლნ აშშ დოლარი შეადგინა, საიდანაც იპოთეკურ ბაზართან პირდაპირ კავშირში მყოფი სექტორები შეადგენს აღნიშნული რესურსის ძირითად კომპონენტებს. კერძოდ, პირველ ადგილზეა ტრანსპორტისა და კავშირგაბ-მულობის სექტორი 177,8 მლნ. აშშ დოლარით (29,9%), მეორე ადგილზე – უშუალოდ მშენებლობის სექტორი 116,2 მლნ. აშშ დოლარით (19,5%), მესამე ადგილზე – ენერგეტიკული სექტორი 72,3 მლნ. აშშ დოლარით (12,2%), მეოთხე ადგილზე – საფინანსო სექტორი 71,5 მლნ. აშშ დოლარით (12%), მეხუთეზე – სასტუმროებისა და რესტორნების სექტორი 30,1 მლნ. აშშ დოლარით (5,1%), ხოლო მეექვსე ადგილზე – უშუალოდ უძრავი ქონების სექტორი 20,6 მლნ. აშშ დოლარით (3,5%).

### 3. დასპანა

ქვეყანაში დამოუკიდებლობის მოპოვებიდან დღემდე განხორციელებული რე-ფორმები, ასევე უძრავ ნივთებზე უფლებათა რეგისტრაციის ამჟამინდელი სახელმ-წიფო პოლიტიკა უნდა ემსახურებოდეს ლეთარგიულ მდგომარეობაში მყოფი სანივ-თო აქტივის სამართლებრივ „გამოცოცხლებას“, ეკონომიკურ არენაზე მათ შემოყ-ვანას და, აღნიშნულის შედეგად, ქვეყნის მთლიანი შიგა პროდუქტის ფორმირებაში მათ თანამონაწილეობასა და პოზიტიურ კონტრიბუციას. გონივრული დაგეგმვის პი-რობებში იპოთეკის პოზიტიური ეფექტის გაზრდა გეომეტრიული პროგრესით ექს-პონენტურადაა შესაძლებელი, რაც ავტომატურად გამოიწვევს მასშტაბურ ეფექტს სამშენებლო სექტორზე.

### ლიტერატურა

1. კაპიტალის მისტერია – რატომ ზეიმობს კაპიტალიზმი დასავლეთში და წარუ-მატებელია დანარჩენ მსოფლიოში. ერნანდო დე სოტო, 2000წ.
2. საქართველოს სამოქალაქო კოდექსი. საქართველოს პარლამენტი, 1997წ.
3. პირდაპირი უცხოური ინვესტიციები ეკონომიკის სექტორების მიხედვით, საქართ-ველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახური. 2017წ.

## შაგ 628.1

### ტყუის ხარისხის შევასება სტატისტიკური ჰიდროლიკური შესამომებლად $\alpha$ მეთოდის გამოყენებით

ა. ბეგიაშვილი, გ. სოსელია

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** სტატისტიკური პოპოთეზის შესამოწმებლად  $\alpha$  მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელია წყლის ხარისხის შეფასება მოხდეს მათემატიკური მოდელის გამოყენებით იმ შემთხვევაში, როცა წინასწარაა ცნობილი კოეფიციენტების ზუსტი მნიშვნელობები.

ამოცანა განიხილება ორი პიპოთეზის – წყლის ძღვომარეობის (უვნებელი და მავნე) შემოწმებაზე. მის გადასაჭრელად ვსარგებლობთ ლეიმანისა და ცეიტლინის თეორიებით, რათა არ მოხდეს „წყლის გამწმენდის“ კონომიკური ინტერესების უცულებელყოფა (არ გაუძვირდეს ხარჯები). გამოთვლისას ეს პირობა მხდლელობაში მიიღება. პიპოთეზის ხაბოლოო შედეგი მოცემულია ცხრილში. ესენია  $\alpha$  და  $\mu$  მნიშვნელობები – „წყლის გამწმენდისა“ და წყლის მომხმარებლისთვის.

**საკვანძო სიტყვები:** სტოქასტიკური დროებითი დაბენირებება; მათემატიკური მოლოდინი; დისპერსია; სტატისტიკური პიპოთეზა; სტიურენტის განაწილება; კრიტიკული მიღამო.

#### 1. შესაგალი

სასმელ წყალზე ანთროპოგენული ზემოქმედებით მიუენებული ზარალის შედეგად წყლის ხარისხის შესაფასების მრავალი მეთოდი არსებობს. წყლის ხარისხის სტანდარტები დადგენილია 800-ზე მეტი ქიმიურ შენაერთისთვის. ისინი 3 ჯგუფად იყოფა: საერთო-სანიტარიული; სანიტარიულ-ტოქსიკოლოგიური; ორგანო-

ლეპტიკური. მათ დასადგენად გამოყენება მეთოდთა ფართო კოპლექსი: ფიზიოლოგიური; ბიოქიმიური; ფიზიკურ-მათემატიკური და სხვა. თანამედროვე ტექნიკური საშუალებები უზრუნველყოფს წყალში არსებულ, პრაქტიკულად, ყველა ინგრედიენტის განსაზღვრას, რომელიც მასში მოხვდა ანთროპოგენული ზემოქმედებით.

იმის გამო, რომ ეს მეთოდები საკმაოდ შრომატევადია და მათთვის გამოყენებული აპარატურა საკმაო სირთულისაა, ისინი პრაქტიკაში ხშირად არ გამოიყენება. საინფორმაციო ბაზის სრულყოფის შემთხვევაში შესაძლებელია მათი სტატისტიკური პიკოთეზის მეთოდით დადგენა. ქვემოთ მოცემულია ამ მეთოდის ვარგის სობის შესწავლა.

## 2. მიზითადი ნაშილი

განხილული სხვა მეთოდები ემყარება ისეთ მიღგომას, როდესაც წინასწარაა ცნობილი  $C_1, C_2, \dots, C_n$  კოეფიციენტების ზუსტი (რეალური) მნიშვნელობები, რომელიც დადგინდა მოცემული წყლის წყაროსათვის. რეალურად მკვლევარს საქმე აქვს  $C_i, i = \bar{n}$  ემპირიულ არჩევით მონაცემებთან, სტოქასტიკური დროებითი დაკვირვებიდან კი – პრინციპული ალბათური პირობა იმის გამო, რომ ანთროპოგენული ფაქტორები არასტაციონარულად ზემოქმედებს.

ვთქვათ,  $(C_1, C_2, \dots, C_n)^T$  წყალში მინარევების კონცენტრაციის შემთხვევითი ვექტორია, რომლის ელემენტები დამოუკიდებელია და იზომება შემთხვევითი ცდომილებით. ყოველი  $j$  კომპონენტის კონცენტრაციას ( $j = \overline{(1,n)}$ ) აქვს განაწილების ნორმალური კანონი – მათემატიკური მოლოდინით  $M\{C_j\}$  და დისპერსიით  $D\{C_j\}$ .

დავუშვათ, გვაქვს წარმომადგენლობითი არჩევა  $(C_{ij})_{i=1}^{N_j}$  მოცელობითა და გაზომვების პარალელური მნიშვნელობის  $N_j$  მავნე ნივთიერებათა კონცენტრაციით, რაც საშუალებას იძლევა მივიღოთ პარამეტრის შეფასება  $C_j M\{C_j\}$  მათემატიკური მოლოდინით და  $S_j \longrightarrow D\{C_j\}^{0.5}$  საშუალო კვადრატული გადახრის შემთხვევითი შესაბამისი განაწილებით  $C_j : (C_j) = \sum_{i=1}^{N_j} C_{ij} / N_j, S_j = \left[ \sum_{i=1}^{N_j} (C_{ij} - \overline{C_j})^2 / f_j \right]^{0.5},$  სადაც

$$f_j = N_j - 1 \quad \text{თავისუფალი სიდიდის ხარისხის რიცხვია } S_j \text{ (j=} \overline{(1,n)} \text{).}$$

განვიხილოთ წყლის ხარისხის შეფასების შესაძლო კომპლექსური მიღება *СанПиН 2.1.5.980-00* წყალში ქიმიური ნივთიერების აღმოჩენისას, რომელთაც ერთნაირი ლიმიტირებული მავნებლობის ნიშანი აქვს. აღმოჩენის კონცენტრაციათა ჯამის შესაბამისობა მაქსიმალური დაშვების კოეფიციენტთან,

$$\mu = \frac{C_1}{MPC_1} + \frac{C_2}{MPC_2} + \dots + \frac{C_n}{MPC_n}^1, \quad (1)$$

არ უნდა იყოს ერთზე მეტი. ფორმულის გამოყენებისას იგულისხმება წყლის ხარისხის შეფასების ორი შედეგი – “უვნებელი”  $\mu < 1$  და “მავნებელი”  $\mu > 1$ .

რადგან  $C_i$  დამაბინძურებელია, კონცენტრაციები შემთხვევითი სიდიდეებია და წყლის ხარისხის კრიტერიუმებიც, რამდენადაც ისინი მათზეა დაფუძნებული, ასევე შემთხვევითი იქნება. წყლის ხარისხის შესაფასებლად აუცილებელია ვისარგებლოთ სტატისტიკური ჰიპოთეზის თეორიით (ლეიმანი, 1964).

წყლის დაბინძურების  $\mu$  მაჩვენებლის მათემატიკური მოლოდინის შეფასების სტატისტიკა შეიძლება გამოითვალოს (1) ფორმულით, სადაც  $C_j$  პარამეტრების ნაცვლად ჩაისმება მათი შესაბამისი შეფასებები –  $\bar{C}_j:m=\sum_{j=1}^n \bar{C}_j / MPC \rightarrow \mu$ ; აქ მაქსიმალური დაშვების კოეფიციენტი ნამდვილი, რეალური სიდიდეა.

$S_m^2$  - ის შეფასება  $D\{\mu\}$  და  $D_\mu^2$  დისპერსიებით – წყლის ხარისხის მაჩვენებელი  $\mu$  გამოითვლება ფორმულით:

$$S_m^2 = \sum_{j=1}^n S_j^2 / MPC_j^2 \rightarrow \sigma_\mu^2 = D\{\mu\}; \quad S_\mu^2 = \sum_{j=1}^n S_j^2 / MPC_j^2 \cdot N_j. \quad (2)$$

ფორმალურად ამოცანა შემდეგში მდგომარეობს: აუცილებელია წყლის ხარისხის შეფასება მოხდეს ორი ჰიპოთეზის –  $H_A:\mu < 1$  (უვნებელი) და  $H_B:\mu > 1$  (მავნე) მიმართ, შემოწმების გზით. ამისათვის გამოვიყენებოთ ლეიმანისა (1964) და ცეიტლინის (1984) თეორიებს:

1. ჰიპოთეზის სტატისტიკურ მახასიათებლად აიღება სტიუდენტის განაწილება, თავისუფლების ხარისხით მცირე მნიშვნელობისათვის  $f(1 \leq f \leq 25)$  და  $Z$  ნორმორებული განაწილებით მაღალი სიდიდეებისთვის  $f(f > 25)$ .

<sup>1</sup> MPC – მდკ (მაქსიმალური დაშვების კოეფიციენტი)

2.  $H_0$  პიპოთეზის ფორმულირებისას შეცდომით გადაცდომა იძლევა დიდ ზოანს. მაგალითად, წყალსატეგის ეკოსისტემის თვალსაზრისით,  $H_B$  გადახრა, როცა ის ჭეშმარიტია, მიგვიყვანს უფრო მძიმე შედეგამდე, ვიდრე ჩვეულებრივი  $H_A$ , როდესაც ისიც ჭეშმარიტია. აქედან გამომდინარე,  $H_0 = H_B : \mu \geq 1$  ალტერნატივის საპირისპიროდ

$$H_1 = H_A : \mu < 1. \quad (3)$$

3.  $\alpha_k$ -ს ეძლევა კრიტიკული დონის მნიშვნელობა ცეიტლინის შრომებში. ინტერვალი  $0,3 \leq \alpha_k \leq 1$ , როცა პასუხისმგებლობა დასკვნებზე ძალიან მცირეა, მაშინ  $0,1 \leq \alpha_k < 0,3$  – მცირეა,  $0,03 \leq \alpha_k < 0,1$  – ჩვეულებრივი,  $0,001 < \alpha_k < 0,03$  – დიდი და  $0 < \alpha_k < 0,001$  – მაქსიმალური.

4. ჩატარდება აუცილებელი ექსპერიმენტები, რომელთა მიზანია მივიღოთ წარმომადგენლობათა შერჩევა  $(C_{ij})_{i=1}^{N_j}$  მოცულობით  $N_j = C_j \left( i = \frac{1}{n} \right)$  მონაცემთა მნიშვნელობის პარალელური გაზომვით.

5. გამოითვლება  $\bar{\alpha}$  დონე ( $\alpha$  შესამოწმებელი პიპოთეზის შეცდომითი გადახრა  $H_0$ , თუ ის ჭეშმარიტია):

$$\bar{\alpha} = 0,5 - 0,5 \cdot \left[ 1 - e^{-0,6118 \cdot Z_\alpha^2} \right]^{0,5}, \quad (4)$$

$$\text{სადაც} \quad Z_\alpha = L - [L^2 - 2t_{f,\alpha} \cdot (f + 3)]^{0,5}, \quad L = f + 1,5 \times t_{f,\alpha} + 3; t_{f,\alpha}.$$

$\alpha$  არის ზედა ზღვარი სტიუდენტის განაწილებით ( $t_{f,\alpha} > 1$ ) ც თავისუფლების ხარისხით, რომელიც გამოითვლება უელჩის ფორმულით (ბრაუნლი, 1977):

$$f = S_m^4 / \sum_{j=1}^n S_j^4 / MDK_j^4 \cdot f_j.$$

თუ განიხილება  $H_0 = H_B$ , მაშინ  $t_{f,\alpha}$  ტოლია:

$$t_{f,a} = \left( 1 - \frac{\mu}{\hat{\mu}} \right) / S_{\mu}. \quad (5)$$

6. შესამოწმებელი შედეგი მიიღება ნულოვანი პიპოთეზის გადახრის პირობიდან  $\hat{\mu} \leq a_K$ ; თუ  $\hat{\mu} > a_K$ , მაშინ  $H_0$  პიპოთეზას უარვყოფთ.

ნულოვანი პიპოთეზის  $H_0$  ფორმულები აღნიშნავს “წყლის მომხმარებლის” შეხედულებას, ე.ი მოსახლეობის, რომლებიც მოიხმარენ წყალს როგორც სახ-მელად, ისე საყოფაცხოვრებო დანიშნულებით. მომხმარებლის პოზიციით, პიპოთეზის შეცდომით უგულებელყოფას (წყალი ცუდი ხარისხისა) შეიძლება მოპყვეს მძიმე შედეგი.  $a_k$ -ს კრიტიკული მნიშვნელობა აირჩევა მაღალი ან ძალიან მაღალი პასუხისმგებლობით –  $a_k = 0.01$ .

ასევე უნდა გავითვალისწინოთ “წყლის გამწმენდის” ეკონომიკური ინტერესებიც. თუ უგულებელყოფილია პიპოთეზა – წყალი სუფთაა  $H_A$  და როდესაც ეს ჭეშ-მარიტებაა, მაშინ ძვირდება ხარჯები იმასთან შედარებით თუ შეცდომით აქ  $H_B$  უგულებელყოფილია. ამიტომ, „წყლის გამწმენდისთვის“  $H_0 = H_A : \mu \leq 1$   $H_1 = H_B : \mu > 1$  წინააღმდეგ  $\alpha$ -ს ზედა ზღვარი სტიუდენტის განაწილებით იქნება:

$$t_{f,\alpha} - (\bar{\mu} - 1) / S_\mu^- . \quad (6)$$

შესამოწმებელი წბ პიპოთეზისათვის შეიძლება შევარჩიოთ უფრო “რბილი” დონე საკვების პასუხისმგებლობაზე. მაგ., კრიტიკული მნიშვნელობა  $a_{KB0} = 0.1$ .

( $0 < \leq a_{ki}$ ) ( $i$   $[\mathbf{WC}^1; \mathbf{WU}^2])^2$  ნულოვანი პიპოთეზისაგან გადაცდომას კრიტიკულს უწოდებენ.

კრიტიკული მიდამო წბ<sup>3</sup>-სთვის არის  $\mu : \mu_{kwc} < \mu < \infty$ , ხოლო წბ<sup>4</sup> –  $\mu : 0 < \mu < \mu_{kwu}$ .

(4)-ის საშუალებით ადგილია  $t_{f,\alpha}$ -ის გამოსახვა.  $\mu$ -ის კრიტიკულ მნიშვნელობები მი-იღება (დუბნიცკი, ცეიტლინგიდან 1999) მათი (5) და (6) ჩასმით.

$$\mu_{kwc} = 1 + t_f, \alpha_\mu^{-s}; \alpha = a_{kwo}; \mu_{kwu} = 1 - t_f, \alpha_\mu^{-s}; \alpha = a_{kwu}.$$

ნახაზზე  $\mu$  ფუნქციის განაწილება მოცემულია, როდესაც  $H_0$  ჭეშმარიტია  $F\mu$  (წყალგამწმენდისათვის) და  $P(<\mu)$  – წყლის მომხმარებლისათვის. ნათელია, რომ  $P(\mu) = 1 - F(\mu)$ .

