

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY

ГРУЗИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

---

ISSN 1512-410X

ჰიდროენიჟინიჟი  
HYDROENGINEERING  
ГИДРОИНЖЕНЕРИЯ

№1-2(27-28)



თბილისი – TBILISI – ТБИЛИСИ

2019

# 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. ღორგელიანი, ნ. ჩხეიძე, შ. გაგოშიძე, გ. სოსელია, მ. გრძელიშვილი, უ. 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, რამეშ კანვარი, ემი კალეიტა, სტივენ ფრიმენი, როი გუ.

**რუსეთიდან:** მოსკოვის სახელმწიფო სამშენებლო უნივერსიტეტის პროფესორები: ო. პრიმინი, ვ. პალგუნოვი.

## 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. Grdzeliashvili, 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. Прангисвили, проф: Л. Климиашвили, Д. Гургенидзе, И. Кадария (главный редактор), А. Мотсонелидзе, З. Данелия, А. Давиташвили, И. Инашвили, З. Мегрелишвили, Л. Гогелиани, Н. Чхеидзе, Ш. Гагошидзе, Г. Соселия, М. Грдзелиашвили, 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, 0160, კოსტავას ქ. 77, I კორპუსი. ტელ.: 2-33-06-87, ჟურნალის ვებგვერდი [www.ctel.gtu.ge](http://www.ctel.gtu.ge)

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2019



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.

# შინაარსი

ლ. კლიმიაშვილი, ქ. გორდეზიანი, გ. სოსელია, ა. ბაგრატიონ-დავითაშვილი.	
შპალსაღენების ბაანბარიშვილი მირითადად თბურ თვისებებზე თბობაცემის საპითხების შესახებ.....	6
ლ. კლიმიაშვილი, ქ. გორდეზიანი, ა. ბაგრატიონ-დავითაშვილი, გ. სოსელია. სანიტარიული დაცვის ზონების ანბარიში.....	15
ლ. კლიმიაშვილი, დ. გურგენიძე, ა. ჩიქოვანი. პრაკტიკიური მასალის ასპექტები.....	21
ი. ინაშვილი, ა. ბაგრატიონ-დავითაშვილი, ი. კლიმიაშვილი, ვ. ხორავა. მოდელირება ორგორც ეროზის კვლევის მეთოდი.....	30
ი. ინაშვილი, ი. დენისოვა. ორგაზიან ნაკადში შემონილი ნაწილაკების რელაქსაციის სიჩქარის კვლევა.....	37
ა. ბაგრატიონ-დავითაშვილი, ი. ინაშვილი, ი. კლიმიაშვილი, ვ. ხორავა. შპლისმიერი ეროზის პროცესები საქართველოში.....	44
ა. ბაგრატიონ-დავითაშვილი, ი. ინაშვილი, *ლ. დზიენისი, ვ. ხორავა. არაგმული ნიადაგების გამორჩევის მოდელირება.....	51
შ. გაგოშიძე, ი. ქადარია, ი. საღინაძე, მ. კოდუა, ი. მოსავლიძე. მდ. რიონის შპალგამყოფი ჰიდროკვანძის ქვედა ბიეზის ნბრევის მიზანები და სარმატილიტაციო ღონისძიებები. ....	57
ა. ახვლედიანი, ა. გოგოლაძე, გ. ახვლედიანი, ი. გოგოლაძე. შპალგება დაბეტონება.....	67
მ. ნაცვლიშვილი, ნ. ნაცვლიშვილი. შპლის მიწოდების უზრუნველყოფის სიდიდის შეფასებისათვის.....	79
მ. ნაცვლიშვილი, ნ. ნაცვლიშვილი. შპალდამხარჯ ხელსაწყოთა ერთეულოვანი ხარჯების შეფასება.....	83
ა. საყვარელიძე. გემებიდან საზღვაო ბარემოს დაბინძურების აღკვეთა.....	87
ა. საყვარელიძე. მსოფლიო კორტეგის განვითარების ფენენციები და კერსაპექტივები. ....	96
მ. გრძელიშვილი, ა. კოპალიანი. შენობათა ენერგოეფექტური ცხელი შპალგომარაბების სისტემები.....	104
გ. დალაქიშვილი, ქ. ხაზალია, ც. გიორგაძე, ო. საჯაია, გ. თურმანიძე. გეტონის დეფორმაციის გამოკვლევა ჰიდროგრავიული ინტერცერომეტრიის მეთოდი.....	112
რეზერატები.....	119

# CONTENTS

<b>L. Klimiashvili, K. Gordeziani, G. Soselia, A. Bagration-Davitashvili.</b> THE CALCULATION OF WATER PIPES IS MAINLY ABOUT THERMAL PROPERTIES AND ISSUES OF HEAT TRANSFER.THE THERMAL RESOURCES OF WATER ARE DETERMINED BY ITS TEMPERATURE.....	21
<b>L. Klimiashvili, K. Gordeziani, A. Bagration-Davitashvili, G. Soselia.</b> CALCULATION OF SANITARY PROTECTION ZONES.....	30
<b>L. Klimiashvili, D. Gurgenidze, A. Chikovani.</b> ASPECTS OF COMPOSITE MATERIAL .....	37
<b>I. Inashvili, A. Bagration-Davitashvili, I. Klimiashvili, V. Khorava.</b> MODELING AS A METHOD FOR STUDYING EROSION.....	15
<b>I. Inashvili, I. Denisova.</b> STUDY OF THE RELAXATION VELOCITY OF SUSPENDED PARTICLES IN LIQUID FLOW .....	54
<b>A. Bagration-Davitashvili, I. Inashvili, I. Klimiashvili, V. Khorava.</b> WATER EROSION PROCESSES IN GEORGIA .....	6
<b>A. Bagration-Davitashvili, I. Inashvili, *L. Dzienis, V. Khorava.</b> MODELING OF WASHING-OUT OF NON-CONVERSE SOILS.....	61
<b>Sh. Gagoshidze, I. Kadaria,I. Saghinadze, M. Kodua, I. Mosavlidze.</b> CAUSES OF DESTRUCTION OF THE DOWNSTREM POOL OF THE RIONI WATER DIVIDING DAM AND THE WAYS OF ITS REHABILITATION.....	44
<b>A. Akhvlediani, A. Gogoladze, G. Akhvlediani, I. Gogoladze.</b> UNDERWATER CONCRETING .....	67
<b>M. Natsvlishvili, A. Natsvlishvili.</b> ASSESSMENT OF THE SIZE OF WATER-SUPPLY PROVISION.....	79
<b>M. Natsvlishvili, N. Natsvlishvili.</b> ASSESSMENT OF UNILATERAL FLOW RATE OF WATER UTILITY EQUIPMENT.....	83
<b>A. Sakvarelidze.</b> PREVENTION OF POLLUTION OF THE MARINE ENVIRONMENT BY SHIPS .....	87
<b>A. Sakvarelidze.</b> TRENDS AND PERSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF PORTS. ....	96
<b>M. Grdzelishvili, A. Kopaliani.</b> SYSTEM FOR EFFECTIVE ENERGY TRANSFER WHILE SUPPLYING BUILDING WITH HOT WATER.....	104
<b>G. Dalakhishvili, K. Khazalia, Ts. Giorgadze, O. Sadjaia,G. Turmanidze.</b> THE STUDY OF CONCRETE DEFORMATION BY HOLOGRAPHIC INTERFEROMETRY.....	112
<b>SUMMARIES.....</b>	128

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Л.Д. Климиашвили, К.Г. Гордезиани, Г.А. Соселиа, А.Н. Багратион-Давиташвили.</b> РАСЧЕТ ВОДОПРОВОДНЫХ ТРУБ В ОСНОВНОМ О ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВАХ И ВОПРОСАХ ТЕПЛООТДАЧИ. ТЕПЛОВЫЕ РЕСУРСЫ ВОДЫ ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ ЕЕ ТЕМПЕРАТУРОЙ. ....	6
<b>Л.Д. Климиашвили, К.Г. Гордезиани, А.Н. Багратион-Давиташвили, Г.А. Соселиа.</b> ОТЧЕТ О САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫХ ЗОНАХ.....	15
<b>Л.Д. Климиашвили, Д.Г. Гургенидзе, А.Б. Чиковани.</b> АСПЕКТЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	21
<b>И.Д. Инашвили, А.Н. Багратион-Давиташвили, И.Л. Климиашвили, В.Д. Хорава.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ЭРОЗИИ.....	30
<b>И.Д. Инашвили, И.А. Денисова.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ РЕЛАКСАЦИИ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ В ПОТОКЕ ЖИДКОСТИ. ....	37
<b>А.Н. Багратион-Давиташвили, И.Д. Инашвили, И.Л. Климиашвили, В.Д. Хорава.</b> ПРОЦЕССЫ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ В ГРУЗИИ. ....	44
<b>А.Н. Багратион-Давиташвили, И.Д. Инашвили, *Л. Дзиенис, В.Д. Хорава.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗМЫВА НЕСВЯЗНЫХ ГРУНТОВ. ....	51
<b>Ш.Н. Гагошидзе, Ю.Р. Кадария., И.С. Сагинадзе, М.А. Кодуа, И.Г. Мосавлидзе.</b> ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ НИЖНЕГО БЬЕФА ПЛОТИНЫ РИОНСКОГО ВОДОДЕЛИТЕЛЬНОГО ГИДРОУЗЛА И ПУТИ ЕГО РЕАБИЛИТАЦИИ. ....	57
<b>А.В. Ахвледиани, А.Ш. Гоголадзе, Г.А. Ахвледиани, И.А. Гоголадзе.</b> ПОДВОДНОЕ БЕТОНИРОВАНИЕ. ....	67
<b>М.Н. Нацвлишвили, Н.В. Нацвлишвили.</b> К ОЦЕНКЕ ВЕЛИЧИНЫ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОДАЧИ ВОДЫ. ....	79
<b>М.А. Нацвлишвили, А.А. Нацвлишвили</b> ОЦЕНКА ЕДИЧНЫХ РАСХОДОВ ВОДОРАЗБОРНЫХ ПРИБОРОВ.....	83
<b>А.В. Сакварелидзе.</b> ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ С СУДОВ. ....	87
<b>А.В. Сакварелидзе.</b> ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОРТОВ МИРА. ....	96
<b>М.В. Грдзелишвили, А.Дж. Копалиани.</b> СИСТЕМЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ. ....	104
<b>Г.Л. Далакишвили, К.Р. Хазалия, Ц.В., Гиоргадзе О.С. Саджаидзе, Г.З. Турманидзе.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ БЕТОНА МЕТОДОМ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ. ....	112
<b>РЕФЕРАТЫ</b> .....	135

## შავ 628.3

### წყალსაძენების გაანგარიშება მიზითაღად თბურ თვისებებზე თბობაცემის საკითხების შესახებ

ლ. კლიმიაშვილი, ქ. გორდეზიანი, გ. სოსელია, ა. ბაგრატიონ-დავითაშვილი  
(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** წყლის თბური რესურსები განისაზღვრება მისი ტემპერატურით. მიწისქვეშა წყლების წყაროების ტემპერატურა თითქმის ყოველთვის ძიგრადია და ცვალებადობა ხორციელდება ზღვრებში 5–10°C. მიწის ზედაპირზე წყალსადენის ტრანსპორტირებისათვის გამოყენებული უნდა იყოს მიღიალურად შესაძლო თბოცვლით გარემოს პაურის გათვალისწინებით. ქვემოთ მოყვანილი საანგარიშო ფორმულები ითვალისწინებს წყლის ტემპერატურის დადგენას მიღდენები მოძრავ ნაკადთან შედარებით, მარტივი პირობების გათვალისწინებას თბური გაანგარიშების ჩატარებისას.

**საკვანძო სიტყვები:** წყლის თბური რესურსები, წყაროების ტემპერატურა, ხახუნი, წყლის ნაკადი, ტემპერატურა, თბოგადაცემა, თერმული წინაღობა, ტემპერატურული რყევა მიღდენები.

#### 1. შესავალი

აუცილებელი პირობა წყალსადენებში თბური პროცესების გაანგარიშების ტექნოლოგია ჩნდება იმ წყალსადენების დასაცავად, სადაც პაერის უარყოფითმა ტემპერატურამ შეიძლება გამოიწვიოს მიღდენის წყლის გაყინვის პროცესი. ეს მაშინ, როდესაც პრაქტიკულად მიწის სიღრმის შესაბამისად თხრილში ფოლადის მიღები ჩაწყობილია ნიადაგის ჩაყინვის ზონის ქვევით ან საერთოდ მიწის ზედაპირზეა მოწყობილი თხრილის გარეშე. მივიღოთ ჩვენი ფიზიბილიტის სტადიაში მიღის მოწყობის მაგალითი სტეფანწმინდის წყალსადენის გაუმჯობესობასთან დაკავშირებით.

აღნიშნულ შემთხვევაში მისაღებია მილის მთელ სიგრძეზე სითბოს დანაკარგების გაანგარიშების თბური და მასში წყლის ნაკადის საბოლოო ტემპერატურის შენარჩუნების ამოცანა.

## 2. მიზანთადი ნაწილი

წყლის თბური რესურსები განისაზღვრება მისი ტემპერატურით. მიწისქვეშა წყლების წყაროების ტემპერატურა თითქმის ყოველთვის მდგრადია და ის იცვლება  $5-10^{\circ}\text{C}$  საზღვრებში, ამიტომ წყლის თბური რესურსებიც შედარებით დიდი და მდგრადია.

სხვაგვარად არის წარმოდგენილი ზედაპირული წყლების, წყაროების ტემპერატურა, რომელიც ზამთრის პერიოდში ხშირ შემთხვევაში მიახლოებულია  $0^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურასთან.

საინტერესოა ჩქარი მდინარეების თვისებები. ისინი არამდგრადი სიჩქარეების დროს წყლის ტემპერატურაზე სიჩქარის გავლენით მთელ მის კალაპოტში იდებენ თითქმის ერთნაირ ტემპერატურას.

უნდა აღინიშნოს, რომ მდინარის ტემპერატურა ყველაზე დაბალია ზამთრის დასაწყისში და მაქსიმალურს აღწევს თოვლის დნობის დროს. ამიტომ უნდა გავითვალისწინოთ ის გარემოება, რომ ზედაპირული წყლები ყოველთვის არ ექვემდებარებიან გარემოს ტემპერატურას.

### დამატებითი თბური რესურსები წყალზე

დამატებითი თბური რესურსები წყალზე შეიძლება იყოს: ხახუნის სითბო, წარმოშობილი ტუმბოებში წყლის გავლის პროცესში; მილდენებში ნაკადის გავლის დროს ხახუნისაგან წარმოშობილი სითბო.

თანამედროვე ცენტრიდან ტუმბოების მარგი ქმედების კოეფიციენტი არის 0,75-0,85. აქედან გამომდინარე მექანიკური ენერგიის დაახლოებით 25-15% იხარჯება ტუმბოთი. იგარგება არა გამოყენებით, არამედ გარდაიქმნება თბურ ენერგიად.

თბური ენერგიიდან დაახლოებით 90% გადაეცემა წყალს, რომელიც გაივლის ტუმბოს ბორბალს და კორპუსს. სითბოს 10% იკარგება სატუმბო სადგურის ფართზე ადგილობრივად.

თუ აღვნიშნავთ გამოყენებულ სიმძლავრეს ტუმბოს ღერძის ფარგლებში ასო N-ის და მარგი ქმედების კოეფიციენტ η -ს მეშვეობით, მაშინ სიმძლავრის ნაწილი (ტუმბოსი) დახარჯული წყლის გათბობაზე შეადგენს:

$$\Delta N = 0.9(1-\eta)N = 0.9(1-\eta \times QH / 102\eta) = 0. + (1/\eta - 1) \times QH / 102 \text{ კილოვატი}$$

სითბოს რაოდენობა, რომელიც ტუმბოს კორპუსში სიმძლავრის 90%-მდეა, გამოითვლება გამოსახულებით:

$$\Delta Q_H = \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) 7.6 QH \text{ კმ}^3/\text{საათ წთ},$$

სადაც  $Q$  არის წყლის ხარჯი ლ/წთ;

$H$  – ტუმბოს წესები მეტრებში.

ამასთან დაკავშირებით წყლის ტემპერატურა აიწვეს და იქნება:

$$\Delta t_H = 0.0021 \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) H \text{ გ.}$$

წყლის ნაკადის მოძრაობისას მიღის კედელზე ხახუნის გამო წარმოიქმნება დამატებითი სითბო მიღდენის მთლიან სიგრძეზე და იგი არ არის დამოკიდებული წყლის ტემპერატურაზე.

სითბოს გამოყოფის რაოდენობა მიღის ერთ გრძივ მეტრზე გამოითვლება გამოსახულებით:

$$\Delta Q_{Tp} = \frac{Q \cdot I}{427} \text{ კმ}^3/\text{საათ წთ}$$

ან

$$\Delta Q_{Tp} = \frac{Q \times 1 \times I \times 3600}{427} = 8.43 Q I \text{ კმ}^3/\text{საათ წთ}.$$

სადაც  $\Delta Q_{Tp}$  არის ერთ გრძივ მეტრზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა, კმ/საათი;

$Q$  - წყლის ხარჯი, ლ/წთ;

$I$  - პიდრავლიკური ქანობი.

თბური გაანგარიშება თბოცვლით გამოწვეული ხახუნისაგან ითვალისწინებს პირობით გარემოს ტემპერატურის ზრდის სიდიდით:

$$\Delta t_{Tp} = \Delta Q_{Tp} S,$$

სადაც  $S$  თერმული წინაღობაა.