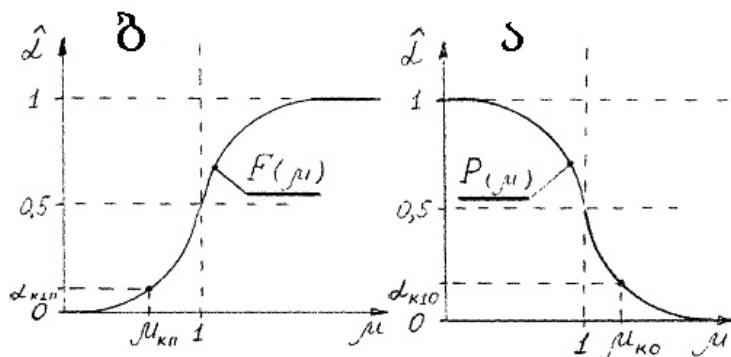
<sup>1</sup> WC- წყლის გამწმენდი (Water Cleaner);

<sup>2</sup> WU- წყლის მომხმარებელი (Water User)

<sup>3</sup> “წყლის გამწმენდი”

<sup>4</sup> წყლის მომხმარებელი

დაშვება	იმ პირის პოზიცია, რომელიც აღგენს დასკვნას	პიპოთების ჭეშმარიტების მიხედვით შედეგის დადგენა	
		$H_A : m < 1$ უვნებელი წყალი	$H_B : m > 1$ მავნე წყალი
უარყოფა $H_B : m > 1$ უვნებელი	წყლის გამწმენდი სადგური (წგ)	<b>ჭეშმარიტია:</b> გადასახადს იღებს უვნებელ წყალზე	<b>შეცდომა:</b> იხდის გადასახადს როგორც უვნებელზე, სინამდვილეში ის მავნეა
	წყლის მომხმარებელი (წმ)	<b>ჭეშმარიტია:</b> იხდის უვნებელ წყალზე	<b>შეცდომა:</b> იხდის როგორც უვნებელზე, მაგრამ იწამლება მავნე წყლით
უარყოფა $H_A : m < 1$	წყლის გამწმენდი სადგური (წგ)	<b>შეცდომა:</b> წყლის გაწმენდაზე ზედმეტი ხარჯი	<b>ჭეშმარიტია:</b> საჭიროა ხარჯები წყლის გასაწმენდად ან ჯარიმა
	წყლის მომხმარებელი (წმ)	<b>შეცდომა:</b> წყლის შეზღუდვით გამოწვეული ხარჯი	<b>ჭეშმარიტია:</b> საჭიროა ხარჯები წყლის შეზღუდული მიწოდების გამო



◆  $\alpha$  დონის მნიშვნელობებია კრიტიკულ ზღვარზე, წყლის ხარისხის მაჩვენებელი  $\mu$  იმ პირთათვის, ვინც იღებს გადაწყვეტილებას: ა) წყლის გამწმენდი; ბ) წყლის მომხმარებელი.

წყლის ხარისხის შეფასებისას არსებობს შუალედი ( $\mu_{kw} < \mu < \mu_{kwc}$ ), რომელ-შიც გვხვდება სადაც საჭირები. წგ და წმ-ს თვალსაზრისთა შორის ამ პრობლე-მის გადასაჭრელად უნდა გავზარდოთ  $N_j$  შერჩევათა მოცულობა. (3) ფორმულის თანახმად, საშუალო კვადრატული გადახრაა  $S_\mu$ ,  $\mu$ -ის ახალი შეფასებით  $N_j$

მცირდება იქ სადაც შუალედი მცირდება. უფრო ნაკლები ხარჯია, როდესაც ორივე სუბიექტს შორის მოხდება შეთანხმება და გადაისინჯება კრიტიკული ზღვრების მნიშვნელობა.

### 3. დასტვები

ზემოთ მოყვანილი მეთოდით დგინდება შუალედი ( $\mu_{\text{kwu}} < \mu < \mu_{\text{kwc}}$ ), რომელშიც გვხვდება წყლის მომხმარებლისა და წყლის დამხარჯის თვალსაზრისთა წინააღმდეგობა. ამ პრობლემის გადასაჭრელად უნდა გაიზარდოს  $N_j$  შერჩევათა მოცულობა.  $\mu$ -ის ახალი შეფასებით  $N_j$  მნიშვნელობის შემცირებით მიიღწევა ორივე სუბიექტთათვის ხარჯის შემცირება. ეს უკანასკნელი საშუალებას იძლევა გადაისინჯოს კრიტიკული ზღვრების მნიშვნელობები.

ଲୋକପାତ୍ରମାନ

1. Балацкий О. Ф., Мельник Л. Г. Учет факторов времени при расчете экономического ущерба от загрязнения атмосферы // Изв. вузов. Сер. Цветная металлургия, 1978, № 5, с. 137-143.
  2. Балацкий О. Ф., Халдеев В. Т. Выбор и обоснование балльной системы факторов при корреляционном анализе заболеваемости городского населения. – В кн.: Общие методические и теоретические вопросы гигиены атмосферного воздуха. М., 1973, с. 87-96.
  3. Белоконенко В. А., Рудченко А. Ю. Социально-экономические аспекты охраны природы. Киев: Знание, 1981. – 21 с.
  4. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы.— Л.: Гидрометеоиздат, 1975.
  5. Блехцин И. Я., Минеев В. А. Производственные силы СССР и окружающая среда.— М.: Мысль, 1981. -214 с.
  6. Брезнер А. С., Моисеев Н. Н., Ерешко Ф. И. Системный подход к исследованию проблемы межбассейновой переброски стока // Водные ресурсы, 1981, № 1, с. 5-22.
  7. В Гослесхозе СССР // Лесное хозяйство, 1980, № 6, с. 73.
  8. Влияние загрязнений воздуха на растительность.-М.: Лесная промышленность, 1981. -181 с.
  9. Вопросы малоотходных и безотходных технологий // Материалы Международного симпозиума стран—членов СЭВ. Т. 1-3. М., 1978.
  10. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды.- М., 1983. – 124 с.

## შაბ 628.1

# ანთროპოგენული ზემოქმედების შედეგად მიზანებული ზარალის დაზღვის საკონტროლო რაიონის მეთოდი

ა. ბეგიაშვილი, გ. სოსელია

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** მოცემულია ეკონომიკური ზარალის დადგენის სამი ძირითადი მეთოდი: საკონტროლო რაიონების (ემყარება დაბინძურებულსა და პირობითად ხუფთას), ანალიტიკური დამოკიდებულების (ემყარება მათემატიკურ კავშირს, მაგ., მრავალფაქტორიანი ანალიზი) და კომბინირებული.

ქვემოთ განვიხილავთ საკონტროლო რაიონის მეთოდს, რომელიც გულისხმობს შესახწავლი რაიონის მეტ-ნაკლებად შესაბამისობაში მყოფი საკონტროლო რაიონის შერჩევას, ახევე მის ძირითად პრინციპებსა და დადებით მხარეებს. ამ მეთოდის გამოყენება შესაძლებელია სხვადასხვა კონკრეტული ობიექტისათვის.

**საკვანძო სიტყვები:** სტატისტიკური დამუშავება; ანალიტიკური ურთიერთკავშირი; რეგრესიის დონე; ფუნქცია – ფაქტორი.

## 1. შესავალი

დედამიწის მოსახლეობის ზრდა იწვევს ტექნოლოგიების განვითარებას, ასევე საწარმოო და სამეურნეო მოცულობების ზრდასაც. იზრდება განუახლებად ნედლეულთა გამოყენებაც. კაცობრიობის საარსებო არეალის ზრდისას საგრძნობლად იცვლება მანამდე დამკვიდრებული კანონზომიერებები. ადამიანის ზემოქმედების – ანთროპოგენულის შედეგად, ხშირ შემთხვევაში, გარემოს ადგება დიდი მასშტაბის ზარალი. წარმოების, მეურნეობის, ახალი ქალაქთმშენებლობის და დაბა-დასახლებების დაპროჭებისას აუცილებელია შეფასდეს ის ზემოქმედება, რომელსაც ზემოთ ჩამოთვლილი გამოიწვევს. სასურველია და აუცილებელი წინასწარ განისაზღვრ-

როს მრეწველობის, მეურნეობის, ექსპლუატაციის გაშვების შემდეგ რა რეალობასთან გვექნება საქმე. ეკონომიკური ზარალის შეფასება ხდება დღეს არსებული შემდეგი ძირითადი მეთოდებიდან: პირდაპირი დათვლის (საკონტროლო რაიონის შერჩევა); ანალიტიკური; კომბინირებული; ემპირიული. სტატისტიკური პროგნოზირების მეთოდებიდან ქვემოთ განხილულია პირველი – საკონტროლო რაიონის შერჩევის მეთოდი, მოცემულია მისი მოკლე აღწერა და გამოყენების პერსპექტიული მიმართულებები.

## 2. ძირითადი ნაშილი

საკონტროლო რაიონის შერჩევა იმგვარად ხდება, რომ მასში რეციპიენტების მდგომარეობა (მაგ., მოსახლეობის სქესობრივ-წლოვანებითი შემადგენლობა, სამედიცინო მომსახურების დონე, გარემოს ხარისხი, მეურნეობის მასშტაბი და სტრუქტურა და ა.შ.) მიახლოებული იყოს და უფრო უკეთესია თუ ტოლი იქნება საკვლევ რაიონთან. საკონტროლო რაიონი, როგორც წესი, ყოველი ლოკალური ზარალი-სათვის შეირჩევა ინდივიდუალურად, რაც საკმაოდ რთული ამოცანაა. ამის გამო, მკვლევარს უხდება მრავალი ამოცანის გადაჭრა. პირველ რიგში იმის გამო, რომ, იშვიათი გამონაკლისის გარდა, ძალიან ძნელდება ისეთი რაიონის მოქებნა, რომლის მაჩვენებლები დაბინძურებული რაიონის იდენტურია. როგორც გამოცდილება გვკარნახობს, მიზანშეწონილია საწყის ეტაპზე განისაზღვროს ის მაჩვენებლები, რომელიც პრიორიტეტულია თითოეული კონკრეტული შემთხვევისათვის. ამავდროულად შეძლებისდაგვარად უნდა მოხდეს ცდომილებათა ხარისხების შეფასება. მეორე მხრივ, მრავალი მაჩვენებლის რაოდენობის განსაზღვრა შეუძლებელია, რადგან არ არის საკმარისად ინფორმაციული, ამიტომ მიზანშეწონილია დავეურდნოთ პრაქტიკულ გამოცდილებას და ადგილობრივი სპეციალისტების ინტუიციას. გარდა ამისა, საკონტროლო რაიონი არ წარმოადგენს აბსოლუტურად სუფთას, რადგან აქვს დაბინძურების გარკვეული დონე. სწორედ ამიტომ საჭიროა გამოთვლებისას ასევე დადგინდეს კოეფიციენტები, რომლებიც საშუალებას მოგვცემს მოცემულ შედეგებზე მოვახდინოთ კორექტირება, რათა ისინი შეესაბამებოდეს რეალურ მდგომარეობას.

იდეალურ საკონტროლო რაიონად შეიძლება ჩაითვალის ის, რომელიც იმყოფება დაბინძურების შესაბამის გეოგრაფიულ წერტილში და დროის სხვადასხვა პერიოდში მნიშვნელოვნად ხდებოდა მისი დაბინძურების ხარისხის ცვლილებაც. დაბინ-

ძურების დონეებისა და მნიშვნელობების ეკონომიკური მაჩვენებლების შედარება, დაბინძურებამდე და დაბინძურების შემდეგ, საშუალებას მოგვცემს დაბინძურება გამოიხატოს თანხობრივად. ამ სიტუაციის ნათელი მაგალითია სისტემის შესწავლა სამრეწველო ობიექტის მწყობრში შესვლამდე (რომელიც მომავალში იქნება დაბინძურების წყარო) და შემდგომ; ასევე გამწმენდი ნაგებობის ამჟღავებამდე და შემდეგ. პირველ შემთხვევაში საწყის ეტაპზე გვქონდა პირობითად სუფთა რაიონი, ხოლო შემდგომ დაბინძურებული, მეორე მაგალითში – პირიქით. გარდა ამისა, ზარალის შეფასება რთულია იმის გამო, რომ საჭიროა დიდი რაოდენობის პირველადი ინფორმაციის შეგროვება, რაც მრავალ ფაქტორთანაა დაკავშირებული, კერძოდ ამ ინფორმაციის მისაღებად საჭიროა მრავალი სხვადასხვა მიმართულების მეცნიერის თანხვედრა. საკონტროლო და დაბინძურებული რაიონების მაჩვენებლების შედარება, სხვადასხვა რეციპიენტზე ზემოქმედებისას, შეიძლება გამოიხატოს შემდეგი ფორმულით:  $\Delta Y = |Y(\varphi) - Y(\varphi)|$ , სადაც  $\Delta Y$  რეციპიენტის მდგომარეობის ცვლილების მაჩვენებელია;  $Y(\varphi)$  – მისი მდგომარეობა დაბინძურებულ რაიონში და  $Y(\varphi)$  – იგივე საკონტროლო რაიონში. ამ ფორმულაში განსხვავება აიღება აბსოლუტური მაჩვენებლით, რადგან საკონტროლო რაიონში პროდუქტულობა უნდა იყოს მეტი, ვიდრე დაბინძურებულში. საკონტროლო რაიონების მეთოდი საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ ფაქტობრივი და არა პროგნოზირებადი ზარალი.

### 3. დასპანა

საკონტროლო რაიონის მეთოდის მიმოხილვის შედეგად მართებულია ჩავთვალოთ, რომ მისი გამოყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც შესაძლებელია საკონტროლო რაიონის მაქსიმალურად მიახლოებული შერჩევა შესასწავლთან შესაძლებელია, მით უმეტეს ამ მეთოდის გამოყენებისას ვიღებთ კონკრეტულ შედეგებს.

### ლიტერატურა

1. Гудериан Р. Загрязнение воздушной среды. – М.: Мир, 1979.– 200 с.
2. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений.— М.: Мир, 1963.–450 с.
3. Гурарий В. И., Шайн А. С. Численные оценки качества воды. – В кн. – Проблемы охраны вод. Харьков, 1974, вып. 5, с. 136- 140.

4. Динерман А. А. Роль загрязнителей окружающей среды в нарушении эмбрионального развития. – М.: Медицина, 1980.— 192 с.
5. Дунаевский Л. В. Суммация действий загрязнителей и управление качеством среды. – В кн.: – Управление природной средой. М.: Наука, 1979, с. 141-151.
6. Дунаевский Л. В. Принципы комплексного обоснования 'стандартов чистоты физической среды. – В кн.: – Управление природной средой (социально-экономические и естественно-научные аспекты). М.: Наука, 1979. – 163 с.
7. Дэйвид Г. Порядковая статистика. – М.: Наука, 1979. – 336 с.
8. Емельянова В. П., Данилова Г. Н. К оценке качества воды водотоков при сравнении степени их загрязненности. – В кн.: – Гидрохимические материалы. Л.: Гидрометеоиздат, 1980, т. 68, с. 118- 121.
9. Ефимов А. Н. Методы порядковых статистик и рангов в задачах отработки наблюдений. – Измерения, контроль, автоматизация, 1981, вып. 5(39), с. 19-27.

## შაბ 628.1

### დაბინძურების ნორმირება და გარემოს მდგომარეობის მაჩვენებელი

ა. ბეგიაშვილი, გ. სოსელია

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** განხილულია გარემოზე ზემოქმედებისას დასაშვებ დონეთა კავშირი გარემოს მდგომარეობაზე მოცემულია გარემოს დაბინძურებაზე ნორმირებული მაჩვენებლების დღეს არსებული განმარტება, დაბინძურებული წყლის ობიექტების კლასიფიკაცია, წყლის ხარისხის ინტენსიური დახასიათება და ქიმიური დამაბინძურებლების ჯამური მაჩვენებლები.

**საკვანძო სიტყვები:** ნორმირება; მაქსიმალურად დასაშვები კონცენტრაცია; მაქსიმალურად დასაშვები დონე; დროებითად დაშვებული ჩაღვრა; წყლის დაბინძურების ინდექსი; დაბინძურების ჯამური მაჩვენებელი.

#### 1. შესაბალი

ნორმირება - გარემოს ფაქტორების რაოდენობრივი მახასიათებლების დადგენა, რომლებიც ითავალისწინებს მოსახლეობის ჯანმრთელობისა და სიცოცხლის უსაფრთხო დონეს. ნორმირება დგინდება ორგანიზმზე გარემოს ზემოქმედების ყოველმხრივი შესწავლის შედეგად.

გარემოს დაბინძურების ნორმირება ძირითადად ხორციელდება ჰიგიენურ კრიტერიუმებზე დაყრდნობით. ნორმირების საფუძვლები ეყრდნობა ორგანიზმის შიგა (პომეოსტაზა) და გარე გარემოსთან მუდმივობის შენარჩუნებას. ამ დროს მხედველობაში მიიღება გარემოზე ფაქტორთა ზემოქმედების ინტენსივობა და ხანგრძლივობა, რომლის დროსაც ხდება არასასურველ ეფექტთა დადგენა.

პიგიენური სტანდარტები (მდკ, მდდ) დგინდება პიგიენურ კვლევებზე დაყრდნობით (საცდელ ცხოველებზე ექსპერიმენტებით, ამავდროულად სამედიცინო პრაქტიკის გათვალისწინებით).

მაქსიმალური დასაშვები კონცენტრაციის დადგენა პიგიენური კვლევებით მოითხოვს დიდ დროსა და ხარჯებს.

ნორმატივების დასაბუთებისას გამოიყენება შემდეგი სახის კომპლექსები: ფიზიოლოგიური, ბიოქიმიური, ფიზიკა-მათემატიკური და ა.შ. ნორმატივების საბოლოო აპრობაცია ხორციელდება ადამიანთა ჯანმრთელობის მდგომარეობისა და ნორმირებულ ფაქტორთან უშუალო კონტაქტის შესწავლის შედეგად.

არსებობს მეთოდები, როდესაც ხდება მავნე ფაქტორთა კომპლექსური ზემოქმედების შესწავლა.

ნორმირებულ ფაქტორთა გარემოზე ზემოქმედება ითვალისწინებს შემდეგ პირობებს: მდკ, ნარჩენ რაოდენობათა დასაშვები ზღვარი, მაქსიმალურად დასაშვები დონე, მაქსიმალურად დასაშვები ჩაღვრები, დროებითად დასაშვები ჩაღვრები.

ნაკლებად შესწავლილ ნივთიერებათა გამოთვლებით და მათთან ახლოს არსებულ ნივთიერებათა ანალოგების გზით დროებით დგინდება უსაფრთხო საორიენტაციო ზემოქმედება და დასაშვები ზღვრები. სხვადასხვა ქვეყანაში გარემოს ხარისხებს შორის განსხვავებას იწვევს ის ფაქტორი, რომ მათი დადგენა სხვადასხვა გზით ხდება.

მაქსიმალურად დასაშვები კონცენტრაცია (მდკ) არის მავნე ნივთიერებათა შემცველობა ჰაერში, ნიადაგში, წყალში, როდესაც გარემოსა და ადამიანზე არ ხდება არც პირდაპირი და არც არაპირდაპირი მავნე ზემოქმედება.

მაქსიმალურად დასაშვები დონე (მდდ) არის ის მაქსიმალური დონე, რომლის დროსაც არც მოსახლეობასა და არც გარემოზე არ ხდება ისეთი ზემოქმედება, რომელიც მათ საარსებო არეალს შეცვლის.

იმისათვის, რათა მოხდეს რამდენიმე დამბინძურებლის ერთდროული ზემოქმედების გამოთვლა, დგინდება შეფარდებითი დონის დადგენა. ეს სიდიდე  $S$ -ით აღინიშნება.

$$S = \sum S_i = C_1 / MPC_1 + C_2 / MPC_2 + C_3 / MPC_3 + ,$$

სადაც  $C_i$  არის  $i$ -ური ნივთიერების ფაქტობრივი კონცენტრაცია, ხოლო მდკ – მისი მაქსიმალურად დასაშვები კონცენტრაცია. ნორმად ითვლება ის შემთხვევა, როდესაც სრულდება შემდეგი პირობა:  $S \leq 1$ , ეს  $</span>$ . ეს მიღგომა ითვალისწინებს, რომ  $</span>$  თითოეული დამაბინძურებელი ნივთიერება ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად ზემოქმედებს. საქმე იმაშია, რომ რამდენიმე დამაბინძურებლის

ერთდროული ზემოქმედებისას ადგილი აქვს სინ-ენერგეტიკულ ეფექტს, ამიტომ ერთდროული ზემოქმედებისას მდკის მნიშვნელობის შემცირება უნდა მოხდეს.

## 2. ძირითადი ნაშილი

### დაბინძურების გაზომვის პიდროქიმიური მეთოდები

დღევანდელი ტექნიკური საშუალებები პრაქტიკულად საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ ყველა ინგრედიენტის ბუნებრივი შედგენილობა წყლის ანტროპოგენული დაბინძურებისას. ეს მეთოდებია: ატომურ-აბსორბციური და ემისიურ-სპექტროფოტომეტრული – არაორგანული ნივთირებებისა და ქრომატოგრაფიკული მას-სპექტრომეტრული მრავალათასიანი ორგანული შენაერთისოფის. იმის გამო, რომ ეს მეთოდები საკმაოდ რთული აპარატურის გამოყენებას საჭიროებს, ანალიზის დადგენა შრომატევადია და ძვირია, მათ ნაკლებად იყენებენ. ყველა ტიპის წყლის ობიექტისათვის, საერთო მოთხოვნილების განსაზღვრისას, ხდება მხოლოდ დამაბინძურებლების შედარება მდკ-თან.

დკი (დაბინძურების კომბინატორული ინდექსი) – პიდროქიმიური კვლევისას გამოიყენება წყლის ხარისხის ინტეგრალური შეფასება, რომელიც ითვალისწინებს მასში დამაბინძურებლის აღმოჩენის სიხშირესა და ნივთირების რაოდენობას. ამ მეთოდის გამოყენებესას თითოეული ინგრედიენტისოფის ხდება ბალების დადგენა, რომელიც მდკ-ის ჯერად რიცხვებს წარმოადგენს.

$$K_i = \frac{C_i}{MPC_i}; \quad H_i = \frac{N_{MPC_i}}{N_i}; \quad B_i = K_i \times H_i,$$

სადაც  $C_i$  წყალში  $i$ -ური ინგრედიენტის კონცენტრაციაა, ხოლო მდკ – ინგრედიენტის მაქსიმალურად დასაშვები კონცენტრაცია, მდკ-ზე მეტი შემთხვევების რიცხვი  $i$ -ური ინგრედიენტისოფის.  $N_i$  –  $i$ -ური ინგრედიენტების დასადგენად ჩასატარებელ შემთხვევათა რიცხვი.

იმ ინგრედიენტებისოფის, რომელთა საერთო შემაფასებელი ბალის სიდიდე მეტია ან ტოლია 11-ის, დგინდება ლიმიტირებული დაბინძურების მაჩვენებელი (ლდმ). დაბინძურების კომბინირებული ინდექსის გამოთვლა შემდეგნაირად ხდება: ხდება ყველა შესაფასებელი ბალის ჯამების გამოთვლა, რის შემდეგაც დგინდება დაბინძურებული წყლის საბოლოო კლასის დადგენა.

### 3. დასპანა

#### დაბინძურებული წყლის ობიექტების კლასიფიკაცია

წყლის დაბინძურების კომბინატორული ინდექსის მნიშვნელობა	წყლის დაბინძურების კლასი				
	1	2	3	4	5
	პირობითად სუფთა	მცირედ დაბინძუ- რებული	დაბინძუ- რებული	ბინძური	ძალიან ბინძური
დღგ <sup>1</sup> -ის არ არსებობის შემთხვევაში	1	1-2	2.1-4	4.1-10	10
1 დღგ	0.9	09.1.8	1.9-3.6	3.7-9.0	9.0
2 დღგ	0.8	0.8-1.6	1.7-3.2	3.3-8.0	8.0
3 დღგ	0.7	0.7-1.4	1.5-2.8	2.9-7.0	7.0
4 დღგ	0.6	0.6-1.2	1.3-2.4	2.5-6.0	6.0
5 დღგ	0.5	05.1.0	1.1-2.0	2.1-5.0	5.0

წელი <sup>2</sup>	წყლის ხარისხის კლასი	წყლის ხარისხის შეფასება
0.2-ზე ნაკლები	I	ძალიან სუფთა
0.2-1-ზე მეტი	II	სუფთა
1-2-ზე მეტი	III	საგრძნობლად დაბინძურებული
2-4-ზე მეტი	IV	დაბინძურებული
4-6-ზე მეტი	V	ბინძური
6-10-ზე მეტი	VI	ძალიან ბინძური
10-ზე მეტი	VII	მეტისმეტად ბინძური

<sup>1</sup> დასაშვები ლიმიტირებული მაჩვენებელი

<sup>2</sup> წყლის დაბინძურების ინდექსი

$Z_c$	ნიადაგის დაბინძურების ხარისხი	ნიადაგის დაბინძურების კატეგორია	მოსახლეობის ჯანმრთელობის მაჩვენებელი დაზიანებულ კერტბში
<88-16	მინიმალურად დაბალი	დასაშვები	ბაგშვების დაგადების ყველაზე მცირე მაჩვენებლის სისშირე, რომელიც გვხვდება ფუნქციურ განსხვავებებში
16-32	საშუალო	ზომიერად სახიფათო	საერთო დაგადების ზრდა
32-128	მაღალი	სახიფათო	სშირად მოავადმყოფე ბაგშვების საერთო მაჩვენებელის ზრდა, რომელიც გამოიხატება ქრონიკული ავადმყოფობით, გულ-სისხლძარღვთა სისტემების ფუნქციის დარღვევით
>128	ძალიან მაღალი	მეტისმეტად სახიფათო	საბავშვო ასაკის მოსახლეობის დაავადებათა ზრდა, ქალთა რეპროდუქციულობის დარღვევა (ორსულობის დროს ტოქსიკოზის ზრდა, ვადაზე ადრე მშობიარობა, მკვდრადშობა, ახალდაბადებულთა ჰიპოტონია)

ଲେଖକ

1. Охрана окружающей среды (модель управления чистотой природной средой)/Под ред. К. Г. Гофмана, А. А. Гусева.– М.: Экономика, 1977. – 231 с.
  2. Палиенко Ж. Выбор рациональной структуры основных фондов по охране окружающей среды // Экономика Сов. Украины, 1980, № 6, с. 73-76.
  3. Пенчева П. К. Критерий комплексной оценки загрязнения атмосферы // Гигиена и санитария, 1982, № 9, с. 74-76.
  4. Попов Г. Х. Эффективное управление. – М.: Экономика, 1976. – 140 с.
  5. Рамад Ф. Основы прикладной экологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981.

6. Apt K. E. Applicability of the Weibull distribution function to atmospheric radioactivity data. – Atm. Environ., 1976, vol. 10, N 9, p. 777-781.
7. Ball R. O., Church R. L. Water quality indexing and scoring. – J. Environ. Eng. D iv, 1980, vol. 106, p. 757-771.
8. Bencala K- E., Seinfeld J. H. On frequency distributions of air pollutant concentrations. – Atm. Environ., 1976, vol. 10, N 11, p. 941-950.
9. Energy and the environment: a risk benefit approach. – N. Y.:Pergamon Press, 1976, vol. 9.- 305 p.
10. Factor of safety method, application to air and noise pollution/A. E. Green, T. Y. Buckley, D. E. Rio, R. Makarewick – Atm. Environ., 1980, vol. 14, N 3, p. 327-338.

შაბ 621.81

## მუნიციპალიტეტის მუნიციპალიტეტის კონცენსაციის დოკუმენტი პროცესის ანალიზი

შ. მესტვირიშვილი

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** ნაშრომში მოცემულია წვეთოვანი კონცენსაციის დროს თბოგაცემის ანალიზი და პროცესის სრულიად ახალი ხედვა, რომელიც დამყარებულია ფიზიკისა და კოლოიდური ქიმიის კლასიკურ გამოკვლევებზე. მოცემულია წვეთწარმოქმნისა და კონცენსაციის აფხავის წარმოქმნის მუქანიზმი, წარმოქმნილი წვეთების როლი თბოგაცემის პროცესში მათი ხიდიდის მიხდვით. შედარებულია წყლისა და ვერცხლისწყლის წვეთოვანი კონცენსაციის თბოგაცემის კოეფიციენტები და შემოტანილია მეორეული ორთქლის ცნება და მისი როლი კონცენსაციის პროცესის მიმღინარეობაში.

**საკვანძო სიტყვები:** წვეთოვანი კონცენსაცია; წვეთწარმოქმნა; მეორეული ორთქლი; კონცენსაცია; კრიტიკული რადიუსი.

### 1. შესაბამისობა

წვეთოვანი კონცენსაცია ბუნებაში ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული პროცესია. მიუხედავად იმისა, რომ თბურ პროცესებს შორის თბოგაცემა წვეთოვანი კონცენსაციის დროს ყველაზე ინტენსიურია, ის ნაკლებადაა შესწავლილი, რადგან ტექნიკაში ნაკლებად გამოიყენება მისი არამდგრადობის გამო. თბოგაცემის შესწავლას ისიც ართულებს, რომ პროცესი ძალიან დინამიკურია და დაკავშირებულია მცირე სიდიდეებთან, რომელთა დაფიქსირება უახლეს ტექნიკას მოითხოვს. აღნიშნულის გამო, საჭიროა მწირი ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზით განისაზღვროს ის პარამეტრები, რომელთა ცოდნაც სასურველ შედეგს მოგვცემს.

## 2. მიზანთაღი ნაწილი

წვეთოვანი კონდენსაციის დროს არადასველებად ზედაპირზე წარმოიქმნება კონდენსატის აფსკი, რომელიც არამდგრადია, ის მაღლევე იშლება და წვეთებად ჩამოყალიბდება [2,3], რის შემდეგაც წვეთები, ბროუნის მოძრაობის მსგავსად, იწყებენ ქაოსურ მოძრაობას, ზოგი მათგანი ეჯახება ერთმანეთს და ხდება კოალესცენცია (კოაგულაცია) და მათი სწრაფი ზრდა, ზოგი კი, რომელთა რადიუსი  $R_3$ -ზე მცირება, ორთქლდება და წარმოქმნის მეორეულ ორთქლს. მეორეული ორთქლი ძირითად ორთქლის ნაკადს უერთდება და მასთან ერთად განმეორებით მონაწილეობს კონდენსაციის პროცესში და საგრძნობ გავლენას ახდენს თბოგაცვა-მის პროცესზე [1]. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, აფსკის დაშლისას სხვადასხვა ზო-მის წვეთი წარმოიქმნება, წვეთის ზომა კი განსაზღვრავს მის მდგრადობას. პატარა ზომის წვეთი მაშინვე ორთქლდება, დიდები კი აორთქლების მიმართ მდგრადია. კრიტიკული რადიუსი, რომელიც განსაზღვრავს აორთქლებად წვეთსა და დარჩე-ნილ წვეთს შორის საზღვარს, გამოითვლება კელვინის ფორმულით:

$$R_3 = 2T_0\sigma / r\rho u(T_0 - T_3), \quad (1)$$

სადაც  $T_0$  და  $T_3$  არის, შესაბამისად, ორთქლის ნაჯერობისა და კედლის ტემპერატუ-რა;  $\sigma$  – კონდენსატის (წვეთის) ზედაპირული დაჭიმულობა;  $r$  – აორთქლების ფარუ-ლი სითბო;  $\rho u$  – სითხის სიმკვრივე.