**პაერის საანგარიშო ტემპერატურა სტეფანწმინდის  
„სამშენებლო კლიმატოლოგიის“ მიხედვით**

მიწის ზედაპირზე წყალსადენის ტრანსპორტირებისათვის გამოყენებული უნდა იყოს მიღი მაქსიმალურად შესაძლო თბოცვლით და გარემოს პაერის ტემპერატურის გათვალისწინებით. ამიტომ საანგარიშო ტემპერატურა ასეთი მიღდენებისთვის უნდა იქნეს მიღებული სტეფანწმინდისათვის აბსოლიტური მინიმუმი  $-34^{\circ}\text{C}$  გარე პაერის ტემპერატურაა, მათ შორის ყველაზე ცივი ხუთდღიური საშუალო  $-14^{\circ}\text{C}$ . მონაცემები მიღებულია მრავალწლიური მეტეოროლოგიური დაკვირვების შედეგად. გარე პაერის საშუალო ფარდობითი ტენიანობა ყველაზე ცივი პერიოდისთვის 13 საათზე 64 %-ია.

**მიწის საანგარიშო ტემპერატურა**

თხრილში მიღის მოწყობის დროს მიწის საანგარიშო ტემპერატურა გამოითვლება და მიიღება, რომ ყველაზე დაბალი ტემპერატურა მიღის ჩაღრმავების დერძულა ხაზის მიხედვით არის 1,25 მეტრი.

**მიღდენის სითბოს დანაკარგების განსაზღვრა-გაანგარიშება**

სითბოს საერთო დანაკარგები მიღდენებში შეიძლება გამოითვალოს ფორმულით:

$$Q = \frac{t_0 - t_c}{s} l,$$

სადაც  $Q$  არის თბოდანაკარგები მიღდენებში, კკ/საათში;

$t_0$  – წყლის საშუალო ტემპერატურა მიღდენის მთელ სიგრძეზე,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_c$  – გარემოს ტემპერატურა მიღდენების განთავსების ზონაში,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$L$  – მიღდენის სიგრძე, 18 000 მეტრი;

$S$  – თერმული წინაღობა თბოგადაცემისა მიღდენით, რაც არის სხვაობა წყლის ტემპერატურასა და გარემოს შორის გრადუსებში, როცა მიღდენის თბოდანაკარგები 1 გრძ/მეტრზე არის 1 კკ/საათში.

**თბოგადაცემა მიღის კედლიდან თბოზოლაციასა და მიწაზე**

თერმული წინაღობა მიღის კედლებიდან (მისი სისქის მიხედვით) გამოითვლება ფორმულით:

$$S_{CT} = \frac{\lg \frac{D}{D_0}}{273\lambda} \partial \text{სო}^0 \text{C} / \partial \delta;$$

სადაც D მილის გარე დიამეტრია, მეტრებში;

D<sub>0</sub> – მილის შიდა დიამეტრი, მეტრებში;

$\lambda$  – თბოგამტარობის კოეფიციენტი; კგ/მ•სთ  $^0\text{C}$  (ცხრილი 10-14).

თუ გამოყენებული გვაქვს ფოლადის მილები სათანადო თბოიზოლაციით, მაშინ SCT სიდიდე შეიძლება არ გამოვთვალოთ და ჩავთვალოთ, რომ იგი ამ შემთხვევაში უდრის 0-ს.

თბოიზოლაციის რგოლისმიერი კვეთის შემთხვევაში თერმული წინაღობის განსაზღვრა შეიძლება ფორმულით:

$$S_{uz} = \frac{\lg \frac{D}{D_0}}{273\lambda} \partial \text{სო}^0 \text{C} / \partial \delta,$$

სადაც D იზოლაციის გარე დიამეტრია, მეტრებში;

D<sub>0</sub> – იზოლაციის შიდა დიამეტრი, მეტრებში;

$\lambda$  – კოეფიციენტი სითბოგამტარობის თბოსაიზოლაციო მასალების მიხედვით მიიღება, კგ/მ•სთ  $^0\text{C}$  (ცხრილი 10-14).

#### ცხრილი 10-14

λ კოეფიციენტის რიცხობრივი გამოსახულება

	მასალა და გრუნტი	საერთო წონა, კგ/მ <sup>3</sup>	სითბოგამტარობის კოეფიციენტი, კგ/მ•სთ $^0\text{C}$	შენიშვნა
1	აზბესტის ცემენტის ფილები და ფურცლები	1900	0,30	
2	აზბესტის ცემენტის თბოიზოლაციის ფილები	300-500	0,08-0,11	
3	ბეტონი	2200	1,10	
4	წიდა ბეტონი	1000-1500	0,35-0,60	
5	გაზობეგონი და პენობეგონი	300-1000	0,11-0,34	
6	ფიბროლიტი პორტლანდცემენტი	250-600	0,10-0,20	
7	სამშენებლო ფოლადი	1850	50	

### გაგრძელება

8	აგური	1700-1800	0,65-0,70	
9	მინაბამბა	200	0,05	
10	მინერალური ბამბა	200	0,06	
11	სამშენებლო თექა	150	0,05	
12	ტორფოსაიზოლაციო ფილები	250	0,065	
13	წილა	500-1000	0,14-0,25	
14	შევსება მშრალი ქვიშით	1600	0,50	
15	შევსება ტუფით და ჰემით	400-600	0,15-0,20	
16	მცენარეული ნიადაგი	1800	1,00	

იმ შემთხვევაში თუ თბოიზოლაციის გარე მოხაზულობა განხორციელდება კვადრატული ფორმით, ხოლო სივრცე წარწერით, მაშინ მისი თბოიზოლაციის მოქმედება შეიძლება მივიღოთ რგოლური იზოლაციის ეკვივალენტურად, გარე დიამეტრით  $D=a \times a$ , სადაც  $a$  კვადრატის გვერდია მეტრებით, ხოლო  $a$  კოეფიციენტი მიიღება 1,08-1,10 ტოლფასი.

თერმული წინადობა თბოგადაცემით იზოტროპული გაყინული გრუნტის გავლით გამოითვლება ფორმულით:

$$S_{TP} = \frac{\lg c}{273\lambda} \partial \times 10^3 C / \partial \beta,$$

სადაც  $\lambda$  თბოგამტარობის კოეფიციენტია გრუნტში და მისი რიცხვითი მნიშვნელობა წარმოდგენილია [2] ცხრილ 10-15-ში,

$$c = \frac{2H}{D} + \sqrt{\frac{4H^2}{D^2} - 1},$$

სადაც  $H$  არის მილის ჩაღრმავება მილის ცენტრის მიწის ზედაპირიდან, მიიღება 1,25მ;

$D$  – გარე დიამეტრი მილის ან თბოიზოლაციის გათვალისწინებით, მეტრებში.

იმ შემთხვევაში თუ ფარდობა  $H/D > 1-1.15$ , მაშინ  $c$  გამოთვლა შეიძლება ემპირიუმით ფორმულით:

$$c = \frac{HH}{D},$$

მაშინ

$$S_{TP} = \frac{\lg \frac{HH}{D}}{273\lambda} \partial \times 10^3 C / \partial \beta.$$

## ცხრილი 10-15

## თბოგამტარობის კოეფიციენტების გამოსახულება გაყინულ გრუნტში

	გრუნტი	მშრალი გრუნტის მოცულობითი წონა, $\text{dm}^3/\text{dm}^3$	გამოსაცვლელი ტემპერატურა, გრადუსი	ტენიანობა %		თბოგამტარობის კოეფიციენტი, $\text{მ}\times\text{ს}\text{თ}^0\text{C}/\text{კ}\text{კ}$
				მოცულობით	წონით	
1	ძლიერ შეგუმშული ქვიშა	1040	0.2	10	7	1.42
2	ზღვის ქვიშა	1585	<0	27.5	14	2.40
3	ქვიშა კარიერის და მდინარის	1520	2	10 - 15	7 - 10	1.95
4	ქვიშა კარიერის და მდინარის	1520	2	22	15	2.10
5	ქვიშა კარიერის და მდინარის	1460	2	40	28	2.40
6	ქვიშა-ხრეში	1460	<0	16	10	2.25
7	ტენიანი თიხა	1460	2	15	10	2.55
8	ტენიანი თიხა	1460	2	22	15	2.75
9	ტენიანი თიხა	1460	2	33	22	2.85
10	ტენიანი თიხა	1460	2	40	28	2.90
11	ტენიანი თიხა	1460	2	50	35	3.00

## თბოცვლა მიწის ზევით მოწყობილი მილდენებისა გარემოს ტემპერატურის გათვალისწინებით

ჩვენს შემთხვევაში თბოცვლის თერმული წინაღობის გათვალისწინებით რადიაციის მიხედვით, შეგვიძლია ვისარგებლოთ გამოსახულებით:

$$S_{\text{ჰაერის}} = 1/(\pi D(k + 4)) \text{ მ}\times\text{ს}\text{თ}^0\text{C}/\text{კ}\text{კ},$$

სადაც  $D$  მილდენის ან თბოიზოლაციის გარე დიამეტრია მეტრებში;

$K$  – თბოგადაცემის კოეფიციენტი კონვექციით, მისი რიცხვითი მნიშვნელობა დამოკიდებულია დასაგეგმარებელ ადგილზე ქარის გავრცელების სიჩქარეზე და მილის ქარისაგან დაცვის ხერხზე. კერძოდ, თუ ქარის სიჩქარე აღნიშნულ გარე-მოში შეადგენს 5  $\text{მ}/\text{წ}-\text{შ}_0$ , მაშინ  $k=2,2$ , ქარის სიჩქარის დროს 15  $\text{მ}/\text{წ}-\text{შ}_0$   $k=45$ .

### 3. დასტვა

ქვემოთ მოყვანილი საანგარიშო ფორმულები ითვალისწინებს წყლის ტემპერატურის დადგენას მიღდენში მოძრავ ნაკადთან შედარებით, მარტივი პირობების გათვალისწინებას თბური გაანგარიშების ჩატარებისას. კერძოდ:

1. მიღდენი მოწყობილია და განთავსებულია ისეთ გარემოში, სადაც ტემპერატურა შენარჩუნებულია უცვლელად მიღდენის მთელ სიგრძეზე.
2. მიღდენის თბოიზოლაცია ხასიათდება თერმული  $S = \sum S_T = const$  ანუ წინაღობა შენარჩუნებულია მიღდენის მთელ სიგრძეზე.
3. წყლის რაოდენობა მიღდენებში  $Q_0$  დარჩენილია უცვლელი დროსა  $t$  და მთელ სიგრძეზე.

ტემპერატურული რყევა მიღდენებში განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\Delta t = (t_1 - t_c)a_1 = (t_2 - t_c)a_2 \dots$$

$$a_1 = 1_t - e^{-B} ; a_2 = e^B - 1 ; B = 0.278 \frac{L}{SQ_0} ;$$

სადაც  $t_1$  და  $t_2$  არის წყლის ტემპერატურა დასაწყისში და მიღის ბოლოში.

$L$  – მიღდენის სიგრძე, კმ. (ჩვენი წყალსადენი - 18 კმ.);

$S$  – თერმული წინაღობა, მ•სო<sup>0</sup>С/კმ;

$Q_0$  – წყლის ხარჯი, ლ/წმ.

$B = 0.278 \frac{L}{SQ_0}$  არის ტემპერატურული კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობები და ხშირად გვხვდება გაანგარიშების დროს, ამიტომ იგი მოგვყავს უცვლელად ან ანგარიშის გაადვილების მიზნით [1] ცხრილი 10-16-ის სახით.

#### ცხრილი 10-16

B	$e^B$	$e^{-B}$	B	$e^B$	$e^{-B}$	B	$e^B$	$e^{-B}$
0.00	1.000	1.000	0.45	1.568	0.637	1.30	3.600	0.272
0.05	1.051	0.951	0.50	1.648	0.606	1.40	4.060	0.246
0.10	1.105	0.905	0.60	1.820	0.546	1.50	4.500	0.220
0.15	1.162	0.861	0.70	2.013	0.496	1.60	4.950	0.200
0.20	1.221	0.819	0.80	2.225	0.449	1.70	5.550	0.180
0.25	1.284	0.779	0.90	2.461	0.406	1.80	6.050	0.170
0.30	1.350	0.741	1.00	2.718	0.367	1.90	6.630	0.150
0.35	1.415	0.704	1.10	3.000	0.332	2.00	7.390	0.140
0.40	1.492	0.670	1.20	3.320	0.301			

მიახლოებითი ანგარიშების დროს შეგვიძლია მივიღოთ ფორმულა:

$$a_1 = B \left( 1 - \frac{B}{2} \right); \quad a_2 = B \left( 1 + \frac{B}{2} \right);$$

თუ  $B < 1$ , ვიდებთ  $a_1 = (a_2 = B)a_1 = B = 0.024$ .

იმ შემთხვევაში თუ მიღის ჩაღრმავება  $H = (0.7 - 1.0)D$ .

მაშინ  $tC$  ვიდებთ მინიმალურს, მიახლოებით ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურამდე.

განვსაზღვროთ გაყინვის დრო მიღდენში წყლის ნაკადის უმოძრაობის დროს ყინულის აპერის (ქერქის) წარმოქმნისას მასში ნაკადის უმოძრაობის დროს მიღის დიამეტრი მიახლოებით შეიძლება განვსაზღვროთ ფორმულით:

$$t_{dry} = 62800 \frac{s}{t_c} (D_0 - d^2) b_m,$$

სადაც  $S$  თერმული წინაღობაა;

$t_c$  – გარემოს უარყოფითი ტემპერატურა, სადაც განთავსებულია მიღდენი (საპროექტო), ჩვენს შემთხვევაში  $t_c = -34^{\circ}\text{C}$ .

$D_0$  – მიღდენის შიდა დიამეტრი მეტრებში.

$D$  – ყინულის წარმოქმნილი ქერქის შიდა დიამეტრი, მეტრებში.

სრული გაყინვის დროს  $d=0$ .

### მაგალითი №1

განვსაზღვროთ წყლის ტემპერატურა წყალსადენის ბოლოს ძირითადად მიღდებული საანგარიშო მაჩვენებლების რიცხვითი მნიშვნელობების გათვალისწინებით – წყლის მინიმალური საანგარიშო ტემპერატურა მივიღეთ  $t_l = +0.6^{\circ}\text{C}$ , გარემოს მინიმალური ტემპერატურა  $t_c = -2^{\circ}\text{C}$  [საშუალოდ მიღებულია ქვიშიანი ნიადაგი ტენიანობით  $\phi = 22^{\circ}\text{C}$  (წონით)], მიღსადენის სავარაუდო ნაკადი  $d_B = 250$  მმ,  $Q_0 = 30$  ლ/სთ. წყალსადენის სიგრძეა 18 კმ. მიღის კედლის სისქეა 4 მმ, ფოლადის მასალა. მაგალითით მიღის ჩაღრმავება არის  $H = 2.0$  მ. ჩვენ უნდა მივიღოთ თხრილის სიღრმის ეკვივალენტური მოზვინვის სიმაღლე, თუმცა 2 მეტრი საკმაოდ მაღალია მიწის ზედაპირიდან. მივიღოთ დაახლოებით  $H = 1.5$  მ, საყრდენების სიღრმე  $H = 0.5$  მ. ჩავაღრმავოთ და საერთო სიმაღლე გამოვა  $H = 2.0$  მეტრი.

UDC 628.4

## CALCULATION OF SANITARY PROTECTION ZONES

**L. Klimiashvili, K. Gordeziani, A. Bagration-Davitashvili, G. Soselia**

(Georgian Technical University)

**Abstract:** *There is reviewed the report on Sanitary Protection Zones is reviewed by the Parliament's normative act in the field of environmental protection (Tbilisi 2000), and according to the Water Law of Georgia (Section II, Chapter II, Article 21). According to hydrogeological features of ground-water, which should be considered during analysis of test-filtration results of the works and defining main hydrogeological parameters. The calculation is carried out by E. Minkin, N. Lapshin and A. Oradanovskaya's methodology, based on the sanitary - hydrogeological parameters. Based on the above-mentioned, we consider it appropriate to use the calculation in engineering practice.*

**Key words:** *sanitary protection zones, test-filtration works, determination of hydrogeological parameters, type of hydrogeological conditions, natural flow of underground waters, water intake.*

### 1. INTRODUCTION

According to the normative act of the Parliament of Georgia in environmental sphere (Tbilisi 2000), and according to the Water Law of Georgia (Section II, Chapter II, Article 21)

"The general purpose water should have a sanitary protection zone for the surface and ground-water supply structures from which it fed."

According to hydrogeological features of ground-water, which should be considered during analysis of test-filtration results of the works and defining main hydrogeological parameters, it is advisable to specify hydrogeological conditions taking into consideration the following principles.

- The natural flow of the underground waters is directed from water source to the river;
- The natural flow of the underground waters is directed from river to the water source;
- The natural flow of ground-water does not take part in the process of formation;
- The natural flow of ground-water moves across the river.

## 2. THE BODY OF THE ARTICLE

At the same time, it is of principle importance to what type of water intake we have: the coastal, or isolated from the river, or isolated from the surface stream and reservoirs type.

Depending on these principles, first of all it is necessary, to take into account the above-mentioned conditions, defined type of source and calculated sanitary protection zones, based on relevant methodical guidelines. Sanitary protection area consists of 3 zones:

I zone - Strict regime area covering the area-where water supply structure is located in 15 m radius;

II and III zones - Limiting zone.