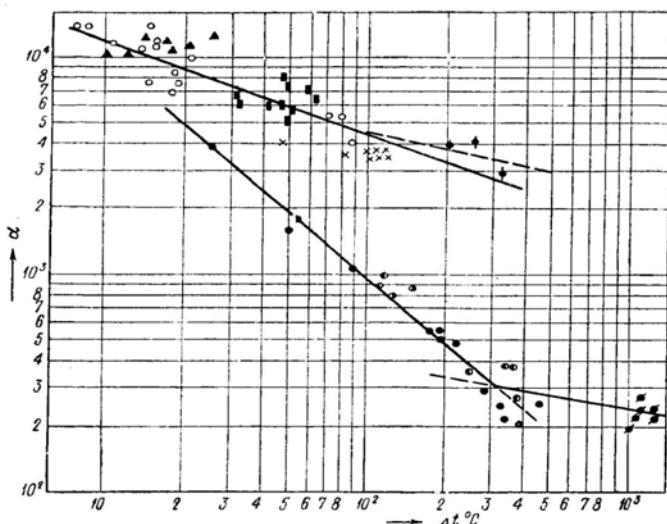
აფსკის დაშლისას თითოეულ ნაწილზე წარმოიშობა 2 სახის ზედაპირი – აფსკიდან დარჩენილი და ახალწარმოქმნილი. ახალწარმოქმნილ ზედაპირზე, მოლე-კულების ურთიერთქმედების გამო, მყის წარმოიქმნება ზედაპირული დაჭიმულობა და უერთდება ძველი აფსკისგან დარჩენილ ზედაპირს. აღნიშნული პროცესის დას-რულებას მოსდევს უკვე დანაწევრებული აფსკის წვეთებად ფორმირება. წვეთები იღებს სფერულ ან მასთან მიახლოებულ ფორმას. ამ დროს წვეთის ზედპირის ფართობი მინიმალურია მოცემული მასის სხვა ნებისმიერ ფორმასთან შედარებით, ე.ი. აფსკის ნაწილების წვეთებად ჩამოყალიბებისას მათი ჯამური ზედაპირის ფარ-თობი მცირდება და შემცირებისას გამოიყოფა სითბო, რომელიც იწვევს წვეთის გათბობას, გამოყოფილი სითბოს ნაწილი კი გადადის მექანიკურ ენერგიაში. აფს-კის დანაწევრებისას მიღებული ნაწილები სხვადასხვა ზომისაა, შესაბამისად მათ-გან წარმოქმნილი წვეთების ზომებიც ერთმანეთისგან განსხვავდება. წარმოქმნილი წვეთის სიმძიმის ცენტრიდან მანძილი წვეთის ზედაპირამდე უფრო დიდია, ვიდრე

აფსკის იმ ნაწილის სიმძიმის ცენტრის, საიდანაც ის წვეთი წარმოქმნა. აღნიშნულის გამო, მისგან წარმოქმნილი წვეთის სიმძიმის ცენტრი შორდება კონდენსაციის ზედაპირს, რაც მისგან მთლიანად წვეთის დროებით წატაცებას იწვევს [5], რის შემდეგაც წვეთი გრავიტაციული ან კონდენსირებადი ორთქლის ზემოქმედებით უკან უბრუნდება კონდენსაციის ზედაპირს (ძირითადად კონდენსირებადი ორთქლის ნაკადი ყოველთვის ზედაპირისკენ არის მიმართული). წვეთების-გან ზედაპირის მყის გათავისუფლება უკვე საკმარისია კონდენსაციის ზედაპირზე ახალი აფსკის წარმოსაქმნელად. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, აფსკის სისქე თანდა-თან იზრდება, შემდეგ იშლება [2,3] და წვეთებს წარმოქმნის. აღნიშნული პროცესი მუდმივად მეორდება მთელი წვეთოვანი კონდენსაციის პერიოდში და ის არა-სტაციონარულ პროცესს წარმოადგენს, მაგრამ მისი დროში გასაშუალების შემოხვევაში შეგვიძლია სტაციონარულ პროცესად განვიხილოთ.

შესაბამის ლიტერატურაში [1] მოცემულია, რომ კონდენსაციის ზედაპირზე გვაქვს 2 კომპონენტი – დაკონდენსირებული სითხის აფსკი, რომლის სისქე 1 მკ-ს არ აღემატება და წვეთები რადიუსით, რომელიც  $R_d$ -ს აღემატება; იქვე მოცემულია თერმული წინაღობის ანალიზი და მათი როლი თბოგაცემის პროცესში. კონდენსატის აფსკს მთლიანად უჭირავს კონდენსაციის ზედაპირი და მასთან შეხებაშია. აღნიშნულის გამო, მისი თერმული წინაღობა ძალიან მცირეა და მეტწილად განსაზღვრავს თბოგაცემის პროცესს. რაც შეხება წვეთებს, რომლებიც ზედაპირზე მდებარეობს, მათი შეხების ფართობი მცირეა და კონდენსაციის ზედაპირთან თბური კონტაქტი აფსკის გავლით აქვს, ამიტომ წვეთების როლი თბოგაცემის პროცესში მცირეა და კონდენსატის ტრანსპორტირებას ძირითადად კონდენსაციის ზედაპირიდან აწარმოებს.

განვიხილოთ მეორეული ორთქლის როლი, რომელიც წარმოიქმნება მცირე დიამეტრის წვეთების აორთქლებით. ის ნათლად ჩანს, თუ შევადარებთ ვერცხლის-წყლისა და წყლის ორთქლის წვეთოვანი კონდენსაციის დროს თბოგაცემის კოეფიციენტის ექსპერიმენტულ მონაცემებს [4]. ვნახავთ, რომ წყლის ორთქლის კონდენსაციის დროს თბოგაცემის ინტენსივობა, ერთი და იგივე ტემპერატურათა სხვაობის შემთხვევაში, ვერცხლისწყლის კონდენსაციის ინტენსივობასთან შედარებით, საგრძნობლად დიდია. თუ გავაანალიზებთ [1]-ში მოცემულ ფორმულას:  $\alpha = [\lambda/\delta](1-m/G)$ , ვნახავთ, რომ ფორმულაში მოცემული  $m$  მეორეული ორთქლის მასა მნიშვნელოვან როლს ასრულებს თბოგაცემის პროცესში, დამოკიდებულია კონდენსატის ზედაპი-

რულ დაჭიმულობაზე. აფსკის დაშლისას წარმოქმნილი სფერული ფორმის წვეთებს თუ შევადარებოთ ვერცხლისწყლისა და წყლის კონდენსაციის დროს წარმოქმნილი წვეთების კრიტიკულ რადიუსებს, ფორმულის გამოყენებით მივიღებთ, რომ ვერცხლისწყლის წვეთის კრიტიკული რადიუსი დაახლოებით 100-ჯერ მეტია წყლის წვეთის კრიტიკულ რადიუსზე, ე.ი. 100-ჯერ მეტი რადიუსის მქონე ვერცხლისწყლის წვეთები ექვემდებარება აორთქლებას, შესაბამისად მეორეული ორთქლის მასაც დიდია, რაც იწვევს, ვერცხლისწყლის კონდენსაციის დროს, თბოგაცემის კოეფიციენტის საგრძნობ შემცირებას. ე.ი. აღნიშნული უარყოფითი ეფექტი იმდენად დიდია, რომ, მიუხედავად ვერცხლისწყლის კონდენსაციის დროს წარმოქმნილი აფსკის თერმული წინაღობის სიმცირისა (წყალთან შედარებით ვერცხლისწყლის 18-ჯერ მცირეა), წყლის თბოგაცემის კოეფიციენტი საგრძნობლად დიდია, რაც კარგად ჩანს გრაფიკზე დატანილი ექსპერიმენტის შედეგებიდან [4].



გრაფიკზე დატანილია: თბოგაცემის კოეფიციენტის  $\alpha$  კ.გ./ $^{\circ}\text{C}$  სო; დამოკიდებულება ტემპერატურის სხვაობაზე  $(t_0 - t_3)^0\text{C}$ . ზედა მრუდი არის წყლის ორთქლის წვეთოვანი კონდენსაცია, ქვედა – ვერცხლისწყლის წვეთოვანი კონდენსაცია.

### 3. დასპენა

წვეთოვანი კონდენსაციის დროს სითბო გადაეცემა კონდენსაციის ზედაპირს მასზე წარმოშობილი აფსკის გავლით, აფსკის სისქე იცვლება 0-დან მაქსიმუმამდე, რომლის სისქე მიკრონის რიგისაა.

აფსკის დაშლისას წარმოქმნება წვეთები, რის შემდეგაც ზედაპირზე ისევ შეიქმნება აფსკი, რომელიც კონდენსაციის პროცესში მუდმივად მეორდება.

წარმოქმნილი წვეთები, რომელთა რადიუსი  $R_d$ -ზე ნაკლებია, მაღვევ ორთქლ-დება და წარმოქმნის მეორეულ ორთქლს, რომელიც ისევ კონდენსირდება და ამცირებს თბოგაცემის კოეფიციენტის სიდიდეს.

წვეთები, რომელთა რადიუსი  $R_d$ -ზე მეტია, თითქმის არ მონაწილეობს თბოგაცემის პროცესში და მათი გაზრდა კოალესცენციით ხდება, ისინი თბოგაცემის ზედაპირიდან ძირითადად კონდენსატის ტრანსპორტირებას ახდენენ.

წვეთოვანი კონდენსაციის დროს პიდროფობური ნივთიერების გამოყენებისას კონდენსატის ზედაპირული დაჭიმულება და წარმოქმნილი აფსკის თერმული წინაღობაც იცვლება, რაც თბოგადაცემის კოეფიციენტის სიდიდეზე მოქმედებს.

## ლიტერატურა

1. ჭ. მესტვირიშვილი, დ. კუჭუხიძე. თბოგადაცემა წვეთოვანი კონდენსაციის დროს. პიდროინჟინერია, №1-2(23-24). თბილისი: სტუ, 2017 წელი.
2. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. Москва, 1969 г.
3. Дерягин Б.В. Расклинивающее давление. Краткая химическая энциклопедия. Т.4, 1965 г.
4. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. Москва, 1962 г.
5. R. D. Narhe, M. D. Khandkar. Condensation-induced jumping water drops physical review E80, 031604(2009)

შაბ 691.32

## თვითშემზიდროებაზი გეტონის შეკლების უნივერსალური მოდელი

### ა. საყვარელიძე

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** ჩატარებულია თვითშემზიდროებაზი ბეტონის შეკლების უქსერიმენტულ-თეორიული კვლევა.

გამოცადა თვითშემზიდროებაზი ბეტონის სხვადასხვა ასაკის ( $t=14$ ;  $28$ ;  $60$  და  $180$  დღის) ნიმუშები. დამზადების შემდეგ ყველა ნიმუში ცდის დაწყებამდე ინახებოდა „ხტანდარტულ“ პირობებში [1]. გამოხატველი ნიმუშების ზომები, კომპოზიტის შედგენილობა და ტექნოლოგიური პარამეტრები მოცემულია ნაშრომებში [1, 2, 3].

გამოთვლილია სხვადასხვა ასაკის თვითშემზიდროებაზი ბეტონის წრფივი შეკლების კოეფიციენტები და მოცემულია მასალის შეკლების დეფორმაციების განმხაზღვრელი ფორმულები გარემოს ფარდობითი ტენიანობის მთელ დიაპაზონში,  $100 \div 0\%$ . დადგენილია თვითშემზიდროებაზი ბეტონის შეკლების, მასალის ასაკზე დამოკიდებულების კანონი და შემუშავებულია ამ კანონის აპროქსიმაციის ფორმულები.

შექმნილი უნივერსალური მოდელები მაქსიმალური სიზუსტით ასახავს კომპოზიტის შეკლების რეალურ დეფორმაციულ პროცესებს.

**საკვანძო სიტყვები:** შეკლება; ასაკი; თვითშემზიდროებაზი ბეტონი; წრფივი შეკლების კოეფიციენტი; ტენიანობა; ფარდობითი ტენიანობა; კანონი; ფორმულა; უქსერიმენტი; მოდელი.

### 1. შპსაგალი

ჩატარებულია ადგილობრივი წარმოების მასალებით დამზადებული ახალი სახის ცემენტისფუძიანი კომპოზიტის, თვითშემზიდროებაზი ბეტონის [2] შეკლების

საკითხების ექსპერიმენტულ-თეორიული კვლევა. ნიმუშების ასაკი გამოცდის წინ იყო  $t_0=14, 28, 60$  და  $180$  დღე. გამოიცადა თვითშემჭიდროებადი ბეტონის [2] ნიმუშები – ცილინდრები, რომელთა დიამეტრი  $70$  მმ-ია, სიგრძე  $70$  მმ (წონითი ექსპერიმენტები) და  $300$  მმ (გამოცდები შეკლებაზე).

დამზადების შემდეგ ყველა ნიმუში ინახებოდა „სტანდარტულ“ პირობებში: გარემოს ფარდობითი ტენიანობა  $\varphi=100\%$ , ტემპერატურა –  $T=20\pm1^{\circ}\text{C}$  [1, 3, 4]. ასეთ პირობებში ყველა ასაკის ნიმუშის ტენშემცველობა პრაქტიკულად ერთნაირია  $W=4.5\%$  (მასის მიხედვით). ჩატარდა ექსპერიმენტის პარალელური სერიები: 1) ყველა ასაკის კომპოზიტის ტენშემცველობის დასადგენი ფარდობითი ტენიანობის ხუთივე გარემოში –  $100, 70, 50, 20$  და  $0\%$ ; 2) ყველა ასაკის კომპოზიტის შეკლების დაფორმაციის განსაზღვრის, აღნიშნულ ფარდობითი ტენიანობის ყველა გარემოში. თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ტენშემცველობა  $100\%-იან$  ფარდობითი ტენიანობის გარემოში მუდმივი რჩებოდა –  $W=4.5\%$  (მასის მიხედვით).  $70, 50, 20$  და  $0\%$  ფარდობითი ტენიანობის გარემოში ნიმუშები განიცდიდა გამოშრობას სხვადასხვა ინტენსიურობით [1, 3, 4]. ცდების ჩატარებისას ნიმუშების ბოლოები იყო იზოლირებული და ტენის დაკარგვა გამოშრობისას ხდებოდა ცილინდრების გვერდითი ზედაპირებიდან, რეალიზდებოდა უსასრულო ცილინდრის ამოცანა მესამე რიგის სასაზღვრო პირობებში [1÷5]. წონით ექსპერიმენტებში ნიმუშებიდან ტენის დესორბაციის დროს,  $70, 50, 20$  და  $0\%$  ფარდობითი ტენიანობის გარემოს შესატყვისი ტენშემცველობის დადგენა მასალაში ხდებოდა ცილინდრების პერიოდული აწონვით  $300$  დღის განმავლობაში. ცდებმა გვიჩვენა, რომ დასახული ტენიანობის ( $70, 50, 20$  და  $0\%$ ) გარემოს შესაბამისი ტენშემცველობის მიღწევას ყველა ასაკის ნიმუშში სჭირდებოდა არაუმეტეს  $180$  დღე.  $180\div300$  დღის განმავლობაში ტენშემცველობას მიღწეული სიდიდეები უცვლელი დარჩა.

პარალელურ ექსპერიმენტებში შეკლების დეფორმაციები თავის ზღვრულ მნიშვნელობებს, შესაბამისი ფარდობითი ტენიანობის კამერებში, აღწევდა  $180$  დღეში.  $180\div300$  დღის დიაპაზონში შეკლების დეფორმაციების ზღვრული სიდიდეები უცვლელი დარჩა.

## 2. მიზანთაღი ნაშილი

წონითი ექსპერიმენტებით დადგენილია, რომ თითოეული დონის ფარდობითი ტენიანობის გარემოს შესაბამისი ტენშემცველობა ყველა ასაკის თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ნიმუშებში პრაქტიკულად ერთნაირია.  $\varphi=70, 50, 20$  და  $0\%$  ფარდობითი ტენიანობის გარემოში ნიმუშების ტენშემცველობა იყო  $W=4,5; 3,2; 2,0$  და  $1,0$  % (მასის მიხედვით).

კომპოზიტის შეკლების განსაზღვრის პარალელურ ექსპერიმენტებში გამოიცა და ნიმუშები  $W=4,5\%$  (მასის მიხედვით).  $t_0=14, 28, 60$  და  $180$  დღის ასაკის ნიმუშები მოათავსეს სხვადასხვა ფარდობითი ტენიანობის გარემოში ( $\varphi=100, 70, 50, 20$  და  $0\%$ ) [1, 3, 6]. შეკლებაზე გამოიცადა  $70\text{მმ}$  დიამეტრის და  $300\text{მმ}$  სიგრძის ცილინდრები იზოლირებული ბოლოებით. ნიმუშები ასეთ პირობებში გამოშრობისას ტენს კარგავს გვერდითი ზედაპირიდან [1, 3, 5]. ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ  $180$  დღის ბოლოს ნიმუშებსა და შესაბამის გარემოს შორის ტენგაცვლის პროცესი მთავრდება. ამ შემთხვევაში ტენის გრადიენტის სიდიდე ნულის ტოლია. დგება ტენიანი წონასწორობის მდგომარეობა ნიმუშებსა და გარემოს შორის. ამ მომენტისათვის შეკლების დეფორმაციები აღწევს ზღვრულ მნიშვნელობებს. სხვადასხვა ასაკის თვითშემჭიდროებადი ბეტონის შეკლების ზღვრული მნიშვნელობები შესაბამისი ფარდობითი ტენიანობის გარემოში მოცემულია 1-ელ ცხრილში.

### ცხრილი 1

#### კომპოზიტის შეკლების ზღვრული მნიშვნელობები

ნიმუშების ტენშემცველობა $W\%$	გარემოს ფარდობითი ტენიანობა $\varphi\%$	ნიმუშების ასაკი $t_0$ -დღე				
		14	28	60	180	
$t-t_0=0$	$t-t_0=180$	$t \div t_0$	$\text{შეკლება } \varepsilon_Y \cdot 10^{-6}$			
4,5	4,5	100	0	0	0	
4,5	3,2	70	75	68	60	
4,5	2,0	50	144	127	118	
4,5	1,0	20	230	218	205	
4,5	0	0	430	390	350	
					315	

1-ელ ცხრილის მონაცემებით მასალის შეკლების ტენშემცველობაზე დამოკიდებულების გრაფიკების  $\varepsilon_Y \sim W$  აგებით და მათი ანალიზით დავრწმუნდებით: ყველა ასაკის ( $t_0$ ) კომპოზიტისათვის გარემოს ფარდობითი ტენიანობის მთელ დიაპაზონში  $\varphi=100 \div 0\%$  შეკლების დეფორმაციების დამოკიდებულება მასალის ტენშემცველობაზე არაწრფივია. გარემოს ფარდობითი ტენიანობის მთელ დიაპაზონში ( $\varphi=100 \div 0\%$ ) შეკლების დეფორმაციების გამოსათვლელად საჭიროა 2 სხვადასხვა სიდიდის წრფივი შეკლების კოეფიციენტი:  $\beta_Y(t_0)$  - ფარდობითი ტენიანობის დიაპაზონში 100  $\div$  35% და  $\beta'_Y(t_0)$  - ფარდობითი ტენიანობის დიაპაზონში 35  $\div$  0% [1, 3, 6]. გარემოს ფარდობითი ტენიანობის (გფტ) დიაპაზონში 100  $\div$  35% ყველა ასაკის მასალის შეკლება გამოითვლება ფორმულით:

$$\varepsilon_Y(t_0) = \beta_Y(t_0)(W - W_{kp}), \quad (1)$$

ხოლო გფტ-ის 35  $\div$  0% დიაპაზონში ყველა ასაკის მასალის შეკლება

$$\varepsilon_Y(t_0) = \beta'_Y(t_0)(W_{kp} - W), \quad (2)$$

სადაც  $\varepsilon_Y(t_0)$  სხვადასხვა  $t_0$  ასაკის კომპოზიტის შეკლებაა;  $\beta_Y(t_0)$  და  $\beta'_Y(t_0)$  – სხვადასხვა  $t_0$  ასაკის კომპოზიტის წრფივი შეკლების კოეფიციენტები, შესაბამისად გფტ-ის 100  $\div$  35% და 35  $\div$  0% დიაპაზონში;  $W_{kp}$  – კომპოზიტის კრიტიკული ტენშემცველობა, რომელიც შეესაბამება ცემენტისფუძიანი კომპოზიტების ტენშემცველობას (გამოშრობისას) 35% ფარდობითი ტენიანობის გარემოში.

(1) ფორმულაში  $W$  კომპოზიტის ტენშემცველობა იცვლება  $4,5 = W_{max} = W_0 \geq W \geq W_{kp}$  დიაპაზონში.

(2) ფორმულაში  $W$  –  $W_{kp} \geq W \geq W_0$  დიაპაზონში.

აქ  $W_0$  ტენშემცველობაა (0%) ფტგ-ში,  $W_0 = 0$ .

თითოეული ასაკის  $t_0$  კომპოზიტის  $W_{kp}$ -ის განსაზღვრით და შედეგების ანალიზით დავრწმუნდებით, რომ თვითშემჭიდროებადი ბეტონის კრიტიკული ტენშემცველობის სიდიდე ( $W_{kp}$ ) არ არის დამოკიდებული მასალის ასაკზე  $t_0$  [1, 3, 5, 6] და მუდმივია.

ჩვენს შემთხვევაში თვითშემჭიდროებადი ბეტონის  $W_{kp} = 1.36\%$  (მასის მიხედვით).

(1), (2)-ით ფორმულებით და 1-ელ ცხრილის მონაცემებით გამოთვლილი  $\beta_Y(t_0)$  და  $\beta'_Y(t_0)$  წრფივი შეკლების კოეფიციენტის სიდიდეები თითოეული ასაკის თვითშემჭიდროებადი ბეტონისათვის მოცემულია მე-2 ცხრილზე.

## ცხრილი 2

$\beta_Y(t_0)$  და  $\beta'_Y(t_0)$  კოეფიციენტების მნიშვნელობები სხვადასხვა ასაკის  
კომპოზიტისათვის

$\beta_Y(t_0)$ და $\beta'_Y(t_0) \cdot 10^{-2}$	ასაკი $t_0$ დღე			
	14	28	60	80
$\beta_Y(t_0)$	0.56	0.51	0.47	0.42
$\beta'_Y(t_0)$	1.83	1.70	1.58	1.35

როგორც აღვნიშნეთ, შეკლების დამოკიდებულებას მასალის ტენშემცველობაზე არაწრფივი ხასიათი აქვს. თითოეული  $t_0$  ასაკის თვითშემჭიდროებადი ბეტონისათვის შეკლების არაწრფივი ამოცანის გადასაჭრელად (1) და (2) ფორმულებს წარმოვადგენთ შემდეგი სახით:

$$\varepsilon_Y(t_0) = \beta'_Y(t_0)[W - W_0][1 + \omega(t_0)], \quad (3)$$

სადაც  $W_0$  ტენშემცველობაა ცდის დასაწყისში (100%-იანი ფტბ-ში), ჩვენს შემთხვევაში  $W=4.5\%$  (მასის მიხედვით);  $W$  – ტენშემცველობა,  $W_0 \leq W \leq 4.5\% ; \beta_Y(t_0)$  – სხვადასხვა  $t_0$  ასაკის თვითშემჭიდროებადი ბეტონის წრფივი შეკლების კოეფიციენტი გვტის ზღვრებში –  $100 \div 35\% ; \varepsilon_Y(t_0)$  – სხვადასხვა ასაკის  $t_0$  კომპოზიტის შეკლების ზღვრული დეფორმაციები.  $\omega(t_0)$  კოეფიციენტი ჩაიწერება შემდეგი სახით [3, 6]:

$$\omega = \frac{\beta'_Y(t_0) - \beta_Y(t_0)}{\beta_Y(t_0)} \cdot \frac{\Delta W - \Delta W_{KP}}{\Delta W}, \quad (4)$$

სადაც  $\beta'_Y(t_0)$  სხვადასხვა ასაკის ( $t_0$ ) თვითშემჭიდროებადი ბეტონის წრფივი შეკლების კოეფიციენტია გვტის ზღვრებში –  $35 \div 0\%$  ანუ მასალის ტენშემცველობის ზღვრებში –  $W_{KP} \geq W \geq W_0 = 0 ; \Delta W = W - W_0 ; \Delta W_{KP} = W_{KP} - W_0$ .

ცხადია, თითოეული  $t_0$  ასაკის კომპოზიტისათვის:

$$\omega(t_0) = \begin{cases} 0, & W_{KP} \leq W \\ (4), & W_{KP} > W \end{cases}$$

(3) და (4) ფორმულებით გამოთვლილი  $\varepsilon_Y(t_0)$ -ის თეორიული მნიშვნელობებით აგებული  $\varepsilon_Y(t_0) \sim W$  გრაფიკები კარგი სიზუსტით ასახავს თვითშემჭიდროებადი ბეტონის შეკლების ექსპრიმენტულ მონაცემებს გვტ-ის მთელ დიაპაზონში –  $100 \div 0\%$ .  $\beta_Y(t_0)$  და  $\beta'_Y(t_0)$  კოეფიციენტების მასალის ასაგზე დამოკიდებულების საკითხის გარკევისათვის მე-2 ცხრილის მონაცემებით ვაგებთ გრაფიკებს –  $\lg \beta_Y(t_0) \sim \lg(t_0)$  და  $\lg \beta'_Y(t_0) \sim \lg(t_0)$ . აგებული გრაფიკები გვიჩვენებს, რომ ეს დამოკიდებულებები კარგი სიზუსტით არის წრფივი  $\beta_Y(t_0)$  და  $\beta'_Y(t_0)$ -ის  $t_0$  ასაგზე ( $t_0=14, 28, 60$  და  $180$  დღე). ხარისხობრივი დამოკიდებულებების პარამეტრები განისაზღვრება მოცემული ფორმულიდან,

$$\beta_Y(t_0) = \beta_Y(t_{CT}) \left[ \frac{t_{CT}}{t_0} \right]^{\alpha_1}; \quad \beta'_Y(t_0) = \beta'_Y(t_{CT}) \left[ \frac{t_{CT}}{t_0} \right]^{\alpha_2},$$

უმცირეს კვადრატულ მეთოდის გამოყენებით. აღნიშნული გამოსახულებების შეტანით (1) და (2) ფორმულებში მივიღებთ:

1. გვტ ზღვრებში  $100 \div 35\% \leq W \leq W_0 = 4,5\%$

$$\beta_Y(t_0) = \beta_Y(t_{CT}) \left[ \frac{t_{CT}}{t_0} \right]^{\alpha_1} \cdot (W - W_0); \quad (5)$$

2. გვტ-ის ზღვრებში  $35 \div 0\% \leq 1,36 = W_{KP} > W \leq 0\%$

$$\beta'_Y(t_0) = \beta'_Y(t_{CT}) \left[ \frac{t_{CT}}{t_0} \right]^{\alpha_2} \cdot (W_{KP} - W). \quad (6)$$

(5), (6) ფორმულებში  $t_{CT}$  ნიმუშების ასაკი მიღებულია სტანდარტულად და ტოლია:  $t_{CT} = 28$  დღე.

გამოთვლებმა აჩვენა, რომ  $\alpha_1$  და  $\alpha_2$  ხარისხის მაჩვენებლების სიდიდეები ახლოსაა ერთმანეთთან და შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს მათი საშუალო მნიშვნელობა. ჩვენს შემთხვევაში  $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,11 = \alpha$ .

განზოგადებულ გამოსახულებას, რომელიც ასახავს სხვადასხვა ასაკის ცემენტისფუძიანი კომპოზიტების შეკლებას გვტ-ის მთელ დიაპაზონში,  $100 \div 0\%$ , აქვს სახე:

$$\varepsilon_Y(t_0) = \beta_Y'(t_{CT}) \left[ \frac{t_{CT}}{t_0} \right]^\alpha \cdot (W - W_0)[1 + \omega(t_{CT})], \quad (7)$$

სადაც  $\alpha = 0.11$ ;  $t_{CT} = 28$  დღე;  $0 \leq W \leq W_0 = 4,5\%$ .

(7) ფორმულაში  $\omega(t_T)$  გამოისახება:

$$\omega(t_T) = \frac{\beta_Y'(t_{CT}) - \beta_Y(t_{CT})}{\beta_Y(t_{CT})} \cdot \frac{\Delta W - \Delta W_{KP}}{\Delta W}; \quad (8)$$

$$\omega(t_T) = \begin{cases} 0, & \text{როცა } W_{KP} \leq W \\ (8), & \text{როცა } W_{KP} > W \end{cases} \quad (9)$$

(7), (8) და (9) უნივერსალური მოდელია, გამოსახულებები მაღალი სიზუსტით ასახავს კომპოზიტის შეკლებას გარემოს ფარდობითი ტენიანობის მთელ დიაპაზონში,  $100 \div 0\%$ .

### 3. დასტვა

გამოკვლეულია სხვადასხვა ასაკის თვითშემჭიდროებადი ბეტონის შეკლების საკითხები. დადგენილია მათი კოეფიციენტები –  $\beta_Y(t_0)$  და  $\beta_Y'(t_0)$  (შესაბამისად გარემოს ფარდობითი ტენიანობის დიაპაზონებში –  $100 \div 35\%$  და  $35 \div 0\%$ ) შეკლების დეფორმაციების გამოსათვლელად. ნაჩვენებია, რომ თვითშემჭიდროებადი ბეტონის კრიტიკული ტენშემცველობა მასალის ასაკზე არ არის დამოკიდებული. დადგენილია თვითშემჭიდროებადი ბეტონის მასალის ასაკზე დამოკიდებულების კანონი და შემუშავებულია ამ კანონის ამსახველი ახალი სახის გამოსახულებები ხარისხობრივი ფუნქციების გამოყენებით.

პირველად არის შექმნილი თვითშემჭიდროებადი ბეტონის შეკლების უნივერსალური მოდელი, რომელიც ითვალისწინებს მასალის სტრუქტურას, ასაკს და მაღალი სიზუსტით ასახავს კომპოზიტის შეკლების რეალურ პროცესს გარემოს ფარდობითი ტენიანობის მთელ  $100 \div 0\%$  დიაპაზონში.

### ლიტერატურა

1. Сакварелидзе А.В. Некоторые задачи механики строительных композиционных материалов. Тбилиси: “Мецниереба”, 1998.–131 с.

2. Sakvarelidze A., “Self-compacting concrete, its adventages and production in Georgia” Bulletin Yerevan state university of architecture and construction, volume 2, 311-316 pp. 2010, Yerevan.
3. ა. საყვარელიძე, ბ. ღუდუშაური. ასაკის გავლენა ბეტონის შეკლებაზე. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, №3(46) 2017 წ. 72-76 გვ.
4. Сакварелидзе А.В. Механизм усадки бетона. Теория сооружений и сейсмостойкости. АН Грузии, №4, Тбилиси, 2004, 184-189 сс. 1998.–131 с.
5. Лыков А.В. Теория сушки. М: Энергия, 1968.–471 с.
6. ა. საყვარელიძე, ი. გიორგაძე. ბეტონის შეკლების პროცესების აღმწერი უნივერსალური მოდელების შექმნა//სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, №2(17) 2010 წ. 103-106 გვ.

შაბ 691.32

## თვითშემაზიდროებაზი გეტონის გაჯირჯვება

### ა. საყვარელიძე

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** შესწავლილია თვითშემკიდროებადი ბეტონის გაჯირჯვების საკითხები. დადგენილია 28 დღის ასაკის თვითშემკიდროებადი ბეტონის გაჯირჯვების დის დეფორმაციები, მასალის დატენიანების სხვადასხვა ინტენსიურობის დროს, გარემოს ფარდობითი ტენიანობის მთელ დიაპაზონში,  $0 \div 100\%$ . ნაჩვენებია, რომ კომპოზიტის გაჯირჯვების დეფორმაციები იზრდება თვითშემკიდროებადი ბეტონის დატენიანების ინტენსიურობის ზრდის პროპორციულად. მოცემულია, რომ თვითშემკიდროებადი ბეტონის გაჯირჯვების დეფორმაციები კარგი სიზუსტით აისახება წრფივი გაჯირჯვების ერთი კოეფიციენტით, გარემოს ფარდობითი ტენიანობის მთელ დიაპაზონში,  $0 \div 100\%$ . გამოთვლილია 28 დღის ასაკის თვითშემკიდროებადი ბეტონის წრფივი გაჯირჯვების კოეფიციენტის სიდიდე.

**საკვანძო სიტყვები:** თვითშემკიდროებადი ბეტონი; გაჯირჯვება; ნიმუში; ცილინდრი; წრფივი გაჯირჯვების კოეფიციენტი; ფარდობითი ტენიანობა; ტენშემცველობა; ექსპერიმენტი; დეფორმაციები.

### 1. შპსავალი

ჩატარებულია ადგილობრივი წარმოების მასალებით დამზადებული ახალი სახის ცემენტისფუძიანი კომპოზიტის, თვითშემკიდროებადი ბეტონის [1,2] გაჯირჯვების საკითხების ექსპერიმენტულ-თეორიული კვლევა. ნიმუშების ასაკი გამოცდის წინ იყო  $t_0=28$  დღე. გამოიცადა თვითშემკიდროებადი ბეტონის [1,2] ნიმუშები – 70 მმ დიამეტრის და 70 მმ (წონითი ექსპერიმენტები) და 300 მმ (გაჯირჯვების ექსპერიმენტები) სიგრძის ცილინდრები.

დამზადების შემდეგ ყველა ნიმუში ინახება „სტანდარტულ“ პირობებში: გარემოს ფარდობითი ტენიანობა  $\varphi=100\%$ , ტემპერატურა –  $T=20\pm1^{\circ}\text{C}$  [2, 3, 4]. ასეთ პირობებში ყველა ნიმუშის ტენშემცველობა პრაქტიკულად ერთნაირია –  $W=4.5\%$  (მასის მიხედვით). ჩატარდა ექსპერიმენტის პარალელური სერიები: 1) კომპოზიტის ტენშემცველობის დასადგენი ფარდობითი ტენიანობის გარემოში – 70 და 100%. 2) კომპოზიტის გაჯირჯვების დეფორმაციების განსაზღვრის აღნიშნულ ფარდობით ტენიანობის გარემოში. გამოიცადა მუდმივ წონამდე გამომშრალი „სტანდარტული“ ნიმუშები  $W=0\%$  (მასის მიხედვით) ტენშემცველობით. 70 და 100% ფარდობითი ტენიანობის გარემოში ნიმუშები განიცდიდა დატენიანებას სხვადასხვა ინტენსიურობით (2, 3, 4]. ცდების დროს ნიმუშების ბოლოები იყო იზოლირებული და ტენის შთანთქმა დატენიანებისას ხდებოდა ცილინდრების გვერდითი ზედაპირიდან; რეალიზდებოდა უსასრულო ცილინდრის ამოცანა, მესამე რიგის სასაზღვრო პირობებში [2, 3, 4, 5, 6, 7].