The distance from the II zone to the water intake the determining parameter T microbial calculating time, which is enough to treat the stream from pathogenic microbes. This time is 400 days and marked T = 400 days.

The III zone is designed to protect ground-water from chemical pollution.

The timing of water pollution from sanitary protection zone to the water zone (T chemical) .

Consequently, when during designing intake structure of ground-water and it's exploitation, we will take 3 zones: I, II and III.

Thus: I zone is a girdle-strict regime zone, that covers the area with the radius of 15 m; The II zone is calculated for 400 days of water flow, and III zone - for 10 000 days of water flow.

The calculation of the II and III zones is carried out by E. Minkin, N. Lapshin and A. Oadanovskaia's methodology, based on the sanitary - hydrogeological parameters.

Based on the above-mentioned, we have the conditions, when the natural underground flow is directed towards the river. In this case we use formulas:

$$X_B = X_O \sqrt{1 - Q/\pi X_O q} \quad (1)$$

Where:

X<sub>B</sub> - is a watershed coordinate,

$X_o$  – is distance from river to water intake structure in meters,

$Q$  – is debit of water intake structure,

$q$  – specific debit of the flow.

This formula acts, when the water intake's expenditure is relatively low:

$$Q \leq \pi \times X_o \times q \quad (2)$$

The length of the sanitary protection zone ( $R$ ) in the direction of river level is determined by the estimated time ( $T$ ):

$$T = \frac{mn}{q} \left[ R - \frac{X_o - X_B}{2X_B}^2 \ln \frac{X_o + R / (X_o - X_B)}{X_o + R / (X_o + X_B)} \right] \quad (3)$$

Where  $m$  is the capacity of the water layer (meters), and  $n$  is the activity of the rock's pores.

$$R = \frac{qT}{2mn} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4mnX_o}{qT}} \right) \quad (4)$$

The length of the sanitation protection zone is determined by the river flow direction:

$$T = \frac{mn}{q} \left[ R - \frac{X_o - X_B}{2X_B}^2 \ln \frac{X_o - \tau(X_o + X_B)}{X_o - \tau(X_o - X_B)} \right] \quad (5)$$

Where  $\tau$  is the length of sanitary protection zone down from the water intake structure.

The space of sanitary protection area is calculated by the formula:

$$F = QT/mn \quad (6)$$

The sanitary protection zone width:

$$d_{max} = Q/2q \quad (7)$$

$$q = kmi \quad (8)$$

where  $i$  is slope

In the case of N1 source, the parameters of formula include:

$X_o=100$

$Q=2000\text{m}^3/\text{day}$ ,

$m=30\text{ m}$ .

$k=30\text{ m/day}$ ,

$n=0.25$ ,

$i=0.001$

By submitting them to the appropriate formula:

$$q = kmi = 30 \times 30 \times 0.001 = 0.9 \quad \text{m}^2/\text{day}$$

$$q = \frac{3.14 \times 100 \times 0.9}{2000} = 0.14$$

$$T = \frac{2000 \times 400}{3.14 \times 30 \times 0.25 \times 100^2} = 3.4 \quad (T = 400\text{ day})$$

$$T = \frac{2000 \times 1 \times 10^4}{3.14 \times 30 \times 0.25 \times 100^2} = 85 \quad (T = 1 \times 10^4 \text{ day})$$

In this case  $n = X_0 = 100$  m.

This is the length of the II zone from I zone in the direction of the river motion,

Concerning the distance from the second zone in the direction of the reverse flow of the river, it is calculated as follows:

$$Rq = \frac{0.9 \times 400}{30 \times 0.25} = 48 \quad (T = 400 \text{ day})$$

$$Rq = \frac{0.9 \times 1 \times 10^4}{30 \times 0.25} = 1200 \quad (T = 1 \times 10^4 \text{ day})$$

$$T = \frac{0.9 \times 400}{30 \times 0.25 \times 100} = 0.48 \quad (T = 400 \text{ day})$$

$$T = \frac{0.9 \times 1 \times 10^4}{30 \times 0.25 \times 100} = 12 \quad (T = 1 \times 10^4 \text{ day})$$

Accordingly,

$$\Delta R = 1.25 \quad \text{and} \quad \Delta R = 1.25 \times 100 = 125 \quad (T = 400 \text{ day})$$

$$\Delta R = 3 \quad \text{and} \quad \Delta R = 3 \times 100 = 300 \quad (T = 1 \times 10^4 \text{ day})$$

The total length of the II and III zones is:

$$L = 100 + 170 = 270 \quad (T = 400 \text{ day})$$

$$L = 100 + 1500 = 1600 \quad (T = 1 \times 10^4 \text{ day})$$

The total length sanitary protection zones is:

$$d=1.6 \quad (T = 400 \text{ day}), \quad d=5 \quad (T=1.10^4 \text{ day})$$

Accordingly,

$$d = 1.6 \times 100 = 160 \text{ m},$$

$$d = 5 \times 100 = 500 \text{ m}.$$

Thus the N1 source sanitary zones are:

I zone with 50 m. radius is N1 diameter.

II zone in the direction of river flow is 100 m, up the river is 170 m.

III zone in the direction of river flow is 100 m, up the river is 1500 m.

The width of the II zone is 160m and III zone – 500 m.

For the N2 source sanitary zone boundaries frontal group are:

The border of I zone is located in the radius of 50 m from the farthest point.

$$X_0 = 150 \text{ m}, Q = 500 \text{ m}^3/\text{day}, m = 30 \text{ m}, K = 30 \text{ m/day}. n = 0.25, i = 0.001$$

By submitting them in appropriate formalities we obtained:

$$q = \frac{3.14 \times 150 \times 0.9}{500} = 0.85$$

$$T = \frac{500 \times 400}{3.14 \times 30 \times 0.25 \times 150^2} = \frac{200000}{530000} = 0.38 \quad (T = 400 \text{ day})$$

$$T = \frac{500 \times 1 \times 10^4}{3.14 \times 30 \times 0.25 \times 150^2} = \frac{5 \times 10^6}{530000} = 9.4 \quad (T = 1 \times 10^4 \text{ day})$$

In terms of T and q's mean values n = 0.4 or 60 meters, i.e. the Border Sanitary Zone II Line is about 60 meters from the Sanitary Zone I. As for the sanitary zone II the border in the up direction of river flow, it is calculated as follows:

$$Rq = \frac{0.9 \times 400}{30 \times 0.25} = \frac{360}{7.5} = 48 \quad (T_m = 400 \text{ day})$$

$$Rq = \frac{0.9 \times 1 \times 10^4}{30 \times 0.25} = 1200 \quad (T_X = 1 \times 10^4 \text{ day})$$

$$T = \frac{0.9 \times 400}{30 \times 0.25 \times 150} = \frac{360}{1125} = 0.32 \quad (T_m = 400 \text{ day})$$

$$T = \frac{0.9 \times 1 \times 10^4}{30 \times 0.25 \times 150} = \frac{9000}{1125} = 8 \quad (T_X = 1 \times 10^4 \text{ day})$$

Accordingly,

$$\Delta R = 0.8 \text{ m.}$$

$$\Delta R = 0.8 \times 150 = 120 \text{ m.}$$

$$\Delta R = 1.3 \text{ m.}$$

$$\Delta R = 1.3 \times 150 = 195 \text{ m.}$$

Afterwards  $R = 48 + 120 = 168 \text{ m}$  ( $T_m = 400 \text{ day}$ )

$$R = 1200 + 195 = 1395 \text{ m} \quad (T_X = 1 \times 10^4 \text{ day})$$

The total length of II and III is  $L = 150 + 168 = 318 \text{ m}$ .  $L = 150 + 1395 = 1545 \text{ m}$ .

The width of the sanitary zone is:  $d=1$  ( $T_m = 400 \text{ day}$ ) and  $d=2,1$  ( $T_X = 1 \times 10^4 \text{ day}$ )

Accordingly, the width of the II zone is 1d, or 150 m and III -  $2,1 \times 150 = 315 \text{ m}$ .

### 3. CONCLUSION

Thus the borders of the sanitary zones for the N2 front-line group of sources are as follows:

I zone is in the 50 m radius from the outlying sources. The border of II zone passes (in the direction of river flow) in the length of 150 m.

In the up direction of river at 168 m. The borders of III zone are accordingly 150 m and 1395 m. The width of II zone is 150 m, III - 315 m.

In the area of sanitary protection zone, I shall be prohibited:

Conducting construction works, that have no connection with the exploitation, reconstruction and expansion of the water object; Use of toxic chemicals, fertilizers and conducting all the measures are undertaken below II zone.

In II zone area the following activities are provided: Agreement on the implementation of all new construction works with local self-government, sanitary service and geological control bodies; It is prohibited to discharge wastewaters (recycled) in underground horizons, storage of solid waste underground; Land cultivation; Deployment of fuel-milling materials, toxic chemicals, mineral fertilizers, insulating plants; Graveyards, cemeteries, spare tranches, goods, or poultry farms and other objects, that can cause chemical or microbial contamination.

In the area of III zone, the following efforts should be taken:

To evinced, identified and liquidated unsuitable and unused bore wells, as potential sources of pollution. It is prohibited to pump contaminated waters in underground horizons, disposal of industrial waste reservoirs, storage of lubricants and washing materials, storage of poisons and other pollutants.

შაბ 691.175.5/8

539.422.52

## პომალზიციური მასალის ასპექტები

ლ. კლიმიაშვილი, დ. გურგენიძე, ა. ჩიქოვანი

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** ხიტყვა კომპოზიტი წარმოდგება ინგლისური composite-საგან. მას აქვს განარტება. პირველ რიგ ში ის აღნიშნავს „ნარჯეს“, მეორე ში – „შედგენილს, როგორც“ კომპოზიციური მასალა წარმოდგენს ნარჯეს, რომელიც შედგება ორი ამ მეტი მასალისაგან. „კომპოზიციურ მასალა ში“ იგულისხმება არა მარტო მრავალფაზიანი სტრუქტურა, არამედ ახელ კომპონენტების შერწყმის გარკვეული ტექნოლოგია.

**საკვანძო სიტყვები:** კომპოზიტი, მატრიცა, ფაზა, ბოჭქო, პოლიმერი, თერმორეაქტიული, თერმოპლასტი, სტრუქტურა, ანიზოგროპია, პრეპრეგი, აპრეტი.

### 1. შესავალი

ამჟამად ხდება პოლიმერული კომპოზიტის წარმოების სწრაფი ზრდა, მისი შეჭრა ტექნიკის სულ სხვადასხვა სფეროში. ის წარმატებით ცვლის ბევრ ტრადიციულ მასალას: ლითონს, კერამიკას, მინას, მერქანს და პოლიმერს. შესაბამისად იზრდება გამოგონებებისა და ახალი ტექნოლოგიების, სამეცნიერო პუბლიკაციების რიცხვი, რომლებიც ეძღვნება ახალი კომპოზიციური მასალის შექმნის პრობლემებს. ამ პრობლემებით დაკავებულია სპეციალისტების და მათი მომზადებისათვის საჭირო სასწავლო დაწესებულების რაოდენობა.

პოლიმერული კომპოზიტის რეკორდული მახასიათებლებით მოხიბლულია სამეცნიერო და პოპულარული ლიტერატურის მკითხველი. ავანგარდშია აეროკოსმოსური და სპორტული ტექნიკა, შემდეგ კი მრეწველობის, მშენებლობის, სოფლის

მეურნეობის და სხვა დარგები, სადაც მიღწეულია სულ ახალ-ახალი ეფექტები სიმტკიცეში, სიმსუბუქეში, ტექნოლოგიურობაში, კოროზიამედეგობაში და ა.შ.

## 2. პირითადი ნაწილი

არ შეიძლება ვამტკიცოთ, რომ პოლიმერის კომპოზიტი XX საუკუნის მეორე ნახევრის აღმოჩენაა, რადგან რეზინა – კლასიკური პოლიმერული კომპოზიტი – აღმოჩენილი იყო XIX საუკუნის შუა წლებში. პირველი სინთეზური პლასტიკი – ფენოლფორმადეპიდური ფისი – შეურიეს მინერალურ ფხვნილს აღმოჩენისთანავე. თანამედროვე კომპოზიტების ძიებას მივყავართ სამყაროს წარსულში. ბიბლიაში აღწერილია თივით არმირებული ალიზის აგურის მიღების ტექნოლოგია. არქეოლოგიური გათხრები გვიმტკიცებს, რომ ლერწამს და მერქანს უდენონენ ბუნებრივი ფისებით 5000 წლით ადრე ჩვენს წელთაღრიცხვამდე. ჩინეთში კაოლინს იყენებდნენ 1000 წლით ადრე ჩვ. წ. აღ-მდე. XIX და XX საუკუნის მიჯნაზე კი ბუნებრივი შემავსებლების – კარბონატების, თალკის, ლითონის ოქსიდების, აზბესტის, მერქნის ფქვილის, ცელულოზის გამოყენება დაიწყეს თავდაპირველად ბუნებრივ და მერე სინთეზურ პოლიმერებთან კომბინაციაში.

პოლიმერულ კომპოზიტში მინის ბოჭკო გამოიყენეს როგორც კი დაიწყო მისი სამრეწველო წარმოება და უკვე მეორე მსოფლიო ომის დროს მისგან დაამზადეს ავიაციის სამოსი და მილი. ასევე გამოიყენეს ბაზალტის ბოჭკო და უკვე XX ს. 60-იანი წლებიდან სინთეზურმა შემავსებელმა უზრუნველყო არაჩვეულებრივი კომბინაციური თვისებების კომპოზიტების მიღების შემდგომი პროგრესი.

ბორის ბოჭკო გამოჩნდა 1959 წელს, არამიდური მაღალი სიმტკიცის ბოჭკო კევლარი შექმნა ფირმა „დიუპონმა“ (აშშ) 60-იან წლებში. უჟანგავი ფოლადის მოკლე ბოჭკო ელექტროგამტარი კომპოზიტისათვის და ამავე მიზნისათვის ნიკელით დაფარული ქარსის ნაწილაკები, სამრეწველო პრაქტიკაში გამოიყენება 80-იანი წლების დასაწყისიდან. შემვსებთან ერთად აქტიური გახდა ზედაპირულ-აქტიური ნივთიერების მოძიება, რომელმაც უნდა უზრუნველყოს უკეთესი ურთიერთობა შემვსებსა და მატრიცას შორის. შუალედური ნივთიერების გამოყენება ორ შეუთავსებელ ნივთიერებას შორის ურთიერთქმედების გასაუმჯობესებლად ჯერ კიდევ პლატონმა დაასაბუთა. სილანური აპრეტის (ნივთიერების) სფეროს დიდმა სპეციალისტმა ე. პლიუდემანმა დიდი ფილოსოფოსის შრომებში აღმოაჩინა შეთავსე-

ბადობის კონცეფცია, რომელიც მას დასჭირდა, რათა აეხსნა, რომ სამყარო შეიძლებოდა შექმნილიყო შეუთავსებელი კომპონენტებისაგან (მიწა, წყალი, ჰაერი, ცეცხლი). პლატონის სამყაროს სამი პირველი კომპონენტი გამოიყენება პოლიმერულ კომპოზიტში, ხოლო ცეცხლის მოსათვინიერებლად (უწვადობის მიღწევის მიზნით) ახლაც მუშაობს მრავალი მკვლევარი. სილანური აპრეტი შეიქმნა მინაპლასტიკთან ერთად და დიდხანს ეკავა დომინირებული როლი. კალციუმის სტეარიტის პლასტ-მასში დამატება დაიწყეს XX საუკუნის დასაწყისიდან. 1975 წელს კი მსოფლიო ბაზარზე გამოჩნდა სილანის კონკურენტი – ორგანული ტიტანატი და შემდეგ ორგანული ცირკონატი.

შემვსების და მოდიფიკატორის განვითარების ისტორია მეტად საინტერესოა. ყურადღება მივაქვით იმ ფაქტს, რომ ეს პროცესი პრაქტიკულად არ შეხებია პოლიმერულ მატრიცას. როგორც კი მოახდინეს მისი სინთეზი, თითქმის მაშინვე მასში შეიყვანეს სხვადასხვა შემვსები. თავდაპირველად ეს იყო თერმორეაქტიული ფისი, რომელიც ნაკლებად ბლანტი სითხის სახით შედარებით ადვილად ერევა შემვსებს ან ჟღენოს მას. XX-ს. 30-იან წლებში შემვსები შეიყვანეს ცელულოზის ეთერში, შემდეგ კი პოლივანილქლორიდში (პვქ). მეორე მსოფლიო ომის შემდეგ თერმოპლასტებმა პლასტიკების წარმოებაში დაიკავეს დომინირებული მდგომარეობა. ამ მიზნით ბოლო დრომდე გამოიყენება საწარმოო პოლიმერები. კომპოზიტების წარმოებამ შექმნა მრავალი სამეცნიერო და ტექნოლოგიური პრობლემები.

მეცნიერების განვითარება ხდება ცოდნის თანდათანობითი დაგროვებისა და რევოლუციური გარდაქმნების მონაცვლეობით. ფიზიკაში ასეთი გადატრიალება მოხდა XX საუკუნის დასაწყისში, როცა გაჩნდა თანამედროვე კვანტური ფიზიკა. მასალათა მეცნიერებაში ეს მოხდა 60-იან წლებში. ევროპულ ლიტერატურაში ამ გადატრიალებამ მიიღო სახელწოდება „რევოლუცია მასალათმცოდნეობაში“. ამ რევოლუციამ მიგვიყვანა მთელი რიგი ახალი მასალის აღმოჩენასთან – პოლიმერები, კერამიკა, ლითონი, ბოჭკოვან და შემაგრებლიან კომპოზიციურ მასალებთან, აგრეთვე ზედაპირული დაფარვის მასალებთან. როგორც წესი, აუცილებელი გახდა ახალი მასალის მეცნიერული კვლევა და, როგორც ამერიკელები თვლიან, ამჟამად დაახლოებით ყოველი მესამე მეცნიერი მუშაობს მასალების შექმნაზე.

მასალების დაყოფა შეიძლება ოთხ ძირითად კლასად, ესაბამის ლითონები, კერამიკა, პოლიმერი და კომპოზიციური მასალები. შესაბამისად მასალების მეცნიერებაც დაიყო ოთხ ცალკეულ მაცნიერებად. 1960 წლამდე განუწყვეტლივ იზრდე-

ბოდა ლითონების როლი, მაგრამ შემდეგ დაიწყო მისი შემცირება და გაიზარდა პოლიმერული, კომპოზიციური და კერამიკული მასალების წილი.

აშშ-ის და ევროპის ქვეყნების უნივერსიტეტებში ფიზიკის, ქიმიისა და ბიოლოგიური ფაკულტეტების გვერდით შეიქმნა პოლიმერების, ლითონების, კერამიკისა და კომპოზიციური მასალის ფაკულტეტები.

კომპოზიციური მასალების ტექნოლოგიისა და მექანიკის მეცნიერება გაჩნდა XX-ს. 40-იანი წლების დასაწყისში და განვითარდა ძალიან სწრაფად.

ამ ხნის განმავლობაში შეიცვალა მრეწველობის მრავალი დარგი, რომელიც კომპოზიციური მასალის მომხმარებელია. შესაბამისად შეიცვალა, უფრო ზუსტად, გაფართოვდა იმის წარმოდგენა, თუ რა არის კომპოზიციური მასალა.

70-იან წლებში კომპოზიტების ძირითადი მომხმარებელი იყო კოსმოსური და სამხედრო მრეწველობა. 80-იანი წლების მეორე ნახევარში პირველ ადგილზე გავიდა სპორტული ინვენტარის წარმოება. პროფესიონალი ველომრბოლელისათვის არ არის მნიშვნელოვანი რა დირს მისი ველოსიპედი. მთავარია, რომ ის იყოს მსუბუქი და სწრაფი. როგორც კოსმონავტიკაში, ისე სპორტულ ინდუსტრიაში ძირითადი ამოცანაა მასის შემცირება და ტექნიკური მახასიათებლების ამაღლება. ესაა კომპოზიტის ძირითადი უპირატესობა. ტრადიციულად ამ დარგში არცოუ მიღებულია ფულის დათვლა. ეს ეხება, მაგალითად, უკანასკნელი თაობის სამოქალაქო ავიაციის თვითმფრინავს, ბოინგ-787-ს (დრიმლაინერი), რომელიც თითქმის ნახევარი ნახშირპლასტიკისაგან შედგება. ამ შემთხვევაში საწვავის ეკონომიკო მოგება აჭარბებს ძვირი მასალის გამოყენების ხარჯებს.

ბოლო დროს სიტუაცია პრინციპულად შეიცვალა და კომპოზიციური მასალის ძირითადი მომხმარებელი გახდა საავტომობილო მრეწველობა, სადაც მისგან ამზადებენ ავტომობილების კორპუსს. კომპოზიტის (ძირითადად მინაპლასტიკის) გამოყენების ძირითადი მიზანია თვითღირებულების შემცირება. უტრიორებულად, საავტომობილო დარგში უკეთესია მასალა, თუ მისგან დამზადებული მასალა იაფია. ამასთან, ზოგჯერ იაფია არა მასალა, არამედ დეტალის დამზადება. ხშირად კომპოზიტის ერთ-ერთი ძირითადი უპირატესობაა დეტალების დამზადების სიმარტივე და სიიაფე. საავტომობილო მრეწველობასთან ერთად კომპოზიტი ფართოდ გამოიყენება მცირე ზომის გემებში. დედამიწის მოსახლეობის დაახლოებით 20% ცხოვრობს ზღვის პირას, დიდი ნაწილი – მდინარეებთან, რომელთაც ასევე სჭირდებათ ნავი, კატერი და პატარა იახტა. განვითარებულ ქვეყნებში ნავებს აღარ თლიან ხისაგან

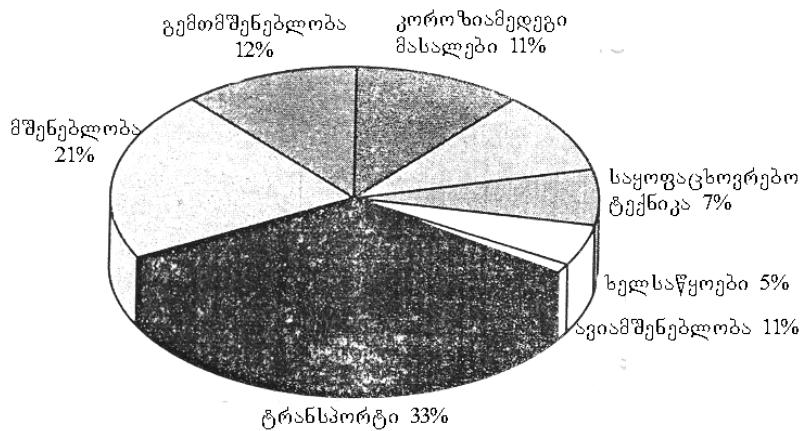
და არ ადუდებენ ფოლადის ფურცლებისაგან, არამედ ამზადებენ მინაპლასტიკის დაფრქვევით. ასეთი ნავის კორპუსი არ იუანგება. დაფრქვევის პროცესი მარტივია და არ სჭირდება რეგულარული შედებვა.

ავტომობილის შექმნაში ბოჭკოვანი კომპოზიტი კონკურენციას უწევს ლითონს. დიდი რაოდენობის ავტომობილის გამოშვება იაფია ლითონის კორპუსით. მისი წარმოებისათვის საჭიროა მძლავრი წნევი და ძვირი წნევეფორმა, რომელთა გამოყენება ეკონომიურად გამართლებულია მხოლოდ დიდი რაოდენობის წარმოების დროს. ამიტომ ამჟამად ლითონისაგან მსუბუქი ავტომობილის კორპუსს აკეთებენ მაშინ, თუ მისი რაოდენობა აღემატება 100 000 ცალს წელიწადში. ნაკლები წარმოებისას იაფია მინაპლასტიკი.

გამოყენებისა და მოთხოვნილების პრინციპულ განსხვავებასთან დაკავშირებით კომპოზიციური მასალები იყოფა ორ დიდ ჯგუფად. მათ ეწოდებათ „ფართო მოხმარების კომპოზიტი“ და „მაღალი სიმტკიცის“ ან „მოწინავე“ კომპოზიტი. ისინი განირჩევიან როგორც ბოჭკოს და მატრიცის ტიპით, ასევე დამზადების ტექნოლოგიით. ბუნებრივია, მკაცრი საზღვარი მათ შორის არ არის.

მაღალი სიმტკიცის კომპოზიტში გამოიყენება უწყვეტი ბოჭკო და მტკიცე, მათ შორის თერმომედეგი მატრიცა. მაღალი სიმტკიცის კომპოზიტი გამოიყენება აეროკოსმოსურ მრეწველობაში, სასპორტო ტექნიკაში და მანქანათმშენებლობაში, ხოლო ფართო გამოყენების კომპოზიტი – ნავებში, კატარლებში, სანტექნიკაში, კოროზიამედეგ მილებში, საოჯახო ნივთებში, კონტეინერებში, ავეჯსა და მუსიკალურ ინსტრუმენტებში. უკანასკნელ წლებში სწორედ ამ კომპოზიტებმა მოიპოვა ლიდერობა. მაღალი სიმტკიცის კომპოზიტის წარმოებაც გაიზარდა, მაგრამ უფრო ნაკლებად. ბოჭკოვანი კომპოზიტის გამოყენებას ტექნიკის სხვადასხვა სფეროში, გვიჩვენებს ნახ. 1. მისი ძირითადი მომხმარებელია ტრანსპორტი, სამშენებლო ინდუსტრია, გემთმშენებლობა, სხვადასხვა ელექტროხელსაწყო და კოროზიამედეგი მასალები.

კომპოზიტის კლასიფიცირებას ასევე ახდენენ გამოყენებული პოლიმერული მატრიცის ტიპის მიხედვით. პოლიმერული მატრიცა იყოფა რეაქტოპლასტად (თერმორეაქტიული ფისები) და თერმოპლასტად. რეაქტოპლასტი – ესაა თხევადი ფისი, შედარებით ნაკლები მოლეკულური მასით, რის გამოც გაცხელების მდგომარეობაში ის ადვილად უდენოს ბოჭკოს. რეაქტოპლასტი გამაგრების პროცესში ქმნის განივ ნაკერს და თანდათანობით გარდაიქმნება მტკიცე მასალად. მისი ძირითადი ნაკლია სიხისტე.



### ნახ. 1. ბოჭკოვანი კომპოზიტის სხვადასხვა ტექნიკაში გამოყენება

თერმოპლასტი გაცხელებისას დნება, როგორც ყინული ან ლითონი, და თხევადი სახით ჟღენთს ბოჭკოს. შემდეგ მას აცივებენ და ის მაგრდება. თერმოპლასტის მაგალითია დაბალი სიმკვრივის პოლიეთილენი, რომლისგანაც ამზადებენ პურის და სხვა პროდუქტის შესაფუთხოებას.

ყველა პოლიმერის განსაკუთრებულობაა მისი დინების სიბლანტის ძალიან დიდი ზრდა მოლეკულური მასით, ე. ი. გრძელი პოლიმერული ჯაჭვით, რომლის ილუსტრაცია მოცემულია ნახ. 2-ზე ჯაჭვის მცირე სიგრძის დროს სიბლანტე მოლეკულური მასის პროპორციულია, მაგრამ პოლიმერებში ის აღწერილია ფორმულით:

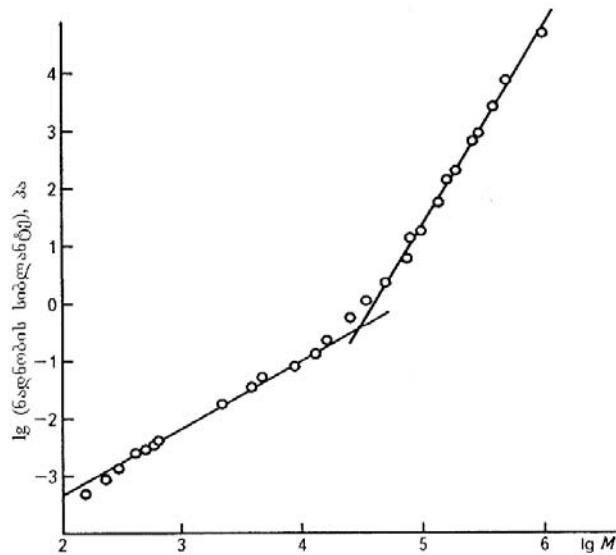
$$\eta = AM^{3.5}, \quad (1)$$

სადაც  $M$  პოლიმერის მოლეკულური მასაა.

(1) განტოლების მიხედვით პოლიმერის მოლეკულური მასის 10-ჯერ გაზრდით მისი დინების სიბლანტე იზრდება დაახლოებით სამიათასჯერ. მაღალი მოლეკულური მასის გამო თერმოპლასტიკს აქვს მაღალი სიბლანტე და მით ბოჭკოს გაუღენთა გაცილებით ძნელია, ვიდრე დაბალი სიბლანტის ფისით. ესაა თერმოპლასტიკური მატრიცის ძირითადი ნაკლი.

პოლიმერი გამოიყენება როგორც უარმატურო სახით, ასევე მატრიცის სახით კომპოზიტში. პოლიმერების მთელ მოცულობაში თერმოპლასტის წილი დაახლოებით 80%-ია, დანარჩენი 20% კი მოდის რეაქტოპლასტებზე. თერმოპლასტი ძირითადად უარმატურო სახით გამოიყენება. კომპოზიციურ მასალებზე მოდის პოლიმერე-

ბის საერთო წილის დაახლოებით 20%. ამ სექტორის ჩარჩოებში რეაქტოპლასტები იკავებენ დაახლოებით 80%-ს. ეს დაკავშირებულია თერმოპლასტით ბოჭკოს გაუღენ-თასთან. ამრიგად, არმირებული პლასტიკების შემთხვევაში დომინირებს რეაქტოპ-ლასტი.



ნახ. 2. სიბლანტის დამოკიდებულება  
პოლიმერის მოლებულურ მასაზე

უკანასკნელ ათწლეულში შთამბეჭდავი პროგრესი მოხდა პოლიმერების ქიმიასა და წარმოებაში. სინთეზირებულია ორ მილიონზე მეტი პოლიმერი. ქიმიკოსებს ადვი-ლად შეუძლიათ პოლიმერის თვისებების ვარირება, მათი ქიმიური სტრუქტურის ცვლილებით და ეს არც ისე ძვირია. თუ ოცი წლის წინათ კომპოზიტების შემქმნე-ლებს ჯერ კიდევ არ პქონდათ ბოჭკოს და მატრიცის პოლიმერის ფართო არჩევანი, ამჟამად სიტუაცია შეიცვალა. დასავლეთში გამოდის თერმორეაქტიული ფისის და გამამაგრებლის ფართო ასორტიმენტი. კომპოზიტის შემქმნელი დგება არჩევნის წი-ნაშე, მან პრინციპში უნდა გაიგოს რას სთავაზობენ. ჯერჯერობით ეს ეხება ძირი-თადად თერმორეაქტიულ მატრიცას, ბოჭკოსა და თერმოპლასტიკური მატრიცის არ-ჩევანი წინანდებურად შეზღუდულია.

გამოყენების სფეროს მიხედვით კომპოზიციური მასალა კონკურენციას უწევს ლითონს. კომპოზიტს ლითონთან შედარებით აქვს სამი ძირითადი უპირატესობა:

- მაღალი სიმტკიცის კომპოზიტს აქვს დიდი სიმტკიცე და მცირე მასა;
- ფართო მოხმარების კომპოზიტი იაფია;

- ორივე ტიპის კომპოზიტს აქვს მაღალი დაუღლელობის მახასიათებელი, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ავიაციაში.

კომპოზიციური მასალის ძირითადი ნაკლია დაბალი სიხისტე. ნებისმიერმა ნაკეთობამ უნდა დააკმაყოფილოს ორი აუცილებელი პირობა: პირველ რიგში არ უნდა დაინგრეს დატვირთვით, ე.ი. მასალა უნდა იყოს მტკიცე; მეორე პირობა შემდეგია, დატვირთვით მასალის დაგრძელებამ არ უნდა გადააჭარბოს გარკვეულ მნიშვნელობას. წინააღმდეგ შემთხვევაში მასალის ფორმა შეიცვლება იმდენად, რომ ის ვერ შეძლებს ფუნქციონირებას. ამისათვის მასალას უნდა ჰქონდეს მაღალი სიმტკიცის მოდული. სამწუხაროდ, კომპოზიციურ მასალას ხშირად არ აქვს საკმარისად მაღალი დრეკადობის მოდული და პრობლემის გადაჭრა გვიხდება სისქის გაზრდის გზით.

კომპოზიციური მასალის დაბალი მოდულის მიზეზი შემდეგია: ტიპური კომპოზიტი პოლიმერული მატრიცით შეიცავს დაახლოებით მატრიცის მოცულობის 50%-ს. შედეგად ერთმიმართულებიანი კომპოზიტის დრეკადობის მოდული ორჯერ ნაკლებია ბოჭკოს დრეკადობის მოდულზე. კომპოზიტის ფირფიტას, რომ მაღალი სიხისტე ჰქონდეს არა მარტო ბოჭკოების გასწვრივ, არამედ სხვა მიმართულებითაც, გრძივ ფენასთან ერთად მას უნდა ჰქონდეს, როგორც მინიმუმი, ერთი განივად ორიენტირებული ფენა, ასევე  $45^{\circ}$ -იანი კუთხის მიმართულების ორი ფენა. ასეთი ფენების სიხისტე გრძივი მიმართულებით არასაკმარისია და ფირფიტის სიხისტის ჯამური მოდელი დაახლოებით 8-ჯერ დაბალია ბოჭკოების დრეკადობის მოდულზე. ლითონის კონკურენტი რომ იყოს სიხისტეში, კომპოზიტის არმირების ბოჭკოს უნდა ჰქონდეს ძალიან მაღალი დრეკადობის მოდული.