წონით ექსპერიმენტებში (ნიმუშებში ტენის სორბციის დროს) 70 და 100% ფარდობითი ტენიანობის გარემოს შესაბამისი ტენშემცველობის დადგენა კომპოზიტი ხდებოდა ნიმუშების პერიოდული აწონვით 300 დღის განმავლობაში. ცდებით დადგენილია, რომ დასახული ტენიანობის (70 და 100%) გარემოს შესაბამის ტენშემცველობის მიღწევას (ტენის სორბციის დროს) ცილინდრებში სჭირდებოდა არაუმეტეს 180 დღე.  $180 \div 300$  დღის პერიოდში ნიმუშებში მიღწეული ტენშემცველობის დონე უცვლელი რჩებოდა.

გაჯირჯვების პარალელურ ექსპერიმენტებში დეფორმაციები თავის ზღვრულ მნიშვნელობებს შესაბამის ფარდობითი ტენიანობის გარემოში (70 და 100%) აღწევდა 180 დღეში.  $180 \div 300$  დღის დიაპაზონში გაჯირჯვების დეფორმაციების ზღვრული სიდიდეები რჩებოდა უცვლელი.

## 2. მიზანთაღი ნაშილი

წონითი ექსპერიმენტებით დადგენილია თითოეული დონის (70 და 100%) ფარდობითი ტენიანობის შესაბამისი 28 დღის ასაკის თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ტენშემცველობის სიდიდეები. კომპოზიტის გაჯირჯვების დასადგენ პარალელურ ექსპერიმენტებში გამოიცადა 28 დღის ნიმუშები  $W=0\%$  (მასის მიხედვით) ტენშემცველობით. ნიმუშები მოათავსეს 70 და 100% ფარდობითი ტენიანობის გარემოში [4].

გაჯირჯვებაზე გამოიცადა ნიმუშები – 70 მმ დიამეტრის და 300 მმ სიგრძის ცილინდრები იზოლირებული ბოლოებით. ნიმუშები ასეთ პირობებში დატენიანებისას ტენს შთანთქავს ცილინდრის გვერდითი ზედაპირიდან [2, 3, 4, 7]. ექსპერიმენტებით დადგენილია, რომ 180 დღის ბოლოს ნიმუშებსა და გარემოს შორის ტენგაცვლის პროცესი სრულდება. ამ შემთხვევაში ტენის გრადიენტის სიდიდე ნულს უდრის. დგება ტენიანი წონასწორობის მდგომარეობა ცილინდრსა და გარემოს შორის. ამ დროისთვის გაჯირჯვების დეფორმაციები აღწევს ზღვრულ მნიშვნელობებს. თვითშემჭიდროებადი ბეტონის გაჯირჯვების ზღვრული მნიშვნელობები შესაბამის ფარდობითი ტენიანობის გარემოში მოცემულია ცხრილში.

### კომპოზიტის გაჯირჯვების ზღვრული მნიშვნელობები 180 დღეში

ნიმუშების ტენშემცველობა, W%	გარემოს ფარდობითი ტენიანობა, φ%	ზღვრული დეფორმაცია
ცდის დასაწყისში $t-t_0=0$	ცდის ბოლოს $t-t_0=180$	ცდის განმავლობაში
0	0	0
0	2.3	70
0	3.3	100
		$\varepsilon_H \cdot 10^{-6}$
		0
		60
		86

ცხრილის მონაცემებით გაჯირჯვების დეფორმაციების მასალის ტენშემცველობაზე დამოკიდებულების  $\varepsilon_H \sim W$  გრაფიკის აგებით დაგრწმუნდებით, რომ სორბციის დროს გარემოს ფარდობითი ტენიანობა მთელ დიაპაზონში ( $0 \div 100\%$ ) გაჯირჯვების დეფორმაციების დამოკიდებულება კომპოზიტის ტენშემცველობაზე წრფივია. ტენის სორბციის დროს გაჯირჯვების დეფორმაციების გამოსათვლელად გარემოს ფარდობითი ტენიანობის მთელ დიაპაზონში ( $\varphi = 0 \div 100\%$ ) საჭიროა ერთი წრფივი გაჯირჯვების კოეფიციენტი.

გაჯირჯვების დეფორმაციები, გარემოს ფარდობითი ტენიანობის მთელ დიაპაზონში,  $0 \div 100\%$ , გამოითვლება ფორმულით:

$$\varepsilon_H = \beta_H \cdot (w - w_0),$$

სადაც  $\varepsilon_H$  თვითშემჭიდროებადი ბეტონის გაჯირჯვების დეფორმაციაა;  $\beta_H$  – კომპოზიტის წრფივი გაჯირჯვების კოეფიციენტი;  $w_0$  – მასალის ტენშემცველობა ცდის დასაწყისში,  $w_0 = w = 0\%$ ;  $w$  – კომპოზიტის ტენშემცველობა დიაპაზონში,  $0 \leq w \leq 3.3\% = w_{max}$ .

ცხრილის მონაცემებით ფორმულიდან განსაზღვრული წრფივი გაჯირჯვების კოეფიციენტი 28 დღის ასაკის თვითშემჭიდროებადი ბეტონისათვის ტოლია:  $\varepsilon_H = 0.25 \cdot 10^{-2}$ .

### 3. დასპბნა

დადგენილია, რომ 28 დღის ასაკის მშრალი ( $W=0\%$ ) თვითშემჭიდროებადი ბეტონის დატენიანებისას გაჯირჯვების დეფორმაციები (გარემოს ფარდობითი ტენიანობის მთელ დიაპაზონში,  $0 \div 100\%$ ) იზრდება მასალის დატენიანების პროპორციულად. ნაჩვენებია, რომ გაჯირჯვების დეფორმაციების დამოკიდებულება კომპოზიტის ტენშემცველობაზე წრფივია. დადგენილია ასევე, რომ თვითშემჭიდროებადი ბეტონის გაჯირჯვების დეფორმაციები კარგი სიზუსტით გამოითვლება წრფივი გაჯირჯვების ერთი კოეფიციენტით.

ცხრილის მონაცემებით, ფორმულით გამოთვლილი 28 დღის ასაკის თვითშემჭიდროებადი ბეტონის წრფივი გაჯირჯვების კოეფიციენტი  $\beta_H(t_0 = 28) = 0.25 \cdot 10^{-2}$ -ის ტოლია.

### ლიტერატურა

1. A. Sakvarelidze, “Self-compacting concrete, its adventages and production in Georgia” Bulletin Yerevan state university of architecture and construction, volume 2, 311-316 pp. 2010, Yerevan.
2. ა. საყვარელიძე. თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ტენგამტარობის პარამეტრების განსაზღვრა // ქურნალი „პიდროინჟინერია“, №1-2(19-20) 2015. 94-100 გვ.
3. Сакварелидзе А. Некоторые задачи механики строительных композиционных материалов. Тбилиси: Мецниереба, 1998.-131 с.
4. ა. საყვარელიძე, 6. ღუდუშაური. ბეტონის გაჯირჯვება // სამეცნიერო ტექნიკური ქურნალი „მშენებლობა“, №2(45) 2017 წ. გვ. 120-122.
5. ა. საყვარელიძე, 6. კანდელაკი. ბეტონის შეკლება // სამეცნიერო ტექნიკური ქურნალი „მშენებლობა“, №1(44) 2017 წ. გვ. 140-142.
6. Лыков А.В. Теория сушки. М: Энергия, 1968.–471 с.
7. Боли Б.Л., Уэйнер Д.Х. Теория температурных напряжений. М: 'Мир~, 1964.– 517 с.

# რეზერატივი

შაპ 628.1.034

წყლის მინიმუმი ციკლის ორგანიზაციის ეფექტური მეთოდების შემუშავება. ლ. ბახთიარი, თ. ბერბერაშვილი, ა. ბაგრატიონ-დავითაშვილი, დ. გურგენიძე, პ. კერვალიშვილი, ლ. კლიმიაშვილი // პიდროინჟინერია, №1(25), 2018, გვ. 8-15.

**რეზიუმე:** დღეს წყლის დაბინძურება მსოფლიოს ერთ-ერთი ყველაზე რთული პრობლემაა, რომლის გადაწყვეტაში მრავალი მეცნიერია ჩართული. არსებული ალტერნატივების უმრავლესობა უფრო უნივერსალურია და დაბინძურების პრევენციას. ეს ალტერნატივები თუმცა სასარგებლოა, მაგრამ დიდი მასშტაბისათვის არასაკმარისი.

წყლის დაბინძურება არა მხოლოდ გარემოს აუნებს ზიანს, არამედ მნიშვნელოვანია დედამიწაზე სუფთა წყლის რესურსების განხილვის დროსაც. აქედან გამომდინარე, ყოვლისმომცველი ალტერნატივის არსებობა არა მხოლოდ აღმოფხვრის წყლის ნაკლებობას, არამედ მსოფლიოს გადაარჩენს წყლის დამაბინძურებლებისგან.

**საკვანძო სიტყვები:** წყლის კრიზისი; წყლის მინიმუმი ციკლი; წყლის ეკონომია; წყლის განმეორებით გამოყენება; წყლის რესურსი.

შაპ 627.521.1

უდანერ ნაკადების მდგრადობა წრიული პვეტის წყალსატარებები. შ. გაგოშიძე // პიდროინჟინერია, №1(25), 2018, გვ. 16-26.

**რეზიუმე:** სტატიაში განიხილება ტალღური მოძრაობის მდგრადობა წრიული კვეთის უდაწნეო წყალსატარებებში. ტალღური შეშფოთების მეთოდის გამოყენებით პირველადად მათემატიკურად დასაბუთებული, თუ რატომ ხდება წრიული კვეთის გვირაბებსა და მილსადენებში ნაკადის შეფერხებით გადინება, როცა ისინი თითქმის პირამდეა სავსე. მიღებული თეორიული შედეგები სრულ შესაბამისობაშია არსებულ ექსპერიმენტულ და ნატურულ დაკვირვებებთან, რომელთა თანახმად წრიული კვეთის წყალსატარში ნაკადის შეფერხებით გადინება ყოველთვის ვლინდება წყალსატარის 92–93%-ით შევსებისას.

გამოყვანილია აგრეთვე მცირედ და ნახევრად შევსებულ წრიული კვეთის წყალსატარში ნაკადის ტალღური შეშფოთების ასიმპტოტური განტოლებები, რომელთა ანალიზი მიუთითებს წყალსატარში ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის მდგრადობაზე.

**ნაშრომი შესრულებულია შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის FR 35/9-120/14 გრანტის ფარგლებში.**

**საკვანძო სიტყვები:** უდაწნეო წყალსატარი; წრიული კვეთი; ტალღური მოძრაობა; მდგრადობა.

### შაპ 628.1

ჩამდინარე წყლების მყარი ფაზის ჰიდრავლიკური სისხოს დაზუსტების საპიტხო. ზ. გვიშიანი, დ. კლიმიაშვილი, გ. სოსელია, ქ. გორდეზიანი // პიდ-როინჯინერია, №1(25), 2018, გვ. 27-34.

**რეზიუმე:** განხილულია ჩამდინარე წყლები, როგორც პოლიდისპერსიული, ჰეტეროგენული, აგრეგატულად არამდგრადი სისტემა; ექსპერიმენტირებისათვის შექმნილი ხელსაწყო ჩამდინარე წყლებში ნაწილაკების ჰიდრავლიკური სისხოს განსაზღვრისათვის მათი გაუმჯობირი გარემოს გათვალისწინებით. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია გრაფიკული და ემპირიული დამოკიდებულებების სახით და შეპირისპირებულია სხვა ავტორთა მიერ მიღებულ მონაცემებთან. დადგინდა, რომ მიუხედავად არსებული დასაშვები ცდომილებისა, შესაძლებელია მიღებულ ემპირიულ დამოკიდებულებათა საინჟინრო პრაქტიკაში გამოყენება.

**საკვანძო სიტყვები:** ჩამდინარე წყლები; პოლიდისპერსიული; ჰეტეროგენული; აგრეგატულად არამდგრადი სისტემა; ჰიდრავლიკური სისხო; პორიზონტალური ქვიშადამჭერი.

### შაპ 628.1

ნაწილაკების ფორმის გავლენა ჰიდრავლიკურ სისხოზე ჩამდინარე წყლების მექანიკური განვითარების დროს. ზ. გვიშიანი, დ. გურგენიძე, ზ. ცინაძე, ს. ბუკია // პიდროინჯინერია, №1(25), 2018, გვ. 35-42.

**რეზიუმე:** განხილულია ნაწილაკების ფორმის გავლენა ჰიდრავლიკურ სისხოზე ჩამდინარე წყლების მექანიკური გაწმენდის ამოცანებში. კვლევის შე-

დეგად მიღებული მონაცემები წარმოდგენილია გრაფიკული და ემპირიული და-მოკიდებულებების სახით. დადგინდა, რომ მიღებული ემპირიული დამოკიდებუ-ლების გამოყენება საინჟინრო პრაქტიკაში შესაძლებელია.

**საკვანძო სიტყვები:** ჩამდინარე წყლები; მექანიკური გაწმენდა; ჰიდრავლიკუ-რი სისხო; ნაწილაკების ფორმის გავლენა.

### უაპ 628.339

ჩამდინარე წყლების სალექტებში გეოლიტიკული ნაწილაკების კონცენტრა-ციის ცვლილების დინამიკის კვლევა. ი. ინაშვილი, ი. დენისოვა // ჰიდროინ-ჟინერია, №1(25), 2018, გვ. 43-49.

**რეზიუმე:** სტატიაში განხილულია ჩამდინარე წყლების გაწმენდის დროს, სალექტებში გრავიტაციული დალექვისას, შეწონილი ნაწილაკების კონცენტ-რაციის ცვლილების დინამიკა. ლაპლასის პიფსომეტრულ კანონზე დაყრდნობით, მიღებულია შეწონილი ნაწილაკების მოცულობითი კონცენტრაციის, დალექვის სიღრმეზე დამოკიდებულების საანგარიშო განტოლება. განსაზღვრულია შეწო-ნილი ნაწილაკების ლამინარულ და გარდამავალ გარსშემოდენის რეჟიმებს შორის ზღვრული კონცენტრაციის მნიშვნელობა. გამოთვლილია, რა სიღრმეზე ხდება ნაწილაკების ლამინარული გარსშემოდენის რეჟიმის გადასვლა გარდამავალი გარსშემოდენის რეჟიმში.

**საკვანძო სიტყვები:** ჩამდინარე წყლები; სედიმენტაცია; ჰიდრავლიკური სისხო; ზღვრული კონცენტრაცია; ნაწილაკის გარსშემოდენის რეჟიმი.

### უაპ 691.32

გეტონის დანამატების ზოზიპურ-ძიმიური ასპექტები. ლ. კლიმიაშვილი, დ. გურგენიძე, ა. ჩიქოვანი // ჰიდროინჟინერია, №1(25), 2018, გვ. 50-60.

**რეზიუმე:** ადგილობრივი მასალებისა და ტექნოგენური ნარჩენების აქტივაცია და ერთგვაროვნობის ამაღლება ხორციელდება მათი მექანიკურ-ქიმიური დამუშავე-ბით საფქვავ აგრეგატებში. თუ დაფქვა ხდება ზედაპირულ-აქტიურ ნივთიერე-ბებთან ერთად, ვიღებთ ორგანულ-მინერალურ დანამატს, რომელიც ეფექტურად გამოიყენება სამშენებლო დუღაბებსა და ბეტონებში.

**საკვანძო სიტყვები:** ქიმიური და მინერალური დანამატი; მიკროშემაგსებლე-ბი; დაფქვა; აქტივაცია; ეპიტექცია; დიპოლი; კომპოზიციური შემკვრელი; სილა-ნი; სილიკონი; პოლარიზება; ადიტიურობა.

### უაპ 631.367

სტრატეგიული კულტურის მოწყვეტა ბაზარისა და კულტურული მომენტი დასაწილით აბრებაში. ვ. ნანიტაშვილი // პიდროინუინერია, №1(25), 2018, გვ. 61-69.

**რეზიუმე:** ნაშრომში განხილულია ჩაისა და ციტრუსოვანი კულტურების მორწყვის საკითხი, როგორც დიდმნიშვნელოვანი ღონისძიება, რომელიც იძლევა მაღალი და ხარისხიანი მოსავლის მიღების გარანტიას, ორიენტირებულს საექსპორტო პროდუქციის გაზრდაზე.

მოცემულია ჩაისა და ციტრუსოვანი კულტურების სარწყავი, დასაწვიმი დანადგარების კონსტრუქციული სქემები, ძირითადი კვანძები და მუშაობის პრინციპები, აგრეთვე ტექნიკური პარამეტრები და მორწყვის ტექნოლოგია.

**საკვანძო სიტყვები:** სარწყავი ტექნიკა; ირიგაციული ეროზია; ეკოლოგიური უსაფრთხოება; დაწვიმება.

### უაპ 332.025

„მკვდარი პაპიტალის“ ჩართვის ეფექტურობა შვეიცარია ეკონომიკურ ბრუნვასა და სამშენებლო საქმეში. ე. ქრისტესიაშვილი, რ. მახვილაძე, ი. გოგოლაძე // პიდროინუინერია, №1(25), 2018, გვ. 70-76.

**რეზიუმე:** ნაშრომში განხილულია მსოფლიოსა და საქართველოში მოსახლეობის ფაქტობრივ სარგებლობაში არსებული “მკვდარი კაპიტალის” სამოქალაქო ბრუნვაში ჩართვის როლი ქვეყნის ეკონომიკის, მათ შორის სამშენებლო საქმიანობის განვითარების სფეროში.

**საკვანძო სიტყვები:** იპოთეკა; მკვდარი კაპიტალი; მატერიალური და შინაგანი ღირებულება; მიწა; შენობა-ნაგებობები; უძრავი ქონება; მატერიალური აქტივი; დეველოპმენტი; კუმულაციური ეფექტი.

### უაპ 628.1

უყლის ხარისხის შევასება სტატისტიკური პიკოტეზის შესამოწმებლად ა მეთოდის გამოყენებით. ა. ბეგიაშვილი, გ. სოსელია // პიდროინუინერია, №1(25), 2018, გვ. 77-83.

**რეზიუმე:** სტატისტიკური პოპოთეზის შესამოწმებლად ა მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელია წყლის ხარისხის შეფასება მოხდეს მათემატიკური მოდე-

ლის გამოყენებით იმ შემთხვევაში, როცა წინასწარაა ცნობილი კოეფიციენტების ზუსტი მნიშვნელობები.

ამოცანა განიხილება ორი პიპოთეზის – წყლის მდგომარეობის (უვნებელი და მავნე) შემოწმებაზე. მის გადასაჭრელად ვსარგებლობთ ლეიმანისა და ცეიტლინის თეორიებით, რათა არ მოხდეს “წყლის გამწმენდის” ეკონომიკური ინტერესების უგულებელყოფა (არ გაუძვირდეს ხარჯები). გამოთვლისას ეს პირობა მხედველობაში მიიღება. პიპოთეზის საბოლოო შედეგი მოცემულია ცხრილში. ესენია  $\alpha$  და  $\mu$  მნიშვნელობები – წყლის გამწმენდისა და წყლის მომხმარებლისთვის.

**საკვანძო სიტყვები:** სტოქასტიკური დროებითი დაკვირვება; მათემატიკური მოლოდინი; დისპერსია; სტატისტიკური პიპოთეზა; სტიუდენტის განაწილება; კრიტიკული მიდამო.

### შპპ 628.1

ანთროპოგენული ზემოქმედების შედეგად მიზენაჲული ზარალის დათვლის საკონტროლო რაიონის მეთოდი. ა. ბეგიაშვილი, გ. სოსელია // პიდროინულერია, №1(25), 2018, გვ. 84-87.

**რეზიუმე:** მოცემულია ეკონომიკური ზარალის დადგენის სამი ძირითადი მეთოდი: საკონტროლო რაიონების (ემყარება დაბინძურებულსა და პირობითად სუფთას), ანალიტიკური დამოკიდებულების (ემყარება მათემატიკურ კავშირს, მაგ., მრავალფაქტორიანი ანალიზი) და კომბინირებული.

ქვემოთ განვიხილავთ საკონტროლო რაიონის მეთოდს, რომელიც გულისხმობს შესასწავლი რაიონის მეტ-ნაკლებად შესაბამისობაში მყოფი საკონტროლო რაიონის შერჩევას, ასევე მის ძირითად პრინციპებსა და დადებით მხარეებს. ამ მეთოდის გამოყენება შესაძლებელია სხვადასხვა კონკრეტული ობიექტისათვის.

**საკვანძო სიტყვები:** სტატისტიკური დამუშავება; ანალიტიკური ურთიერთკავშირი; რეგრესიის დონე; ფუნქცია – ფაქტორი.

### უაპ 628.1

დაგინძურების ნორმირება და ბარემოს მდგომარეობის მაჩვენებელი.

**ა. ბეგიაშვილი, გ. სოსელია // პიდროინუინერია, №1(25), 2018, გვ. 88-93.**

**რეზიუმე:** განხილულია გარემოზე ზემოქმედებისას დასაშვებ დონეთი კავშირი გარემოს მდგომარეობაზე. მოცემულია გარემოს დაბინძურებაზე ნორმირებული მაჩვენებლების დღეს არსებული განმარტება, დაბინძურებული წყლის ობიექტების კლასიფიკაცია, წყლის ხარისხის ინტეგრალური დახასიათება და ქიმიური დამაბინძურებლების ჯამური მაჩვენებლები.

**საკვანძო სიტყვები:** ნორმირება; მაქსიმალურად დასაშვები კონცენტრაცია; მაქსიმალურად დასაშვები დონე; დროებითად დაშვებული ჩაღვრა; წყლის დაბინძურების ინდექსი; დაბინძურების ჯამური მაჩვენებელი.

### უაპ 621.81

წვეთმართვა წვეთოვანი კონდენსაციის დროს და თბობაცვის პროცესის ანალიზი. **შ. მესტვირიშვილი // პიდროინუინერია, №1(25), 2018, გვ. 94-98.**

**რეზიუმე:** ნაშრომში მოცემულია წვეთოვანი კონდენსაციის დროს თბობაცემის ანალიზი და პროცესის სრულიად ახალი ხედვა, რომელიც დამყარებულია ფიზიკისა და კოლოიდური ქიმიის კლასიფიც გამოკვლევებზე. მოცემულია წვეთმარმოქმნისა და კონდენსატის აფსკის წარმოქმნის მექანიზმი, წარმოქმნილი წვეთების როლი თბობაცემის პროცესში მათი სიდიდის მიხედვით. შედარებულია წყლისა და გერცხლისწყლის წვეთოვანი კონდენსაციის თბობაცემის კოეფიციენტები და შემოტანილია მეორეული ორთქლის ცნება და მისი როლი კონდენსაციის პროცესის მიმდინარეობაში.

**საკვანძო სიტყვები:** წვეთოვანი კონდენსაცია; წვეთწარმოქმნა; მეორეული ორთქლი; კონდენსატი; კრიტიკული რადიუსი.

### უაპ 691.32

თვითშემჭიდროებადი ბეტონის შეკლების უნივერსალური მოდელი.

**ა. საყვარელიძე // პიდროინუინერია, №1(25), 2018, გვ. 99-106.**

**რეზიუმე:** ჩატარებულია თვითშემჭიდროებადი ბეტონის შეკლების ექსპერიმენტულ-თეორიული კვლევა.

გამოიცადა თვითშემჭიდროებადი ბეტონის სხვადასხვა ასაკის ( $t=14; 28; 60$  და  $180$  დღის) ნიმუშები. დამზადების შემდეგ ყველა ნიმუში ცდის დაწყებამდე

ინახებოდა „სტანდარტულ“ პირობებში [1]. გამოსაცდელი ნიმუშების ზომები, კომპოზიტის შედგენილობა და ტექნოლოგიური პარამეტრები მოცემულია ნაშრომებში [1, 2, 3].

გამოთვლილია სხვადასხვა ასაკის თვითშემჭიდროებადი ბეტონის წრფივი შეკლების კოეფიციენტები და მოცემულია მასალის შეკლების დეფორმაციების განმსაზღვრელი ფორმულები გარემოს ფარდობითი ტენიანობის მთელ დიაპაზონში,  $100 \div 0\%$ . დადგენილია თვითშემჭიდროებადი ბეტონის შეკლების, მასალის ასაკზე დამოკიდებულების კანონი და შემუშავებულია ამ კანონის აპროქ-სიმაციის ფორმულები.

შექმნილი უნივერსალური მოდელები მაქსიმალური სიზუსტით ასახავს კომპოზიტის შეკლების რეალურ დეფორმაციულ პროცესებს.

**საკვანძო სიტყვები:** შეკლება; ასაკი; თვითშემჭიდროებადი ბეტონი; წრფივი შეკლების კოეფიციენტი; ტენშემცველობა; ფარდობითი ტენიანობა; კანონი; ფორმულა; ექსპერიმენტი; მოდელი.

### შაპ 691.32

თვითშემჭიდროებადი ბეტონის გაჯირჯვება. ა. საყვარელიძე // პიდრო-ინჟინერია, №1(25), 2018, გვ. 107-110.

**რეზიუმე:** შესწავლილია თვითშემჭიდროებადი ბეტონის გაჯირჯვების საკითხები. დადგენილია 28 დღის ასაკის თვითშემჭიდროებადი ბეტონის გაჯირ-ჯვების დეფორმაციები, მასალის დატენიანების სხვადასხვა ინტენსიურობის დროს, გარემოს ფარდობითი ტენიანობის მთელ დიაპაზონში,  $0 \div 100\%$ . ნაჩვენებია, რომ კომპოზიტის გაჯირჯვების დეფორმაციები იზრდება თვითშემჭიდ-როებადი ბეტონის დატენიანების ინტენსიურობის ზრდის პროპორციულად. მოცემულია, რომ თვითშემჭიდროებადი ბეტონის გაჯირჯვების დეფორმაციები კარგი სიზუსტით აისახება წრფივი გაჯირჯვების ერთი კოეფიციენტით, გარე-მოს ფარდობითი ტენიანობის მთელ დიაპაზონში,  $0 \div 100\%$ . გამოთვლილია 28 დღის ასაკის თვითშემჭიდროებადი ბეტონის წრფივი გაჯირჯვების კოეფი-ციენტის სიდიდე.

**საკვანძო სიტყვები:** თვითშემჭიდროებადი ბეტონი; გაჯირჯვება; ნიმუში; ცი-ლინდრი; წრფივი გაჯირჯვების კოეფიციენტი; ფარდობითი ტენიანობა; ტენ-შემცველობა; ექსპერიმენტი; დეფორმაციები.

# SUMMARIES

UDC 628.1.034

DEVELOPMENT OF EFFECTIVE METHODS FOR ORGANIZATION OF MINOR WATER CYCLE. **A. Bakhtiari, T.Berberashvili, A. Bagration-Davitashvili, D. Gurgenidze, P.Kervalishvili, L. Klimiashvili** // Hydroengineering, №1(25), 2018, c. 8-15.

**Summary:** Nowadays, water scarcity beside pollution is one of the most complicated problem in the world that many scientists are involved to find solutions. Most of the alternatives are based on saving and pollution prevention. However, they are useful, but not sufficient in large scale.

Pollution not only damage to environment resources, but also decrease fresh water resources and it is significant, when constant amount of fresh water on the earth is considered. Therefore, a comprehensive alternative not only remove water scarcity, but also save the world from pollutants.

**Key words:** water crisis; water minor cycle; water economy; reusing water; water resources.

UDC 627.521.1

STABILITY OF FREE-FLOW STREAMS IN ROUND-CYLINDRICAL CONDUITS.

**Sh. Gagoshidze** // Hydroengineering, №1(25), 2018, c. 16-26.

**Summary:** There is well known in hydraulic engineering practice, taking into account the fact, that for a nearly fully filled gravityflow tunnel with a circular cross section the water flows with shocks, i.e. unstable. Such a phenomenon also occurs, when emptying a bottle, but no mathematical confirmation has been so far found for it. There is shown, that the instability of wave perturbations in such channels depends only on the length of the wave disturbances and does not depend either on the velocity of the main stream, or on the presence of an interlayer of air between the free water surface and the channel ceiling.

In the paper, the estimate of the flow stability is obtained also for two limiting cases: - when the channel of circular cross-section is nearly empty, i.e. the water flow in the channel has small depth, as compared with the radius of the water conduit and when it is half fulled. In both limiting cases, the wave motion in a channel is always stable.

**The work is carried out within the limits of FR 35/9-120/14 grant of Shota Rustaveli national scientific fund.**

**Key words:** free-flow conduit, circular cross section, wave motion, stability of flow.

UDC 628.1

ISSUES OF SETTLING VELOCITY OF SOLID PARTICLES IN WASTEWATER.

**Z. Gvishiani, L. Klimiashvili, G. Soselia, K. Gordeziani** // Hydroengineering, №1(25), 2018, c. 27-34.

**Summary:** There are reviewed wastewateris, as a complex polydisperse, heterogeneous and aggregate of unstable system - suspension. A device has been developed for determining the particle settling velocity in waste water, taking into account their non-transparency. Our results and data obtained by other authors are compared and presented using graphs and empirical equation. The dependences deducted from empirical data, allow to carry out calculations with sufficient accuracy to be used in engineering work.

**Key words:** waste water, polydisperse, heterogeneous, aggregate unstable system, suspension, settling velocity, horizontal gravity settler.

UDC 628.1.034

EFFECT OF SHAPE OF PARTICLES ON THEIR SETTLING VELOCITY DURING THE MECHANICAL WASTE WATER TREATMENT. **Z.Gvishiani, D. Gurgnidze, Z. Tsinadze, S. Bukia** // Hydroengineering, №1(25), 2018, c. 35-42.

**Summary:** There is reviewed effect of shape of particles on their settling velocity during the mechanical wastewater treatment. Our results and data obtained by other authors are compared and presented using graphs and empirical equation. The dependences deducted from empirical data, allow to carry out calculations with sufficient accuracy to be used in engineering work.

**Key words:** waste waters; mechanical waste waters treatment; settling velocity; effect of shape of particles.

UDC 628.339

STUDY OF THE DYNAMICS OF CHANGES THE CONCENTRATION OF THE SUSPENDED SOLIDS IN SEDIMENTATION TANKS FOR WASTE WATER TREATMENT.

**I. Inashvili, I. Denisova** // Hydroengineering, №1(25), 2018, c. 43-49.

**Summary:** The article deals the dynamics of changing the concentration of suspended solids during waste water treatment in sedimentation tanks, under gravitational sedimentation. Based on the hypsometric law of Laplace, the equation of the dependence of the volume concentration of suspended solids on the settling depth have been obtained. The value of the boundary concentration, between the laminar and transitional modes of flow around the

particles have been determined. In the article, it has been calculated at what depth does the laminar mode flow around the particles changes into the transitional mode.

**Key words:** waste water, hydraulic size; sedimentation, fall velocity, boundary concentration, regimes; flow around the particle.

UDC 691.32

CHEMICAL-PHYSICAL ASPECTS OF CONCRETE FILLERS. **L. Klimiashvili, D. Gurgenidze, A. Chikovani** // Hydroengineering, №1(25), 2018, c. 50-60.

**Summary:** To activate local materials and technical-genetic waste, increase singularity of their mechanical-chemical refinement in crushing machines. If crushing happens in combination with surface-active materials, we get organic-mineral filler, which is effective for use in constructional welding and concrete.

**Key words:** chemical and mineral additions; microfillers; grind; activation; dipole; compositional astringent; silon; silicon; polarization; additivity.

UDC 631.367

IRRIGATION OF STRATEGIC CULTURES THE IMPROVED IRRIGATION UNIT OF POSITIONAL ACTION. **V. Nanitashvili** // Hydroengineering, №1(25), 2018, c. 61-69.

**Summary:** The question of the irrigation of tea and citrus cultures is discussed as a significant measure, which gives a guarantee of the achievement of high and qualitative harvest oriented on the increase of export production.

Construction diagrams of the irrigation water-sprinkler for tea and citrus plantations, main units and principles of operation as well as engineering data and irrigation technology are given.

**Key words:** irrigation technology; water-sprinkler; Irrigational erosion; ecological safety; irrigation.

UDC 332.025

THE EFFECT OF INCLUSION OF "DEAD CAPITAL" IN THE COUNTRY'S ECONOMIC TURNOVER AND CONSTRUCTION BUSINESS. **E. Kristesiashvili, R. Makhviladze, I. Gogoladze** // Hydroengineering, №1(25), 2018, c. 70-76.

**Summary:** There is reviewed the role of animation of "dead capital" possessed by population in the world, including Georgia, in the development of the country's economy, including construction sphere.

**Key words:** hypothec; dead capital; material and internal values; building-constructions; immovable property; material active; development; cumulative effect.

UDC 628.1

TESTING OF WATER QUALITY AND IT'S PURITY TO TEST STATISTICAL HYPOTHESIS USING A METHOD. **A. Begiashvili, G. Soselia** // Hydroengineering, №1(25), 2018, c. 77-83.

**Summary:** Rating quality of water using method for testing of statistical hypothesis is doable if predefined coefficients are known using mathematical formula. The goal of the task is to test 2 hypothesis: state of water (safe or dangerous), to answer the questions of two theories (Lehman and Ceatlin) - not to ignore economic interest of “water purification”. This condition is mandatory during calculations. After final result is collected, the table is created, which enables analysis of hypothesis results. The results of hypothesis are also in the table. Definition and -1, -a) For “water purifier” also, 2. -b) for water users.