### 3. დასპანა

პოლიმერული კომპოზიციური მასალების ტექნოლოგიის განვითარება დაფუძნებული იყო გამომგონებლობაზე, მაგრამ ჩვენს დროში ტექნოლოგიის განვითარება განისაზღვრება სამეცნიერო კვლევებით, რომლებიც მიმდინარეობს ფართო ფრონტით. ემპირიული კვლევების პარალელურად ვითარდება კომპოზიციური მასალების თეორია. თეორეტიკოსების ძალისხმევა მიმართულია კომპოზიციური მასალის მექანიკური და ზოგიერთი ფიზიკურ-ქიმიური თვისების გაანგარიშებაზე. უკანასკნელ

დრომდე უფრო დრმად იქნა დამუშავებული საკითხი, რომელიც ეხება უწყვეტი ბოჭკოთი არმირებულ კომპოზიტს. ამ კლასის კომპოზიტის დამახასიათებელია ის, რომ მისი შექმნა ხდება ნაკეთობის შექმნასთან ერთად. მოკლე ბოჭკოთი და სხვა-დასხვა ფორმის მარცვლებით შევსებული კომპოზიტი უძებეს შემთხვევაში თავ-დაპირველად მიიღება ნახევარპროდუქტის (პრეპრეგა, გრანულა ან ფენილი) სახით და შემდეგ მისგან ყალიბდება ნაკეთობა. ორმაგი გადამუშავება ართულებს მასა-ლის თვისებების ნაკეთობაში შესწავლას.

#### **ლიტერატურა**

1. ა. ჩიქოვანი. საშენი მასალები და კონსტრუქციები. სტუ, 2017.
2. Михайлин Ю.А. Специальные полимерные композиционные материалы. – СПБ., НОТ, 2009.
3. Мэттьюз Ф., Ролингз Р. Композитные материалы. Механика и технология. М,: Техносфера, 2004.
4. Баженов С.Л. Механика и технология композиционных материалов, М.ИД, «Интеллект», 2014.

UDC 556.537

## MODELING AS A METHOD FOR STUDYING EROSION

**I. Inashvili, A. Bagration-Davitashvili, I. Klimiashvili, V. Khorava**

(Georgian Technical University)

**Abstract:** *Modeling is one of the main methods of studying the surroundings reality and a tool in scientific and practical human activities. Among the types of physical modeling in erosion, modeling using physically similar models belonging to the category of hydraulic modeling, the principles of which are quite well developed has become widespread. In hydraulic modeling must satisfy the conditions of geometric, kinematic and dynamic similarity. In erosion studies, predominantly functional Math models are common, among which the largest groups are so-called washout models, or erosion losses. Currently, the number of mathematical models of soil erosion losses of various types developed in the world are measured in many dozens and continue to increase. For erosion studies water erosion, as a process, geoinformation technologies are the most effective tools for research and evaluation, forecast and justification of management decisions.*

**Key words:** *modeling of erosion, physical modeling, hydraulic modeling, Math modeling.*

### 1. INTRODUCTION

Significant place in the methodological arsenal of erosion study is modeling - the method of knowledge, in which the real system, or process (original, nature, prototype) is studied using its substitute - a simplified copy, scheme, sample or analog, which is called a model. The modeling process, therefore, consists in building the model of the object, of study (system, or process) and its subsequent study. The results obtained in the process of such study are transferred according to certain rules to the real object.

Modeling is one of the main methods of studying the surrounding reality and a tool in scientific and practical human activities.

As a way of reflecting reality, it actually originated simultaneously with the development of scientific knowledge, but plays special role in the study of complex systems - natural, economic, social, technical, where it is difficult and often impossible, to use other methods. For example, it is impossible to destroy the dam of the existing reservoir in order to determine the consequences of its breakthrough in the earthquake for the settlement, that is located downstream of the river. Moreover, this is impossible to do if we are talking about a reservoir, that is just being designed.

## 2. THE BODY OF THE ARTICLE

A unified classification of models does not exist. There are many classifications developed by representatives of various sciences in relation to the relevant features of the application of the modeling method. The general framework of this classification can be built as follows. First of all, it is customary to divide all models into two large categories: material (real, objective) and ideal (figurative, sign). Material models, in turn, are divided into spatially similar, physically similar and mathematically similar and ideal models into figurative (iconic), figurative-sign and symbolic (symbolic).

Modeling phenomena, or processes using material models is usually called physical, or natural. The term “physical modeling” is not limited to physics, but also applies to any other sciences. The term “natural modeling” in this context is not entirely successful, since it is more correct to call physical modeling in laboratory conditions “laboratory modeling” and physical modeling in natural conditions - “natural modeling”. In erosion studies, such a division of physical modeling - into laboratory and natural - is fully justified, since the methods, equipment and modeling capabilities in the laboratory and in nature are significantly different.

### The Physical modeling

Among the types of physical modeling in erosion, modeling using physically similar models belonging to the category of hydraulic modeling, the principles of which are quite well developed has become widespread.

In physical modeling, a linear relationship between model and kind is usually used:

$$X_m = M_X X_n \quad (1)$$

Where  $X_m$  relevant model specifications;  $M_X$  - scale coefficients (scale characteristics) of  $X$ ;  $X_n$  - characteristics of nature.

In hydraulic modeling must satisfy the conditions of geometric, kinematic and dynamic similarity. Geometric similarity is ensured by the constancy of the scale of the linear characteristics of the model and nature — the depth and width of the flow, the dimensions of roughness and sediment. To achieve kinematic similarity, the proportionality of speed and acceleration must be ensured, as well as the coincidence of their directions on the model and in nature. Dynamic similarity is determined by the proportionality and unidirectionality of the acting forces.

The main similarity criteria for modeling open free-flow flows are the numbers (criteria) of Reynolds (Re), Froude (Fr), Strouhal (Sh) and Euler (Eu):

$$Re = \frac{VL}{v} \quad (2)$$

$$Fr = \frac{V^2}{FL} \quad (3)$$

$$Sh = \frac{L}{VT} \quad (4)$$

$$Eu = \frac{P}{\rho V^2} \quad (5)$$

where  $V$  is the flow velocity, m/s;  $L$  is the characteristic size (depth) of the flow, m;  $F$  - force (in the case of free-flow movement - the force of gravity of the mass unit  $F = g$ , where  $g$  is the acceleration of gravity,  $\text{m/s}^2$ );  $T$  - time, with;  $P$  — pressure,  $\text{Pa}$ ;  $v$  - coefficient of kinematic viscosity of water,  $\text{m}^2/\text{s}$ ;  $\rho$  is the density of water,  $\text{kg/m}^3$ .

The flows on the model and in nature will be similar if the above criteria for the model and nature are the same, i.e.  $e_m = Re_h$ ,  $Fr_m = Fr_h$ ,  $Sh_m = Sh_h$ ,  $Eu_m = Eu_h$  or  $Re=\text{idem}$ ,  $Fr=\text{idem}$ ,  $Sh=\text{idem}$ ,  $Eu=\text{idem}$ . (lat idem is the same).

When modeling flows in eroded channels (the essence of modeling erosion processes), criteria, that characterize the density and/or hydraulic size of sediment particles should be added to the above criteria and when studying the destruction of soil by rain drops, energy characteristics of precipitation should be added.

It is known, that the simultaneous fulfillment of all, or even part of the similarity criteria in hydraulic modeling is almost impossible. Of the four main similarity criteria, the Euler criterion (“pressure coefficient”) in most practical problems turns out to be insignificant and the Strouhal criterion (“homochronicity criterion”) can be disregarded, when studying the field of averaged steady-state flow. Most often, when modeling, only two similarity criteria are used - Froude and Reynolds. However, there are also difficulties with their simultaneous implementation.

In order to simultaneously ensure the identity of the Frud and Reynolds criteria for model and nature, the scale of linear quantities ( $M_L$ ) must be equal to:

$$M_L = M_v^{2/3} M_g^{-1/3} \quad (6)$$

Where  $M_v$  and  $M_g$  are scale factors for the kinematic viscosity of a fluid and gravitational acceleration, respectively.

The scale factor for the acceleration of free fall is always one, i.e.  $M_g = 1$

Then from (6) it follows, that with physically homogeneous modeling (in which water is used as a model liquid and  $M_v = 1$ ), the scale factor of the linear dimensions of the model  $M_L$  should also be equal to one, i.e. the model should have exactly the same linear dimensions, as well as the simulated object.

It is clear, that for large objects, such as a river catchment, or even a separate slope, this condition is practically impossible.

### **The Math modeling**

In erosion studies, predominantly functional models are common, among which the largest group are so-called wash-out models, or erosion losses. By the nature of the mapping relationships in the simulated system, mathematical models are divided into static and dynamic. Static models make it possible to characterize the structure and connections in the system either at a certain point in time or, on average, for a certain period of time (in erosion studies, most often for a long-term period). Static models include most empirical models of soil erosion. Dynamic models describe the process change in time and in erosion studies, as a rule, model the erosion-accumulative process as a result of a separate rainfall (shower period) or during a snowmelt period of a particular year.

By the nature of the spatial schematization of the object of study, models are divided into zero-dimensional (0D), one-dimensional (1D), two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D). Zero-dimensional models, or models with lumped parameters, do not take into account the spatially distributed nature of the object — all its characteristics are taken spatially averaged (for example, over the area of a slope or catchment). One-dimensional models (profile) take into account the change in the characteristics of the model only in one of the space coordinates (in erosion models - along the length of the slope). Two-dimensional models take into account changes in the characteristics of the model on the plane - by the X and Y coordinates (such models are usually called spatially distributed). Finally, three-dimensional models take into account changes in the characteristics of the simulated process in all three space coordinates - X, Y and Z. These models include the so-called hydro mechanical run-

off models, which are based on the complete system of Navier-Stokes equations, which take into account the change in flow characteristics not only by area, but also in depth.

Currently, the number of mathematical models of soil erosion losses of various types developed in the world is measured in many dozens and continues to increase.

By now, simulation modeling is one of the most effective methods for researching and optimizing the management of complex natural and natural-economic systems. An imitative simulation idea [1] should be considered the imitation system (imitation model). Imitation models can be used both in simulation and optimization modes. In the first case, the model is used to select a particular strategy by conducting numerical experiments with it for certain values of variables, that characterize the state of the original system (endogenous or internal variables) and external influence (exogenous or external) variables. If for a given objective function, using the model, they try to find the optimal strategy, i.e. the values of variables, that provide the optimal values of the selected criterion or criteria, the model is called optimization.

In relation to the optimization problem of agro-landscape systems due to insufficient formalization of the procedure for selecting the optimal values of endogenous variables, with the presence in general of several (economic, environmental, social) optimization criteria, the complexity and nonlinearity of mathematical models, that describe their functioning, the application of formal optimization procedures is difficult.

Currently, simulation modeling is successfully used to solve various theoretical and applied erosion problems in the USA [2, 3, 4] and other countries.

The range of application of geo-information technologies in erosion studies covers almost the whole range of their functions - information and reference, monitoring, automated mapping, space-time analysis and modeling, creation of spatial decision support systems in planning, design and management.

Using geoinformation technologies, spatially distributed (cartographic) data is divided into homogeneous layers (topography, hydrographic network, genetic soil varieties, soil erosion, spatial structure of land use, crop rotation, anti-erosion measures, etc.) and entered into a computer as electronic files with using raster (as a set of cells covering the whole territory), or vector (with the formalization of spatial information using a set of elementary graphical objects - points, lines, segments (arcs) and the polygon) spatial model data.

Modern instrumental GIS allow you to edit and up-to-date information, form new data layers based on a transformations or a combination of existing ones, as well as display them on the screen and (or) as a solid copy in a two, or three-dimensional representation.

The function of geo-information technologies is to ensure the monitoring of natural and natural-economic territorial systems, which implemented mainly through computer processing of remote sensing data (aerial and space imagery) and geo-information field mapping.

The function of the Earth remote sensing data processing (RSD) is currently implemented in many commercial GIS packages for universal use, such as, for example, the GIS package and image processing IDRISI (Clark University, USA) and in specialized RSD data processing packages, such as software ERDAS IMAGINE, ER Mapper, LPS and other ERDAS companies (ERDAS Inc., Sweden), the ENVI system of ITT Visual Information Solutions (USA), the software of ScanEx RDC (Russia) (ScanMagic, ScanEx Image Processor). Digital images of high (2-10 m) and, especially, ultrahigh (less than 2m) spatial resolution open wide opportunities for remote monitoring and mapping of erosion processes. Another promising area of application of geo-information technologies in erosion studies is the automation of thematic mapping. It includes the preparation and publication using the capabilities of modern computers of traditional maps of soil erosion, erosion control measures, etc., that meet modern requirements for cartographic products, as well as the creation of various thematic cartograms and chart diagrams.

The potential of geo-information technologies for modeling water erosion and assessing erosion losses of soil was demonstrated in the 1980s.

This was first apparently done in [5], where using the GIS package and image processing VICAR / IBIS (USA) the spatial implementation of the Universal Soil Loss Equation - USLE using remote sensing data (Lansat satellite imagery) and provided the erosional soil loss forecast for a test site located in the state of California (USA).

Currently, there are many spatial implementations of the Universal Soil Loss Equation and its subsequent version of RUSLE [6], performed using different GIS packages (IDRISI, ArcView GIS, ArcGIS, etc.) in various countries of the world, including those located in Asia, Africa, Latin America.

Since the mid-90s, geo-information technologies have been used for the spatial implementation of algorithmically much more complex models of water erosion.

Examples include: spatial implementation of a modified version of the logical-mathematical model of soil flushing made using the PCRaster package at Odessa State University. Dynamic Limburg Soil Erosion Model (LISEM) developed at the University of Utrecht (Netherlands) using the PCRaster spatial analysis and modeling package [7]; development of a model of a slope erosion process based on the numerical integration of the system of diffusion wave equations in the GRASS GIS package [8].

### 3. CONCLUSION

For erosion studies water erosion as a process, its consequences for the environment and economic activities and develop ways to prevent them, which have a pronounced spatial-distributed nature, geoinformation technologies are the most effective tool for research and evaluation , forecast and justification of management decisions.

### REFERENCES

1. Arnold J.G., Engel B.A., Srinivasan R. Continuous time, grid cell watershed model // Application of Advanced Information Technology: Effective Management to Natural Resources // Am Socof Agric Eng, Spokano, WA, 1993. pp.267.
2. EPIC–Erosion/Productivity Impact Calculator, part1. Model documentation//United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Technical bulleten number 1768 (1), 1990. pp.235.
3. Tang Z., Engel B.A., Choi J., Sullivan K., Sharif M., Lim K.J. A Web-based DSS for erosion control structure planning//Applied Engineering in Agriculture. 2004. Vol. 20 (5). pp.707–714.
4. Lim K.J., Sagong M., Engel B.A., Tang Z., Choi J., Kim K.-S. GIS-based sediment assessment tool. Catena. 2005. Vol. 64. pp.61–80.
5. Spanner M.A., Strahler A.H., EstesJ.E., Soil loss prediction in a Geographic Information System Format. In Papers Selected for Presentation at the Seventeenth International Symposium on Remote Sensing of Environment. 89-102. 2–9 June 1982 Buenos Aires, Argentina. Ann Arbor, Mich., 1983. pp.14.
6. Renard K.G. Erosion Research Techniques, Erodibility and Sediment Delivery (T.J. Troy, ed.), GeoAbstracts Ltd, Norwich, 1977. pp.31-44.
7. De Roo A.P.J. Modeling surface runoff and soil erosion in catchments using Geographical Information Systems.–Utrecht: Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen Universiteit Utrecht, 1993. pp.295.
8. Mitasova H., Mitas L. Multiscale soil erosion simulations for land use management/ In: Landscape erosion and landscape evolution modeling, Harmon R. and Doe W. (eds). 2001. pp. 321-347.

## შაგ 628.312.1

### ორგაზიან ნაკადში შემონილი ნაწილაკების რელაშაციის სიჩქარის პლაგა

ი. ინაშვილი, ი. დენისოვა

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** სტატიაში განხილულია ნაკადში შემონილი ნაწილაკების მოძრაობა ნაკადისგან განსხვავებული სიჩქარით. ჩატარებული კვლევის შედეგად, ნიუტონის მეორე კანონზე დაყრდნობით, ნაწილაკისა და სითხის ფიზიკური მახასიათებლების გათვალისწინებით, ლამინარული რეჟიმის პირობებში, მიღებულია მცირე ზომის, სფეროსებრი ნაწილაკის რელაშაციის სიჩქარის, დროზე დამოკიდებულების განტოლება. აგრეთვე გამოთვლილია ნაწილაკის მიერ ნაკადის სიჩქარის მიღწევამდე განვლილი მანძილის საანგარიშო განტოლება.

**საკვანძო სიტყვები:** შემონილი ნაწილაკი; რელაშაციის სიჩქარე; ლამინარული რეჟიმი; ნაკადის სიჩქარე.

#### 1. შესაბამის

სითხის ნაკადში მყარი შემონილი ნაწილაკების მოძრაობისას, მათი სიჩქარე ხშირად განსხვავდება ნაკადის მოძრაობის სიჩქარისგან. ეს შეიძლება გამოწვეულ იქნეს დისპერსიულ სისტემაში ნაწილაკთა ურთიერთქმედებით, პიდროდინამიკური ნაგებობის ზედაპირებთან ან კონსტრუქციულ ელემენტებთან შეჯახებით, ნაკადში არსებული ტურბულენტური პულსაციებით, სისტემაში რაიმე ნივთიერების (მაგალითად, ფლოკულანტის ან კოაგულანტის) დამატებით. იმ შემთხვევაში, როდესაც ნაწილაკის პორიზონტალური სიჩქარე მეტია ნაკადის სიჩქარეზე, ნაწილაკის სიჩქარე იწყებს კლებას ნაკადის სიჩქარის მიღწევამდე და პირიქით, თუ ნაწილაკის სიჩქარე ნაკადის სიჩქარეზე ნაკლებია – ნაწილაკის სიჩქარე იზრდება [1,2, 3, 4].