**Key words:** stochastic temporal observation; mathematical expectations; dispersion; statistical hypothesis; critical environment.

UDC 628.1

METHOD OF THE CONTROL AREA FOR CALCULATING THE LOSSES RECEIVED UNDER ANTHROPOGENIC INFLUENCE. **A. Begiashvili, G Soselia** // Hydroengineering, №1(25), 2018, c. 84-87.

**Summary:** There is shown the consideration of the method of the control area for determining the amount of economic losses. Three main methods are used for this purpose: the control area (which is based on contaminated and conditionally pure material), analytical (which is based on a mathematical connection, for example, multifactorial analysis) and the third, combined method. The method of the control area, which implies the selection of the appropriate control area, is presented. There are given the main principles and positive aspects. The application of this method is possible for many specific objects.

**Key words:** relative index of control region; recipients; statistical processing, analytical interconnection, regress level, function-factor.

UDC 628.1

WASTE NORMALIZATION AND ENVIRONMENT MONITORING. A. Begiashvili, G. Soselia // Hydroengineering, №1(25), 2018, c. 88-93.

**Summary:** Acceptable levels of environmental influence have been reviewed. Up-to-date statistics are shown for environmental damage. In addition, there is presented classification of object, with dirty water, it's integral characteristics and total values of chemical damage.

**Key words:** normalization; as possible acceptable concentration; as possible acceptable level; temporarily accepted pour in; water pollution index; total values of pollution.

UDC 621.81

THE FORMATION OF DROPLETS DURING CONDENSATION AND THE ANALYSIS OF THE HEAT TRANSFER PROCESS. Sh. Mestvirishvili // Hydroengineering, №1(25), 2018, c. 94-98.

**Summary:** In the work a new vision is given for analyzing the process of heat transfer and the formation of droplets during condensation, which is based on classical studies of physics and colloid chemistry. The mechanism of the formation of droplets and condensate film is given. The role of generating droplets in the process of heat exchange in terms of their magnitude is also presented. Comparison of heat transfer coefficients of droplet condensation of water and mercury is carried out and the concept of secondary vapor and its role during the condensation process is introduced.

**Key words:** dropping condensation; formation of droplets; secondary vapor; condensate; critical radius.

UDC 691.32

UNIVERSAL SHRINKAGE MODEL FOR SELF-COMPACTING CONCRETE. A. Sakvarelidze // Hydroengineering, №1(25), 2018, c. 99-106.

**Summary:** There was studied shrinkage of self-compacting concrete of different age  $t_0=14, 28, 60$  and 180 days. Experiments were conducted over cylindrical specimens with diameter 70 mm and length 70 and 300 mm. Specimens were kept in environment of 100 % relative humidity during of different  $t_0=14, 28, 60$  and 180 days after preparation and afterwards were tested in environment of 70, 50, 20 and 0% relative humidity.

The shrinkage deformation changes of specimens containing were determined during the tests nonlinear dependence of shrinkage of moisture content were proven.

There is created universal model of self-compacting concrete shrinkage. It is first time, that universal model of shrinkage takes into account the age and moisture content of material.

Theoretical calculation is in consensus with experimental data.

**Key words:** shrinkage; age; self-compacting concrete; rectilinear; coefficient of shrinkage; moisture; relative humidity; law; formula; experiment; model.

UDC 691.32

SWELLING OF SELF-COMPACTING CONCRETE. A. Sakvarelidze // Hydroengineering, №1(25), 2018, c. 107-110.

**Summary:** There was researched swelling of self-compacting concrete. Experiments were conducted over cylindrical specimens with diameter 70 mm and length 70 and 300 mm. Specimens were kept in environment 100 % relative humidity during 28 days and dried in drying cabinet until moisture content of 0 % (by constant weight).

Afterwards there were tested in environment of 70 and 100 % relative humidity. There was determined, that the swelling deformation increases proportionally, to the proven moisture content of material. Linear coefficient swelling of self-compacting concrete is determined. Theorefical conclusions are in consensus with the experimental data.

**Key words:** self-compacting concrete; swelling; specimen; cylinder; rectilinear; coefficient of swelling; relative humidity; moisture; experiment; deformation.

# РЕФЕРАТЫ

УДК 628.1.034

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВОДНОГО МИНОРНОГО ЦИКЛА. **Бахтиари А., Берберашвили Т.М., Багратион-Давиташвили А.Н., Гургенидзе Д.Р., Кервалишвили П.Д., Климиашвили Л.Д.** // Гидроинженерия, №1(25), 2017, с. 8-15.

**Резюме:** В настоящее время загрязнение воды является одной из самых сложных проблем в мире, в поиске решений которой участвуют многие ученые. Большинство альтернатив основаны на сохранении чистоты и предотвращении загрязнения. Однако, в больших масштабах они полезны, но недостаточны.

Загрязнение не только наносит ущерб водным ресурсам, но также важно его учитывать, когда рассматриваются мировые запасы пресной воды. Поэтому всеобъемлющая альтернатива не только помогает устранить нехватку воды, но и спасает мир от ее загрязнителей.

**Ключевые слова:** водные ресурсы; водный кризис; минорный водный цикл; повторное использование воды; экономия воды.

УДК 627.521.1

УСТОЙЧИВОСТЬ БЕЗНАПОРНЫХ ПОТОКОВ В КРУГЛОЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ВОДОВОДАХ. **Гагошидзе Ш. Н.** // Гидроинженерия, №1(25), 2017, с. 16-26.

**Резюме:** Статья посвящена исследованию устойчивости распространения волн в безнапорных кругло-цилиндрических водоводах (в тоннелях, в трубопроводах и т.д.). Впервые теоретически обосновывается хорошо известное и учитываемое на практике гидротехнического строительства явление, заключающееся в сбое протекания жидкости в круглоцилиндрических каналах в условиях их почти полного наполнения. Показано, что неустойчивость волновых возмущений в таких каналах зависит лишь от длины волновых возмущений и не зависит ни от скорости основного потока и ни от наличия прослойки воздуха между свободной поверхностью воды и сводом канала.

Выводятся также асимптотические уравнения для описания волновых движений в малой степени и наполовину наполненных каналах круглого поперечного сечения, качественный анализ которых указывает на устойчивость поверхностных волн.

**Работа выполнена в рамках национально-научного фонда Гранта FR 35/9-120/14 Шота Руставели.**

**Ключевые слова:** безнапорный водовод; волновое движение; круглое сечение; устойчивость.

**УДК 628.1**

**К ВОПРОСУ УТОЧНЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ КРУПНОСТИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ СТОЧНЫХ ВОД.** Гвишиани З.Г., Климиашвили Л.Д., Соселия Г.А., Гордезиани К.Г. // Гидроинженерия, №1(25), 2017, с. 27-34.

**Резюме:** Рассмотрены сточные воды как полидисперсная, гетерогенная и агрегатно-неустойчивая система – суспензия. Разработано устройство для определения скорости осаждения частиц в сточных водах с учетом их непрозрачности. Полученные нами результаты и данные представлены в графических и эмпирических формах, и сопоставлены с результатами других авторов. Предложенные эмпирические зависимости позволяют проводить расчеты с точностью, допустимой в инженерной практике.

**Ключевые слова:** агрегатно-неустойчивая система; гетерогенная; гидравлическая крупность; горизонтальный отстойник; полидисперсная; сточные воды; суспензия.

**УДК 628.1.034**

**ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ЧАСТИЦ НА ГИДРАВЛИЧЕСКУЮ КРУПНОСТЬ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД.** Гвишиани З.Г, Гургенидзе Д.Р., Цинадзе З.О., Букия С.К. // Гидроинженерия, №1(25), 2017, с. 35-42.

**Резюме:** Рассмотрено влияние формы частиц на гидравлическую крупность при решении задач механической очистки сточных вод. Полученные нами результаты и данные представлены в графических и эмпирических формах. Предложенные эмпирические зависимости позволяют проводить расчеты с точностью, допустимой в инженерной практике.

**Ключевые слова:** влияние формы частиц; гидравлическая крупность; механическая очистка; сточные воды.

**УДК 628.339**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ОТСТОЙНИКАХ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД.  
Инашвили И. Д., Денисова И. А. // Гидроинженерия, №1(25), 2017, с. 43-49.**

**Резюме:** В статье рассмотрена динамика изменения концентрации взвешенных веществ при очистке сточных вод в отстойниках методом гравитационного осаждения. Основываясь на гипсометрическом законе Лапласа, получено расчетное уравнение зависимости объемной концентрации взвешенных веществ от глубины оседания. Определено значение граничной концентрации между ламинарным и переходным режимами обтекания частиц жидкостью. Рассчитано на какой глубине происходит переход ламинарного режима обтекания частиц в переходный режим.

**Ключевые слова:** гидравлическая крупность; граничная концентрация; режим обтекания частиц; седиментация; сточные воды.

**УДК 691.32**

**ХИМИКО-ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БЕТОННЫХ ДОБАВОК.**

**Климиашвили Л.Д., Гургенидзе Д.Р., Чиковани А.Б. // Гидроинженерия, №1(25), 2017, с. 50-60.**

**Резюме:** Активация и повышение однородности местных материалов и техногенных отходов осуществляются путем их механо-химической обработки в помольных агрегатах. В случае помола указанных материалов совместно с добавками ПАВ получают органическую добавку, обладающую высокой однородностью и низкой водопотребностью, которая может эффективно применяться в строительных растворах и бетонах.

**Ключевые слова:** химические и минеральные добавки; микронаполнители; помол; активация; эпитеция; диполь; композиционное вяжущее; силан; силикон; поляризация; адитивность.

**УДК 631.367**

**ОРОШЕНИЕ СТРАТЕГИЧЕСКИХ КУЛЬТУР УЛУЧШЕННЫМ ПОЛИВНЫМ АГРЕГАТОМ ПОЗИЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ. Наниташвили В. О. // Гидроинженерия, №1(25), 2017, с. 61-69.**

**Резюме:** Рассмотрен вопрос орошения чайных и цитрусовых культур как знаменательное мероприятие, которое даёт гарантию получить высокий и качественный урожай, ориентированный на увеличение экспортной продукции.

Даны схемы и конструкции поливных дождевальных установок для чайных и цитрусовых плантаций, основные узлы и принципы работ, а также их технические параметры и технология орошения.

**Ключевые слова:** поливочная техника; ирригационная эрозия; экологическая безопасность; дождевание.

**УДК 332.025**

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВКЛЮЧЕНИЯ «МЕРТВОГО КАПИТАЛА» В ЭКОНОМИЧЕСКОМ ОБОРОТЕ СТРАНЫ И В СТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.**  
Кристесиашвили Е.Н. , Махвиладзе Р.Л., Гоголадзе И.А. // Гидроинженерия, №1(25), 2017, с. 70-76.

**Резюме:** В работе рассматривается роль включения „мертвого капитала“ находящегося в фактическом владении населения в мире, и в том числе в Грузии, в развитии экономики страны в том числе.

**Ключевые слова:** ипотека; мертвый капитал; материальная и внутренняя ценность; земля; здания; сооружения; материальный актив; девелопмент; кумуляционный эффект; недвижимый капитал.

**УДК 628.1**

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ГИПОТЕЗЫ ПРИМЕНЕНИЕМ  $\alpha$  - МЕТОДА.** Бегиашвили А.Ш, Соселиа Г. А. // Гидроинженерия, №1(25), 2017, с. 77-83.

**Резюме:** Для проверки статистической гипотезы с использованием Альфа метода оценки качества воды можно применить математическую модель, в том случае, если заранее известно точное значение коэффициента. Для проверки состояния воды (безвредная или вредная) задача сводится к проверке двух гипотез. Для решения задачи пользуемся теориями Леймана и Цейтлина. После получения окончательного результата составлена таблица, которая позволяет анализировать полученные данные. По результатам гипотез построен и график. В нём данные значений Альфа и Мю, когда а) кто "очищает воду", б) для "пользователя воды".

**Ключевые слова:** математические ожидания, дисперсия, статистическая гипотеза, распределение стеблей.

**УДК 628.1**

**РАСЧЁТ УЩЕРБА С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНТРОЛЬНОГО РАЙОНА ПРИ АНТРОПОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ.** Бегиашвили А.Ш, Соселиа Г. А. // Гидроинженерия, №1(25), 2017, с. 84-87.

**Резюме:** Показано: обсуждение установления экономического ущерба методом контрольных районов. Для установления ущерба применяют 3 метода: контрольных районов, которые обоснованы сравнением загрязнённого и условно чистого; аналитической взаимосвязи (обоснованы по математическому соотношению, например, многофакторному анализу), и третий - комбинированный метод.

Приведённый контрольный район, который по характеристике более-менее близок с изучаемым. Указаны основные принципы и положительные стороны этого метода. Этот метод можно применить и для других районов.

**Ключевые слова:** статистическая обработка; аналитическая взаимосвязь; уровень регрессии; функция-фактор.

**УДК 628.1**

**НОРМИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ПОКАЗАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ.** Бегиашвили А.Ш, Соселиа Г. А. // Гидроинженерия, №1(25), 2017, с. 88-93.

**Резюме:** Обсуждена взаимосвязь между разрешенными и нормативными параметрами при воздействии на окружающую среду. Приведено современное определение нормативного показателя взаимодействия с природой, также приведены классификация водного объекта; интегральная характеристика качества воды и суммарные показатели химических загрязнителей.

**Ключевые слова:** нормализация; максимально допустимая концентрация; максимально допустимый уровень; временно разрешенный индекс загрязнения воды; общий уровень загрязнения.

**УДК 621.81**

**КАПЛЕОБРАЗОВАНИЕ ВО ВРЕМЯ КАПЕЛЬНОЙ КОНДЕНСАЦИИ И АНАЛИЗ ПРЕЦЕССА ТЕПЛООТДАЧИ.** Мествиришвили Ш. А. // Гидроинженерия, №1(25), 2017, с. 94-98.

**Резюме:** В работе даётся анализ капельной конденсации во время теплоотдачи в совершенно новом взгляде на процесс, основанный на классическом исследовании

физики и колloidной химии. Даётся также механизм каплеобразования и возникновения плёнки конденсата. Определена роль образованных капель в процессе теплоотдачи согласно их радиусу, сверены коэффициенты капельной теплоотдачи и ртути, вместе с тем, внесено понятие вторичного пара и его роль в процессе конденсации.

**Ключевые слова:** капельная конденсация; каплеобразование; вторичный пар; пар; конденсат; критический радиус.

**УДК 691.32**

**УНИВЕРСАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УСАДКИ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА.** Сакварелидзе А.В. // Гидроинженерия, №1(25), 2017, с. 99-106.

**Резюме:** Изучена усадка самоуплотняющегося бетона различного возраста  $t_0=14, 28, 60$  и  $180$  дней. В экспериментах испытывались образцы-цилиндры диаметрами  $70$  см и длиной  $70$  и  $300$  мм. До испытаний образцы хранились в камерах с относительной влажностью  $100\%$ . Образцы всех возрастов испытывались в средах с относительной влажностью  $70, 50, 20$  и  $20\%$ . Опыты показали: зависимость деформации образцов (всех возрастов) от влагосодержания материала нелинейна.

На основе экспериментальных данных разработана универсальная модель усадки композита. Впервые разработана модель усадки самоуплотняющегося бетона, которая учитывает возраст и структуру материала. Теоретические вычисления хорошо согласуются с экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** усадка; возраст; модель; самоуплотняющийся бетон; влагосодержание; деформация; среда.

**УДК 691.32**

**НАБУХАНИЕ САМОНАПРЯГАЮЩЕГОСЯ БЕТОНА.** Сакварелидзе А.В. // Гидроинженерия, №1(25), 2017, с. 107-110.

**Резюме:** Изучен вопрос набухания самонапрягающегося бетона. Эксперименты проводились над образцами-цилиндрами диаметром  $70$  мм и длиной  $70$  и  $300$  мм. После изготовления образцы хранились в помещении при  $100\%$  относительной влажности  $28$  суток.  $28$ - суточные образцы высушивались до постоянного веса (влагосодержание  $W=0\%$ ), после они испытывались на набухание в средах с относительной влажностью воздуха  $70$  и  $100\%$ .

Опыты показали, что набухание композита возрастает пропорционально влагосодержанию материала. Установлено, что деформация набухания вычисляется одним

линейным коэффициентом набухания. Данна формула определения набухания композита. Установлена величина коэффициента линейного набухания самоуплотняющегося бетона. Теоретически определённые деформации набухания с хорошей точностью согласуются с экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** набухание; самоуплотняющийся бетон; образец; влагосодержание; деформация; линейный коэффициент набухания.

რედაქტორები: ლ. მამალაძე, დ. ქურიძე, მ. პრეობრაჟენსკაია  
კომპიუტერული უზრუნველყოფა ე. ქარჩავასი

გადაეცა წარმოებას 10.07.2018 ხელმოწერილია დასაბეჭდად 19.10.2018  
ქაღალდის ზომა 60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 8.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77