დრო, რომელიც ეხარჯება ნაწილაკს ნაკადის სიჩქარის მიღწევამდე, წარმოადგენს ნაწილაკის დინამიკური რელაშაციის დროს, რომელიც სტოქსის რეჟიმში განისაზღვრება დამოკიდებულებით [5,6]:

$$\tau = \frac{\rho_\delta d_\delta^2}{18\mu}, \quad (1)$$

სადაც  $\tau$  არის ნაწილაკის დინამიკური რელაქსაციის დრო;

$\rho_\delta$  – შეწონილი ნაწილაკის სიმკვრივე;

$d_\delta$  – შეწონილი ნაწილაკის დიამეტრი;

$\mu$  – სითხის დინამიკური სიბლანტე.

შეწონილი ნაწილაკების ჰორიზონტალური გადაადგილების კვლევისას, მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს ნაწილაკის მოძრაობის სიჩქარის დასაზუსტებლად მყარი ნაწილაკისა და სითხის მოძრაობის სიჩქრეთა სხვაობის გათვალისწინება.

## 2. მიზანთაღი ნაწილი

შეწონილი ნაწილაკების რელაქსაციის სიჩქარის დასადგენად განვიხილოთ სითხის ნაკადის სტაციონარული, ერთგანზომილებიანი მოძრაობა ჰორიზონტალური  $Ox$  დერძის გასწვრივ. ნაკადში სიჩქარეთა განაწილება მოცემულია ფუნქციით  $u(x)$ .

ნიუტონის მეორე კანონზე დაყრდნობით გამოვსახოთ დისპერსიული სისტემის მყარი შეწონილი ნაწილაკის ვექტორული განტოლება:

$$m \frac{d_\delta \vec{u}_\delta}{dt} = \sum \vec{F}_i,$$

სადაც  $m$  არის შეწონილი ნაწილაკის მასა,  $m = \frac{\pi d_\delta^3}{6} \rho_\delta$ ;

$\vec{u}_\delta$  – შეწონილი ნაწილაკის მოძრაობის სიჩქარის ვექტორი;

$\vec{F}_i$  – ნაწილაკზე მოქმედი ძალების ვექტორები.

დავუშვათ, რომ ნაწილაკზე გავლენას ახდენს მხოლოდ წინადობის ძალა და სხვა ძალები გაწონასწორებულია. ნაწილაკზე მოქმედი წინადობის ძალის სიდიდე გამოითვლება განტოლებით:

$$F_{\text{წინ}} = c_d \cdot S \cdot \frac{\rho_\delta |\vec{u}_\delta - \vec{u}_\beta|}{2} (\vec{u}_\delta - \vec{u}_\beta),$$

სადაც  $c_d$  არის წინადობის კოეფიციენტი;

$S$  – სხეულის მოდელის ფართობი (ნაწილაკის პროექცია სიბრტყეზე, რომელიც სხეულის მოძრაობის მიმართულების პერპენდიკულარულია)  $S = \frac{\pi d^2}{4}$ ;

$\rho_\delta$  – სითხის სიმკვრივე;

$\vec{u}_\delta$  – ნაკადის მოძრაობის სიჩქარე;

$\vec{u}_\beta$  – ნაკადის და ნაწილაკის სიჩქარეების დამოკიდებულების ვექტორი.

განტოლება (2)-ის გათვალისწინებით, ნაწილაკის მოძრაობის განტოლება (1) იღებს სახეს:

$$\frac{\pi d_\delta^3}{6} \rho_\delta \frac{d\vec{u}_\delta}{dt} = c_d \cdot \frac{\pi d_\delta^2}{4} \cdot \frac{\rho_\delta |\vec{u}_\delta - \vec{u}_b|}{2} (\vec{u}_b - \vec{u}_\delta). \quad (3)$$

ანალიტიკური მეთოდით განტოლება (3)-ის ამოხსნის მიღება შესაძლებელია მხოლოდ ნაკადის მოძრაობის მუდმივი სიჩქარის პირობებში ( $u_b = const$ ).

სტოქსის რეზიმში ნაკადის დამინარული მოძრაობისას რეინოლდსის რიცხვი გამოისახება დამოკიდებულებით:

$$Re = \frac{\rho_\delta |\vec{u}_\delta - \vec{u}_b| d_\delta}{\mu} < 1. \quad (4)$$

სტოქსის რეზიმში წინაღობის კოეფიციენტის სიდიდე განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$c_d = \frac{24}{Re} = \frac{24\mu}{\rho_\delta |\vec{u}_\delta - \vec{u}_b| d_\delta}. \quad (5)$$

განტოლება (5)-ის გათვალისწინებით მოძრაობის განტოლება (3) იღებს შემდეგ სახეს:

$$\frac{\pi d_\delta^3}{6} \rho_\delta \frac{d\vec{u}_\delta}{dt} = \frac{24\mu}{\rho_\delta |\vec{u}_\delta - \vec{u}_b| d_\delta} \cdot \frac{\pi d_\delta^2}{4} \cdot \frac{\rho_\delta |\vec{u}_\delta - \vec{u}_b|}{2} (\vec{u}_b - \vec{u}_\delta). \quad (6)$$

მათემატიკური გარდაქმნების შედეგად, განტოლება (6) შეგვიძლია წარმოვადგინოთ, როგორც:

$$\frac{d_\delta^2 \rho_\delta}{18\mu} \cdot \frac{d\vec{u}_\delta}{dt} = (\vec{u}_b - \vec{u}_\delta). \quad (7)$$

შემოვიდოთ აღნიშვნა:

$$t_* = \frac{\rho_\delta d_\delta^2}{18\mu}. \quad (8)$$

სიდიდე  $t_*$  წარმოადგენს შეწონილი ნაწილაკის დინამიკური რელაქსაციის დროს, რომელიც ასახავს ნაწილაკის აჩქარებული მოძრაობის ხანგრძლივობას ნაკადის სიჩქარის მიღწევამდე.

შემოვიდოთ ფარდობითი სიდიდეები:

$$y = \frac{u_\delta}{u_b}; \quad (9)$$

$$\tau = \frac{t}{t_*}; \quad (10)$$

$$y_0 = \frac{u_0}{u_b}; \quad (11)$$

სადაც  $u_0$  არის ნაკადში შეწონილი ნაწილაკის საწყისი სიჩქარე.

განტოლება (7)-ში ფარდობითი სიდიდეების გათვალისწინებით ვდებულობთ შემდეგი სახის დიფერენციალურ განტოლებას:

$$\frac{dy}{d\tau} = 1 - y. \quad (12)$$

საწყისი პირობებიდან გამომდინარე ( $\tau = 0; y = y_0$ ) დიფერენციალური განტოლების (12) ამოხსნას აქვს შემდეგი სახე:

$$y = 1 - (1 - y_0) \exp(-\tau). \quad (13)$$

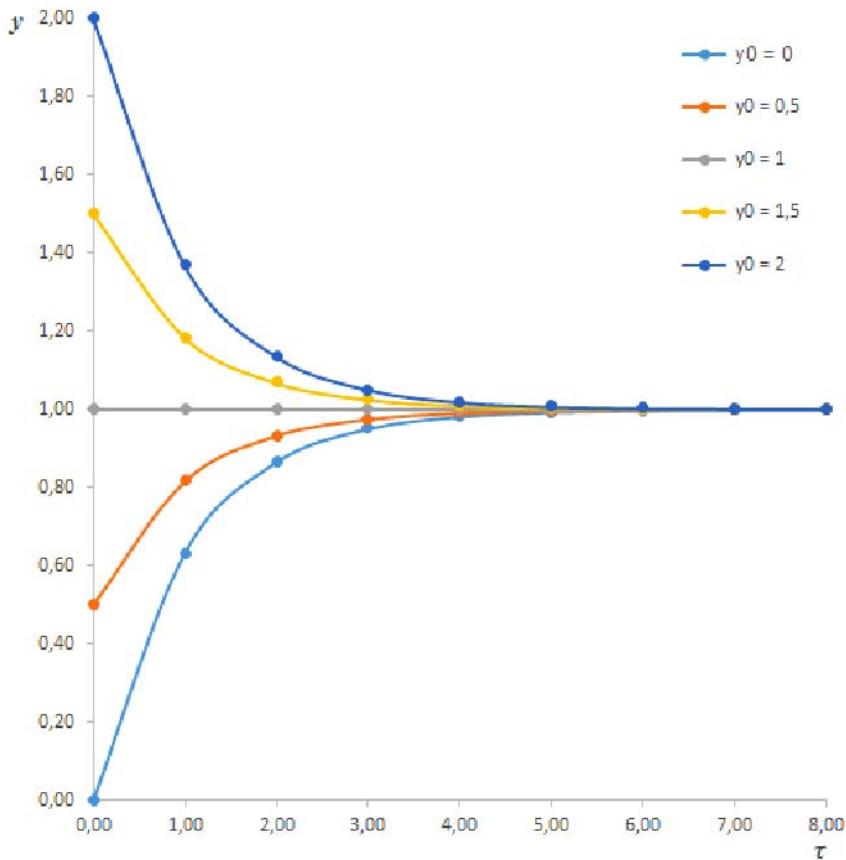
დავადგინოთ ნაწილაკის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების  $y(\tau)$  ფარდობითი სიდიდეების რიცხვითი მნიშვნელობები ნაწილაკის საწყისი სიჩქარის  $y_0$ -ის სხვადასხვა მნიშვნელობებისთვის (ცხრილი №1) და ავაგოთ გრაფიკი (ნახ. 1).

### ცხრილი 1.

**შეწონილი ნაწილაკის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულება  $y_0$ -ის სხვადასხვა  
მნიშვნელობებისას**

$\tau$	$y = 1 - (1 - y_0) e^{-\tau}$				
	$y_0 = 0$	$y_0 = 0,5$	$y_0 = 1$	$y_0 = 1,5$	$y_0 = 2$
	$y = 1 - e^{-\tau}$	$y = 1 - 0,5e^{-\tau}$	$y = 1$	$y = 1 + 0,5e^{-\tau}$	$y = 1 + e^{-\tau}$
0,00	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00
1,00	0,63	0,82	1,00	1,18	1,37
2,00	0,86	0,93	1,00	1,07	1,14
3,00	0,95	0,98	1,00	1,02	1,05
4,00	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02
5,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,01
6,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
8,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
9,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

გრაფიკიდან ჩანს, რომ, როდესაც შეწონილი ნაწილაკის საწყისი სიჩქარე მეტია ნაკადის სიჩქარეზე ( $y_0 > 1$ ), ნაწილაკის სიჩქარე იწყებს კლებას ნაკადის სიჩქარის მიღწევამდე. როდესაც ნაწილაკის საწყისი სიჩქარე ნაკლებია ნაკადის სიჩქარეზე ( $y_0 < 1$ ), ნაწილაკის სიჩქარე მატულობს ნაკადის სიჩქარის სიდიდემდე, ხოლო, როდესაც ნაწილაკის სიჩქარე ნაკადის სიჩქარის ტოლია ( $y_0 = 1$ ), მისი სიჩქარე არ იცვლება.



ნახ. 1. ლამინარულ რეჟიმში ნაკადში მოძრავი ნაწილაკის  
სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი

განტოლებების (8, 9, 10, 11) გათვალისწინებით გამოვსახოთ განტოლება (13)  
შემდეგი სახით:

$$\frac{u_\delta}{u_b} = 1 - \left(1 - \frac{u_0}{u_b}\right) \exp\left(-t \frac{18\mu}{\rho_\delta d^2}\right),$$

საიდანაც:

$$u_\delta = u_b - (u_b - u_0) \exp\left(-t \frac{18\mu}{\rho_\delta d^2}\right). \quad (14)$$

განტოლება (14) წარმოადგენს სტოქსის რეჟიმში, მცირე ზომის სფეროსებრი ნაწილაკის ნაკადში მოძრაობის განტოლებას, რომელიც ასახავს ნაწილაკის რელაქსაციის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულებას.

შემთხვევით ნაწილაკის მიერ ნაკადის სიჩქარის მიღწევამდე განვლილი მანძილის დასადგენად შემთხვევით ნაწილაკის მოძრაობის განტოლება გამოვსახოთ როგორც:

$$\frac{du_\delta}{dt} = \frac{du_\delta}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{du_\delta}{dx} u_\delta. \quad (15)$$

განტოლება (7)-ის გათვალისწინებით ვდებულობთ:

$$\frac{du_\delta}{dx} = \frac{(u_b - u_\delta)}{u_\delta} \cdot \frac{18\mu}{\rho_\delta d^2}. \quad (16)$$

შემოვიდოთ ახალი ფარდობითი სიდიდე:

$$\xi = \frac{x}{x_*}, \quad (17)$$

სადაც:

$$x_* = t_* u_*. \quad (18)$$

განტოლების (8) და იმის გათვალისწინებით, რომ  $u_* = u_b$ , განტოლება (17) იღებს სახეს:

$$x_* = u_b \frac{d_\delta^2 \rho_\delta}{18\mu}. \quad (19)$$

განტოლებიდან (17)  $x$ -ის მნიშვნელობა შეადგენს:

$$x = \xi x_*. \quad (20)$$

განტოლებიდან (9)  $u_\delta$  - ის მნიშვნელობაა:

$$u_\delta = y u_b. \quad (21)$$

განტოლებების (9, 19, 20, 21) გამოყენებით, გამოვსახოთ განტოლება (16)

შემდეგი სახით:

$$\begin{aligned} \frac{d(yu_b)}{d(\xi x_*)} &= \frac{(u_b - u_\delta)}{u_\delta} \cdot \frac{18\mu}{d_\delta^2 \rho_\delta} \Rightarrow \frac{u_b}{x_*} \cdot \frac{dy}{d\xi} = \frac{(u_b - u_\delta)}{u_\delta} \cdot \frac{18\mu}{d_\delta^2 \rho_\delta} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \frac{dy}{d\xi} = \frac{(u_b - u_\delta)}{u_\delta} \cdot \frac{18\mu}{d_\delta^2 \rho_\delta} \cdot \frac{x_*}{u_b} \Rightarrow \frac{dy}{d\xi} = \frac{(u_b - u_\delta)}{u_\delta} \cdot \frac{18\mu}{d_\delta^2 \rho_\delta} \cdot \frac{u_b}{u_b} - 1 \Rightarrow \\ &\Rightarrow \frac{dy}{d\xi} = \frac{1}{y} - 1. \Rightarrow \frac{dy}{d\xi} = \frac{1-y}{y}. \end{aligned} \quad (22)$$

სასაზღვრო პირობებიდან გამომდინარე ( $\xi = 0; y = y_0$ ), დიფერენციალური განტოლების (22) ამოხსნას წარმოადგენს:

$$\xi = (y_0 - y) + \ln \left| \frac{1-y_0}{1-y} \right|. \quad (23)$$

განტოლებების (9, 10, 11, 17, 19) გათვალისწინებით, განტოლება (23) გამოვსახოთ როგორც:

$$\begin{aligned} \frac{x}{x_*} &= (y_0 - y) + \ln \left| \frac{1-u_0}{1-u_\delta} \right| \Rightarrow x = u_b \frac{d_\delta^2 \rho_\delta}{18\mu} \cdot \left( \frac{u_0}{u_b} - \frac{u_\delta}{u_b} \right) + \ln \left| \frac{1-u_0/u_b}{1-u_\delta/u_b} \right| \Rightarrow \\ &\Rightarrow x = \frac{d_\delta^2 \rho_\delta}{18\mu} (u_0 - u_\delta) + \ln \left| \frac{1-u_0}{1-u_\delta} \right|. \end{aligned} \quad (24)$$

განტოლება (24) წარმოადგენს ნაკადში მოძრავი შეწონილი ნაწილაკის მიერ განვლილ მანძილს, ნაკადის სიჩქარის მიღწევამდე.

### 3. დასპენა

ამგვარად, კვლევის შედეგად, ნიუტონის მეორე კანონზე დაყრდნობით, ნაწილაკის საწყისი სიჩქარისა და ნაკადის სიჩქარის, აგრეთვე ნაწილაკისა და სითხის ფიზიკური მახასიათებლების გათვალისწინებით, ლამინარული რეჟიმის პირობებში, მიღებულია მცირე ზომის სფეროსებრი ნაწილაკის ნაკადის სიჩქარის მიღწევამდე მისი რელაქსაციის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების განტოლება. აგრეთვე, მიღებულია ნაწილაკის სიჩქარის რელაქსაციის დროს განვლილი მანძილის საანგარიშო განტოლება.

ორფაზიან ნაკადში შეწონილი ნაწილაკების მოძრაობის კანონების კვლევისას მიღებული დამოკიდებულებების გამოყენება საშუალებას იძლევა დაზუსტდეს ნაწილაკების პორიზონტალური გადაადგილების სიდიდე, რასაც დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა ენიჭება დისპერსიული ფაზის გამყოფი ნაგებობების გაანგარიშებისას.

### ლიტერატურა

1. Василевский М.В., Романдин В.И., Зыков Е.Г. Транспортировка и осаждение частиц в технологиях переработки дисперсных материалов. Томск. Издательство ТПУ. 2013. – 288 с.
2. Василевский М.В., Зыков Е.Г. Расчет эффективности очистки газа в инерционных аппаратах. Томск. Издательство ТПУ. 2005. – 89 с.
3. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 352с.
4. Теверовский Е.Н., Дмитриев Е.С. Перенос аэрозольных частиц турбулентными потоками. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 160 с.
5. Курочкин В. Е., Шарфарец Б. П., Шарфарец Е. Б. Обзор математических моделей, описывающих процесс транспорта примесей и одиночных частиц в потоке жидкости. Научное приобретение. Том № 4, 2015. сс. 36 – 42.
6. S. Koike, H. Takahashi, K. Tanaka, M. Hirota, K. Takita, G. Masuya. Correction of method for particle velocimetry data based on the stokes drag law // AIAA Journal. –V. 45, N 11.2007. –P. 2770–2777.

UDC 556.537

## WATER EROSION PROCESSES IN GEORGIA

**A. Bagration-Davitashvili, I. Inashvili, I. Klimiashvili, V. Khorava**

(Georgian Technical University)

**Abstract:** Georgia belongs to the countries, where the erosive processes are widespread and dangerous. According to the intensity of soil-erosive processes, the territory of Georgia can be divided into the 5 districts. In terms of the development of erosive processes, the situation is especially difficult in Upper Imereti, Adjara, Svaneti and other highlands of Georgia. On eroded lands the main damage to soil erosion brings agriculture. From the theoretical and applied points of view there are very interesting the changes in erosion factors associated with existing climate changes, as well as with technogenic impacts on components of the erosion geosystem. Qualitatively new opportunities in research, modeling and technologies to optimize the use of erosion dangerous lands are opened by modern geo-information systems (GIS) used in many spheres of human activity, but are not yet sufficiently used in erosion research.

**Key words:** water erosion; eroded lands; soil degradation; geo-information technologies.

### 1. INTRODUCTION

Water erosion is one of the major environmental and economic problems that really determine the national security of many countries of the world.

According to the Global Assessment of Human-induced Soil Degradation (GLASOD) [1], conducted in 1988–1990 under the auspices of the United Nations Environment Program (UNEP), there were 1,093.7 million hectares of eroded soils in the world, that by a large margin brought water erosion to the first place among other sources of soil degradation (deflation, repackaging, salinisation, etc.). Deflation, which ranks second, accounted for 550 million hectares, or 28% of the total area of degraded soils. Thus, in total, the area of eroded and deflated soils was about 1.65 billion hectares. This is significantly more, than the previously mentioned areas of eroded and deflated

soils. Thus, in a number of works [2], it was noted, that out of approximately 1.5 billion hectares of arable land in the world, about 430 million hectares were eroded and deflated. It is likely, that a significant difference in these data is partly due to the imperfection of accounting for eroded soils at the early stage. However, there is no doubt, that the areas of eroded (and deflated) soils, in despite of the measures taken to warning and prevention this phenomenon, continue to increase. According to the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), the annual loss of productive land due to erosion is currently 5–7 million hectares.

According to the estimates of the specialists involved in the implementation of the GLASOD project (carried out under the auspices of UNEP), whose task was to assess the area of soils degraded by human activity, about 11 million km<sup>2</sup>, or about 10% of the land free of ice from land mass of Earth is subject to water erosion [3]. From this eroded area of 9.2 million km<sup>2</sup> (920 million hectares), 1.7 million km<sup>2</sup> (173 million hectares) were destroyed by ravines [3].

According to the United Nations Environment Program (UNEP), it costs worldwide \$ 9.8–10.4 billion per year.

Soil erosion is most intense in populous countries with developed agriculture. The global irrecoverable loss of soil under the action of erosion reaches 23 billion tons, of which the USA accounts for 1.5 billion tons, the countries of the former USSR - 2.3, India - 4.7, China - 3.3 billion tons [4].

## 2. THE BODY OF THE ARTICLE

Georgia belongs to the countries, where the erosive processes are widespread and dangerous. In mountainous regions of Georgia rarely finds a slope, that is not eroded and scarified with ravines. Intensive landslides and mudflows are observed.

One of the reasons for the increasing of erosion processes is the intensive agricultural usage steep slopes of mountainous areas. Usage for this purpose inappropriate agricultural techniques, instead of using these slopes, as cultural pastures, which would be much less dangerous for the development of erosion processes, started to grow corn, tobacco and other more profitable vegetable crops. Such an approach has caused great and irreparable damage to the land, where these events took place developed erosion processes, desertification, salinisation, withers, soil structural changes, reduction of humus content in the soil and accompanying processes.

According to the intensity of soil-erosive processes, the territory of Georgia can be divided into the following districts:

1. Landscapes of Colchis Lowland are characterized by weakly developed erosive processes, where lateral erosion prevails.
2. Landscapes of West Georgia, valley, hills and mountain pits are characterized mainly by chemical erosion processes with water erosion.
3. Landscapes of East Georgia, valley, hills and mountain pits are characterized mainly by chemical erosion, however, there are also water erosion processes.
4. The medium-sized landscapes are characterized mainly by linear erosion processes.
5. High mountain landscapes are characterized by surface washout intensive processes, with participation of deep erosion.

In terms of the development of erosive processes, the situation is especially difficult in Upper Imereti, Adjara, Svaneti and other highlands of Georgia. But we do not need to think, that erosive processes are developed in the only mountain regions. Erosive events have occurred even on the Colchis lowlands. Soil surface wash-out and ravine creating processes are particularly intensive and reaches dangerous scales in the mountainous parts of Georgia's wet subtropics and in hilly foot-hills of dry climate zones. It is estimated, that from the 10-20° slope hillside washing down 200-300 t / ha of soil per year. From the 20° slopes of the southern site of the Imereti Region, an average of 100 tons will be washed down, from 35° - slopes up to 150 t / ha and more in the year. Erosion traces observed almost everywhere on the steep slopes of the region. The depth of erosive gaps often reaches 0.5 m and more. In case of certain conditions, such gaps will gradually turn into ravines and canyons. Under the dry climate of the east Georgia, water erosion processes on the slopes without vegetation cover are more intense, than in other regions, as result of weak sustainability of the soils in the area of erosion. During the normal intensity rainfall in the region with 6-120° slopes, from 1 ha washed down an average of 30-40 t per year, while intense rains - up to 150-200 t.

Erosion in agricultural land is the most commonly in arable area.

54.1% of the arable land in Georgia is located on a slope with up to 2°, 22.5% - up to 2-5°, 14% - up to 5-10°, 6% - up to 10-15°, 3.4% - More than 15° slope.

The distribution of erosive areas according to separate administrative districts of Georgia is given in the chart 1.

**Chart 1.**

**Distribution of erosive areas of Georgia According to administrative districts  
(thousand ha)**

#	Districts	Arable entirely (A thousand hectares)	From here erosive		
			Weakly	Average	Strongly
1	2	3	4	5	6
1	Akhalkalaki	33.9	2.1	1.3	0.7
2	Ninotsminda	25.6	1.9	1.0	0.2
3	Akhalsikhe	8.3	3.0	1.0	0.5
4	Adigeni	4.3	1.3	1.0	0.5
5	Aspindza	5.3	2.1	0.4	0.1
6	Khashuri	9.6	1.2	1.0	0.5
7	Kareli	14.1	4.3	0.8	0.4
8	Gori	20.0	3.4	2.5	0.2
9	Kaspi	10.9	3.0	1.9	0.2
10	Borjomi	3.6	0.8	1.0	0.5
11	Sagarejo	31.9	5.0	2.6	1.1
12	Gurjaani	11.8	3.6	3.7	0.9
13	Sighnaghi	37.2	6.3	3.0	0.5
14	Dedoplistzkaro	54.1	3.3	1.8	0.2
15	Telavi	7.2	2.6	0.5	0.2
16	Akhmeta	4.8	0.4	0.7	0.2
17	Kvareli	8.3	0.3	0.2	-
18	Lagodekhi	20.2	0.1	0.3	-
19	Gardabani	39.7	7.8	4.3	0.4
20	Mtskheta	10.9	2.7	1.7	0.3
21	Marneuli	26.9	4.5	2.1	0.5
22	Bolnisi	15.1	4.3	2.3	0.1
23	Tzalka	18.5	5.4	3.0	-
24	Dusheti	7.8	2.7	1.2	0.3
25	Tetritzkaro	19..	5.6	3.3	0.7
26	Dmanisi	8.8	2.8	0.6	0.1
27	Tianeti	12.3	4.1	2.1	0.3

28	Tskhinvali region	18.7	5.5	6.1	1.7
29	Completely east Georgia	486.4	80.1	51.1	11.5
30	Tzkaltubo city zone	12.5	2.2	0.6	0.1
31	Samtredia	10.3	0.3	1.0	-
32	Khoni	6.1	0.5	0.2	-
33	Vani	3.7	1.5	0.7	0.7
34	Baghdati	2.9	1.0	0.2	0.1
35	Zestaponi	3.9	1.3	1.1	0.7
36	Terjola	5.2	2.1	1.1	0.5
37	Tchiatur city zone	4.9	2.3	1.4	1.0
38	Sachkhore	6.0	2.1	1.1	0.8
39	Kharagauli	2.8	1.5	1.2	0.3
40	Tkibuli city zone	2.4	0.8	0.7	0.2
41	Oni	1.3	0.6	0.5	0.1
42	Abmrolauri	2.6	1.0	0.8	0.3
43	Tsageri	2.4	1.4	0.9	0.2
44	Lentekhi	1.3	0.6	0.5	0.2
45	Abasha	12.2	-	-	-
46	Tskhakaia	9.1	0.2	0.1	0.1
47	Martvili	6.1	0.3	0.2	0.1
48	Zugdidi	10.1	0.1	0.2	-
49	Khobi	12.2	-	-	-
50	Tsalenjikha	2.3	0.2	0.1	0.1
51	Chkhorotsku	3.7	0.3	0.3	0.2
52	Ozurgeti	5.0	0.8	0.2	-
53	Lanchkhuti	5.0	0.8	0.2	-
54	Chokhatauri	1.8	1.2	0.4	0.1
55	Mestia	0.9	0.3	0.5	-
56	Completely West Georgia regions	141.9	24.0	15.5	6.1
57	Apkhazeti	36.1	3.7	5.8	0.1
58	Adjara	8.8	2.7	2.5	0.1
59	Completely West Georgia	186.8	30.4	23.3	0.3
Completely in Georgia		673.2	110.5	74.4	20.8
Completely eroded			205.7		

On the eroded lands, due to washing away of the upper, most fertile soil layer, removal of humus and nutrients, deterioration of the physical properties of the soil, the yield of agricultural crops decreases. In this regard, the main damage to soil erosion does agriculture. In addition, the products of erosion destruction of soils, and along with them agrochemicals, nutrients, biological active substances, heavy metals, including radionuclides, entering the rivers, degrade the quality of water, cause eutrophication of water bodies, siltation of ponds, reservoirs and valleys of small rivers, which causes the complete disappearance of many of them. Due to the deterioration of the physical properties of the soil (an increasing density, decreasing of water retention and water absorption capacity), the intensity and frequency of floods on rivers increase and the soil cover dries. On eroded soils microbiological activity is also reduced.

Thus, soil erosion has a negative impact on almost all components of the landscape causing its degradation. The final and cumulative effects of soil erosion can lead to desertification [5].

### **3. CONCLUSION**

Such a wide distribution and danger of manifestation of erosion processes, as well as the outlined tendency towards their intensification, make the problem of water erosion of soils increasingly relevant. It is necessary to intensify research on the erosion process itself, because despite the accumulated stock of theoretical knowledge and empirical material, the mathematical models of the slope erosion process used in anti-erosion design belong to the category of models with lumped parameters, or to profile models, that rather roughly take into account the main factors of the process. During the transition to adaptive-landscape and precision farming systems, significantly higher requirements are imposed on their justification, which is due to the need to take into account the complicated spatial differentiation of agro-landscape structures. From the theoretical and applied points of view there are very interesting the changes in erosion factors associated with existing climate changes, as well as with technogenic impacts on components of the erosion geosystem, first of all on the soil cover. Qualitatively new opportunities in research, modeling and technologies to optimize the use of erosion dangerous lands are opened by modern geo-information systems (GIS) and geo-information technologies, that are widely used in many spheres of human activity, but are not yet sufficiently used in erosion research.

## REFERENCES

1. Global Assessment of Human-induced Soil Degradation (GLASOD) (1990).  
<http://www.isric.org/UK/About+ISRIC/Projects/Track+Record/GLASOD>.
2. F. M. Onu, Abu Mohammed. Competency Improvement Needs of Farmers in Soil Erosion Prevention and Control for Enhancing Crop Production: Case Study of Kogi State, Nigeria. Agricultural Sciences. 2014. Vol.5 No.11, pp. 5
3. Favis-Mortlock D. The Extent of Soil Erosion. 2005. <http://soilerosion.net/>. World soil information. Global Assessment of Human-induced Soil Degradation (GLASOD). 1992.  
<http://www.isric.org/UK/About+ISRIC/Projects /Track+Record /GLASOD.htm>.
4. Abdulkadyrova M.A , Dikinovb A.H., Tajmashanova H.E., Shidaeva L.A. Shidaevaa E.A. Global Food Security Problems in the Modern World Economy. International Journal of Environmental & Science Education. 2016, Vol. 11, No. 12, pp. 5320-5330.
5. Higgitt D. Soil erosion and soil problems. Progress in Physical Geography: Earth and Environment. 17,4. 1993. pp. 461-474.

UDC 556.537

## MODELING OF WASHING-OUT OF NON-CONVERSE SOILS

A. Bagration-Davitashvili, I. Inashvili, \*L. Dzienis, V. Khorava

(Georgian Technical University)

(\* Bialystok University of Technology)

**Abstract:** *Laboratory data are more often used to predict the onset of channel deformation, mainly due to the difficulty of performing full-scale studies. In addition, the results of field studies are not always reliable and in terms of accuracy they are not so rarely inferior to laboratory ones based on the theory of similarity.*

*Comparison of observational speeds for cohesive soils in full-scale and laboratory conditions shows, that the scouring speeds established by the erosion of samples (fragments) of undisturbed addition under laboratory conditions are significantly higher, than those for the same soils recorded in nature.*

*The Model, that describes relationship between eroding and non-blurring permissible flow rates show good convergence between experimental and off-field observations.*

**Key words:** *non-converse soils; theory of similarity; soil erosion; modeling of soil erosion.*

### 1. INTRODUCTION

Laboratory data are more often used to predict the onset of channel deformation, mainly due to the difficulty of performing full-scale studies. In addition, the results of field studies are not always reliable and in terms of accuracy they are not so rarely inferior to laboratory ones based on the theory of similarity [1].

The theory of similarity is based on three theorems:

1. If physical processes are similar to each other, then similar criteria for the similarity of these processes have the same magnitude.
2. Equations describing physical processes can be represented, as a functional connection between similarity criteria.

3. Kirpichev-Guhman Theorem. In order for physical processes to be similar to each other, it is necessary and sufficient, that these processes are qualitatively the same and their like-defining criteria are numerically identical.

By qualitatively the same we mean such processes, the mathematical description of which coincides in everything, except for the named numbers contained in them.

The processes of erosion, the destruction of various soils mainly occur due to the movement of viscous liquids, as well as their interaction with the base, composed of different soils.

In modeling, hydromechanical and mechanical similarities are of particular importance. Therefore, the main criterial dependences of erosion processes will be the equations of hydromechanics.

## 2. THE BODY OF THE ARTICLE

In the case of stationary fluid motion, the phenomenon of flow around a spherical body is determined by three similarity numbers: Euler, Froude and Reynolds. These criteria are known to be based on Newton's criteria.

$$f = m \frac{dV}{d\tau} \quad (1)$$

where  $f$  is force;  $m$  is the mass;  $V$  is the flow rate (or rate of particles);  $\tau$  - characteristic time interval

If we compare the two systems, then for the first we have:

$$f_1 = m_1 \frac{dV_1}{d\tau_1} \quad (2)$$

and for the second:

$$f_2 = m_2 \frac{dV_2}{d\tau_2} \quad (3)$$

For resembling points of similar systems, the similarity constants have the form:

$$\frac{f_1}{f_2} = C_f; \quad \frac{m_1}{m_2} = C_m; \quad \frac{\tau_1}{\tau_2} = C \quad (4)$$

If we express the variables of system I in terms of the variables of system II and add them to equation (2), we get:

$$C_f f_2 = C_m M_2 \frac{C_v dV}{C_\tau d\tau} \quad (5)$$

After conversion:

$$\frac{C_f C_\tau}{C_m C_v} = m_2 \frac{dV}{d\tau} \quad (6)$$

The last equation is identical to equation (3) provided

$$\frac{C_f C_\tau}{C_m C_v} = 1 \quad (7)$$

In the theory of similarity, these quantities are called indicators of similarity. The selection of similarity constants is limited by the following condition:

$$\frac{V_f C_\tau}{C_m C_v} = \frac{(f_1/f_2)(\tau_1/\tau_2)}{(m_1/m_2)(V_1 V_2)} \quad (8)$$

или

$$\frac{f_1 \tau_1}{m_1 V_1} = \frac{f_2 \tau_2}{m_2 V_2} = idem \quad (9)$$

Thus, provided, that the two systems are similar, only three values can be changed arbitrarily, and the value of the fourth will be determined by the equation (9).

The dimensionless complexes  $f\tau/mV$  are the invariant of similarity and for the two systems under study (model and nature) must have the same numerical values.

In the similarity theory are widely used modified similarity criteria. Modification is used in the case, when the physical parameters included in the similarity criteria cannot be established experimentally. Then they are eliminated by the combination of two, or more similarity criteria and thereby themselves get the new arbitrary criteria. For example, from the Reynolds and Froude criterion new dimensionless complex is obtained, called the Galileo criterion:

$$\frac{Re^2}{Fr} = \frac{V^2 l^2 \rho_0^2 g l}{\mu^2 V^2} = \frac{l^3 \rho_0^2 g}{\mu^2} = Ga \quad (10)$$

The obtained criterion in such flows is characterized by the ratio of the forces of molecular friction and the forces of gravity.

As a result of multiplying the Gallileo criterion by the dimensionless simplex  $(\rho - \rho_0)/\rho_0$ , we obtain the Archimedes criterion

$$Ar = \frac{Re^2}{Fr} \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} = \frac{l^3 \rho_0^2 g}{\mu^2} \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} = \frac{l^3 g}{\mu^2} \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \quad (11)$$

where  $\rho$ ,  $\rho_0$  respectively the density of water and soil particles,  $\text{kg} / \text{m}^3$ .

Archimedes criterion characterizes the balance of gravity, lift force and friction.

It can be considered, as a combination of two numbers of similarity, Reynolds and Richardson:

$$Re^2 \cdot Ri = \frac{Re^2}{Fr} \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \quad (12)$$

$$Ri = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \frac{g l}{V^2} \quad (13)$$

When modeling complex processes with which we deal with the interaction of flow with the

moving bottom, depending on a large number of variable parameters, a number of criteria are required to describe them. But the equality of some of them in some cases cannot be obtained. Then for approximate similarity it is necessary to limit oneself to the similarity of the most essential factors.

When the influence of physical quantity (or complex of quantities) can be neglected, the process is considered self-similar with respect to this quantity and the simulation is greatly simplified.

Experiments on non-cohesive soils were modeled using the Archimedes, criterion.

Experiments were conducted in the quadratic resistance region. Experimental flows in a tray by the number of Froude were similar to full-scale ones.

### **Simulation of washing out of cohesive soils**

The degree of study of the theory of turbulence, channel processes, erosion of the channel, composed of cohesive soils, does not allow with sufficient certainty to solve a number of problems without appropriate physical modeling [2, 3].

Comparison of observational speeds for cohesive soils in full-scale and laboratory conditions shows, that the scouring speeds established by the erosion of samples (fragments) of undisturbed addition under laboratory conditions are significantly higher, than those for the same soils recorded in nature. Thus, the use for practical calculations of the results obtained in the laboratory by washing out samples of relatively small sizes is associated with a certain risk.

When testing samples in the laboratory does not take into account a number of factors observed in nature. As established by studies begun in the 50s, the main factors are: changes in the strength properties of soils (fatigue strength) with decreasing sample sizes and changes in the pulsating nature of flow rates.

The effect of a change in the pulsation nature when, conducting laboratory and field experiments is manifested in the fact, that the ratio of maximum instantaneous bottom velocities at a point to their resolute values at the same point  $V_{\Delta max}/\bar{V}_{\Delta}$ , which characterizes the blurring ability of the flow, differs significantly in laboratory and field flows.

Considering, that the integral indicator characterizing the resistance of cohesive soils to erosion is an indicator of soil cohesion, translating laboratory data into nature, it is necessary to keep in mind the degree of change in strength with changes in sample size, which can be approximately characterized by the scale factor.

Experimental data on the erosion of samples of cohesive soils suggests, that their resistance to erosion depends on the geometric dimensions of the sample and decreases with increasing its area.

This should be explained by the probabilistic nature of the fatigue fracture of the surface of a cohesive soil during erosion.

Analyzing the effect of sample size on its mechanical, strength properties and, therefore, on erosion resistance, it can be noted, that the probability of having the weakest points, inhomogeneities, flaws, defects on the surface of initiating erosion specimens will obviously increase with its sizes. The technology of manual selection of monoliths in the field also influences the probabilistic growth of strength properties for small samples.

The issue of taking into account the scale factor in modeling has been considered in many papers.

One of the first, explaining the manifestation of the scale effect, is the work of Griffiths [4].

Such a process of erosion of the soil model and nature should be considered such, that at appropriate points, the depth of erosion in the model, or determined their non-blurring speeds are either equal to the erosion in kind, or constitute a certain constant part.

In this aspect, the erosion of the channel can be considered similar if the ratio between the bottom and non-washed speeds in nature and in the model is the same, i.e.

$$V_{\Delta}/V_{\Delta m} = idem \quad (14)$$

where  $V_{\Delta}$  is the bottom flow velocity at the height of the roughness protrusions in nature;  $V_{\Delta m}$  is the bottom velocity in the model.

Here, to eliminate the influence of the nature of the velocity distribution from the analysis of the process, instead of the ratio of average speeds, the ratio of bottom ones is taken, since the velocity field in nature and model should be similar.

If the relationship between bottom and non-blurring rates in nature and in the model is the same, the erosion processes will be similar.

Depending on  $C_y^h/C_{ym}^h$  the ratio between the endurance limit for field and laboratory conditions is expressed by the coefficient, that takes into account the scale effect  $\varepsilon$ :

$$V_{\Delta}^2 = V_{\Delta M}^2 \frac{K \varepsilon n_M}{K_m n} \quad (15)$$

or

$$V_{\Delta} = V_{\Delta M} \sqrt{\frac{K \varepsilon n_M}{K_n}} \quad (16)$$

The value of  $\varepsilon$  can be set according to V.S. Ivanova, describing the manifestation of the Weibul scale effect. In the first approximation,  $\varepsilon$  can be taken equal to 0.58.

In order to obtain convenient dependency, we approximately take  $K_m = K$ , and also introduce in (16) the averaged, frequently used value = 4.0 and  $n_m = 1,25$ .

Then, when soil samples of undisturbed addition are selected in the model, selected in field conditions, non-flushing bottom velocity for environmental conditions, depending on the model values, can be set:

$$V_\Delta = 0.42V_{\Delta M} \quad (17)$$

Considering the commonly used relationship between eroding and non-blurring permissible flow rates:

$$V_{\Delta p} = 0.41V_{add.} \quad (18)$$

Sieve diameter, mm	6-4	4-2	3-1	1,5-0,5	1-0,5	0,6-04
Average particle diameter, mm	5	3	2	1	0,75	0,5

### 3. CONCLUSION

The results of such experiments selected in field conditions, when compared with the data of field observations, show good convergence.

### REFERENCES

1. Assessing, Measuring and Modelling Erosion in CalanchiAreas: a Review. N. A. Caraballo-Arias, Vito Ferro. Journal of Agricultural Engineering, Vol 47, No 4. 2016.
2. W.S. Merritt a, R.A. Letcher, A.J. Jakeman. A Review of Erosion and SedimentTransport models. Environmental Modelling & Software 18. 2003, pp.761–799
3. A. Pandeya, S. K.Himanshu, S.K.Mishraa, V. P.Singhb. Physically Based soil Erosion and Sediment Yield ModelsRevisited. CATENA Volume 147, 2016, pp. 595-620
4. Modelling the Effects of Vegetation on Stability of Slopes. Y. H. Chok, W. S. Kaggwa, M. B. Jaksa, D. V. Griffiths. Conference: 9th Australia New Zealand Conference on Geomechanics, Vol. 1. 2004. pp. 391–397.

შაგ 627.521.1

## მდ. რიონის წყალგამყოფი ჰიდროპარანძის ქვედა პირზე ნგრევის მიზანები და სარგაბილითაციო ღონისძიებები

შ. გაგოშიძე, ი. ქადარია, ივ. სალინაძე, მ. კოდუა,  
ი. მოსავლიძე

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

(აკაკი წერეთლის უნივერსიტეტი, 4600, თამარ მეფის 60, ქ. ქუთაისი, საქართველო)

**რეზიუმე:** ნაშრომი ეძღვნება ქალაქ ფოთთან, მდინარე რიონზე აგებული წყალგამყოფი ჰიდროპარანძის კაშხლის ქვედა ბიეფის ნგრევის მიზეზების გამოკვლევას. ნაჩვენებია, რომ ეს ნგრევები განაპირობა არა მშენებლობის ხარისხმა, არამედ ჰიდროპარანძის დაპროექტებისას სხვადასხვა პერიოდში ქვედა ბიეფის რეაბილიტაციის მიზნით გატარებულ ღონისძიებათა ჰიდრავლიკური გაანგარიშებებისას დაშვებულმა უზუსტობებმა. დაბალზღუდებლიანი კაშხლების ბიეფების შეუდლების ჭავლურ თეორიაზე დაყრდნობით, ნაშრომში შემოთავაზებულია მდ. რიონის წყალგამყოფი კაშხლის დანგრეული ქვედა ბიეფის რეაბილიტაცია-რეკონსტრუქციის გზა, რომელიც კაპიტალურად დაიცავს კაშხლის ქვედა ბიეფს გამორეცხვებისა და ნგრევებისგან.

**საკვანძო სიტყვები:** ქვედა ბიეფი, წყალგამყოფი ჰიდროპარანძი, ტალღა, რეაბილიტაცია.

### 1. შესავალი

ნებისმიერი სამდინარო ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ხანგრძლივ და საიმედო ექსპლუატაციას, გარდა მისი კონსტრუქციული გადაწყვეტისა და მშენებლობის ხარისხისა, ძალზე ხშირად განსაზღვრავს დაპროექტების სტადიაზე კალაპოტური პროცესების სწორი პროგნოზირება. ეს საკითხი, მიუხედავად მრავალი თეორიული მცდელობისა, ამჟამად ფიზიკური მოდელირების საფუძველზე ძირითადად წყდება

ჰიდროგლიკურ ლაბორატორიებში. მაგრამ ხშირად შეუძლებელია მოდელირების კრიტერიუმების სრული დაცვა და კალაპოტის გრუნტის სამოდელე მასალის იმგვარი შერჩევა, რომ მან უზრუნველყოს წარეცხვის პროცესების ადეკვატურობა ნატურასა და ჰიდროგლიკურ ლაბორატორიებში. შედეგად, ნაგებობის ექსპლუატაციის პერიოდში შეიძლება განვითარდეს დეფორმაციები და გამოვიდეს იგი მწყობრიდან.

ამ მიზეზით საქართველოში მრავალი ჰიდროკვანძის ქვედა ბიეფი მნიშვნელოვნადაა დაზიანებული და საჭიროებს რეაბილიტაციას, მათ შორის აღსანიშნავია მდინარე რიონის შესართავ აკვატორიებში არსებული წარეცხვები და მათი აღმოფხვრის მიზნით წარუმატებლად განხორციელებული საინჟინრო ღონისძიებები.

## 2. მიზანთაღი ნაწილი

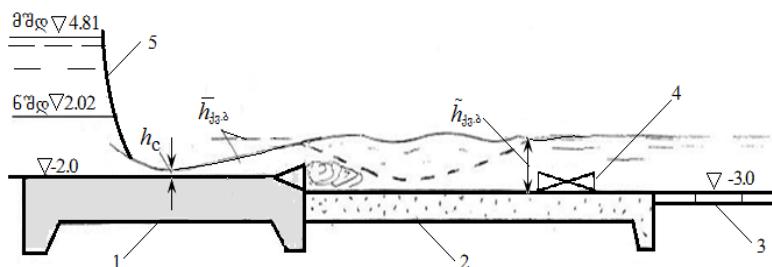
XX საუკუნის 50-იან წლებში ქალაქ ფოთიდან მე-7 კილომეტრზე აშენდა წყალგამყოფი ჰიდროკვანძი, რომელმაც მდ. რიონი დაუსახლებელი ტერიტორიების გავლით მიმართა ფოთის პორტის ჩრდილოეთით, ხოლო ქალაქის არხით ტარდებოდა მხოლოდ 400 მ3/წმ-მდე ხარჯი, რომელსაც უნდა უზრუნველებელი ნატანის ადრე არსებული ბალანსის შენარჩუნება. ამ საკმაოდ ძვირადღირებული პროექტის განხორციელებით, მართალია, ქალაქის ტერიტორია გადაურჩა დატბორვებს, მაგრამ სამაგიეროდ ვერ შენარჩუნდა სანაპირო ზოლის სტაბილურობა და ზღვის ქვეშ მოექცა საშუალოდ 2 კმ სიგანის სანაპირო ზოლი. ამასთან, დაისილა ჩრდილოეთით მდ. რიონის ახალი შესართავი უბანი, რამაც უარყოფითი ზეგავლენა მოახდინა ფოთის ნავსადგურის შესასვლელი არხის ქმედითუნარიანობაზე და, აქედან გამომდინარე, გამოიწვია პორტის საექსპლუატაციო ხარჯების ზრდა.

ფოთის სანაპირო ზოლში, ნავსადგურიდან მდ. რიონის შესართავამდე, მოსახლეობა იძულებული იყო გადასახლებულიყო. მიუხედავად იმისა, რომ 80-იან წლებში ნაპირის წარეცხვის პროცესების შესაჩერებლად სანაპირო ზოლის მთლიან პერიმეტრზე ჩაიყარა ქვის უზარმაზარი ლოდები. ისინი მაღლე ჩაიძირა წყლით გაჯერებულ წვრილ ქვიშაში და ზღვამ მაინც განაგრძო ფოთის ნაპირის წარეცხვა. ამჟამად ფოთს ფაქტობრივად არა აქვს პლაჟის ვიწრო ზოლიც კი და კვლავ გრძელდება ზღვის შემოტევა.



**ნახ. 1. წყალგამყოფი პიდროკვანძის რაბ-რეგულატორის  
ხედი ქვედა ბიეფიდან**

კაშხლის ქვედა ბიეფის ნაგებობები შედგებოდა (დანგრევამდე) 20 მ სიგრძისა და 1,2 მ სისქის წყალსაცემი ფილისა და 40 მ სიგრძის რისბერმისგან, რომლებიც ერთმანეთის მიყოლებით განლაგებული იყვნენ ერთ პორიზონტზე, ზღვის დონის ქვევით -3 მ ნიშნულზე. წყალსაცემი ფილა კაშხლიდან 12 მ-ში აღჭურვილი იყო 1,5 მ სიმაღლის ენერგიის ჩამქრობი სამკუთხა კ.წ. რებოკის კბილების რიგით (ნახ. 2).



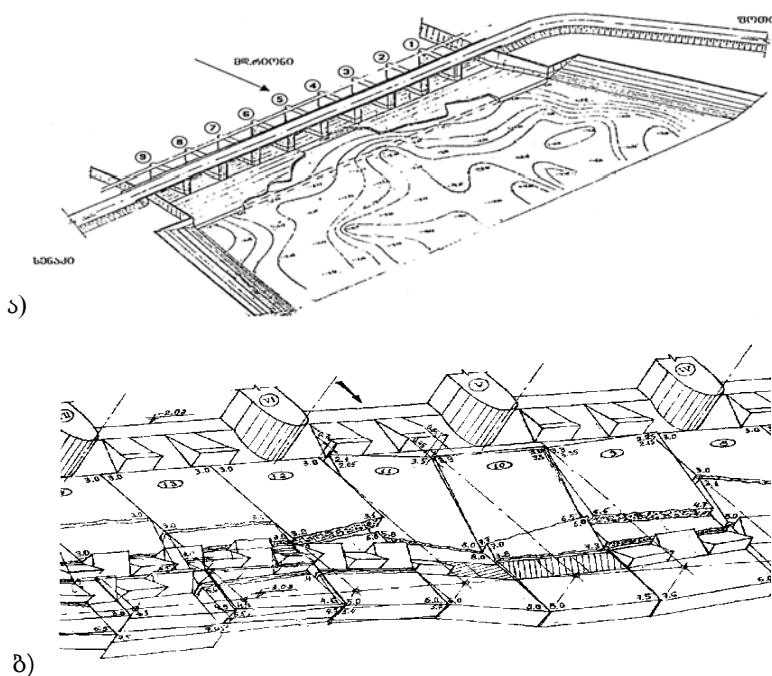
**ნახ. 2. წყალგამყოფი კაშხლის ქვედა ბიეფის სქემატური ჭრილი დანგრევამდე.  
სურათზე წარმოდგენილია ბიეფების შეუდლების არასასურველი რეჟიმები:**

1. წყალსაშვის ფუძის ფილა;
2. წყალსაცემი ფილა;
3. რისბერმა;
4. რებოკის კბილები;
5. სეგმენტური საკეტი

გასული საუკუნის 70-იანი წლების ბოლოს, წყალგამყოფი პიდროკვანძის კაშხლის წინ წარეცხვის სიღრმეებმა მიაღწია 8-9 მ-ს და წარეცხები უშუალოდ მიუახლოვდა კაშხლის ქვედა ბიეფში მოწყობილ რისბერმას. ამასთან დაკავშირებით საქართველოს წყალთა მეურნეობის სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტის რეკომენდაციებით „საქწყალპროექტმა“ შეიმუშავა კაშხლის ქვედა ბიეფის გამაგრების პროექტი. კაშხლიდან 80 მ-ის დაშორებით, მდინარის კალაპოტის განივად, ჩასვეს ლითო-

ნის ნარანდი, რომელმაც გადაღობა მდინარის კალაპოტი -3 მ ნიშნულამდე. ამავე დროს რისბერმასა და ნარანდს შორის არსებული წარეცხილი ფსკერი ამოავსეს დიდი ზომის ლოდებით თავდაპირველ საპროექტო ნიშნულამდე. პროექტი 1982-83 წწ. განახორციელა „კოლხიდმშენია“, მაგრამ ამ ღონისძიებამ არა თუ შეაფერხა, არამედ კიდევ უფრო მეტად შეუწყო ხელი ქვედა ბიეფის წარეცხვისა და ნგრევის პროცესების განვითარებას.

ამჟამად აღარ არსებობს რისბერმა, დამსხვერეულია წყალსაცემი ფილის უდიდესი ნაწილი, განსაკუთრებით, კაშხლის ცენტრალური 4, 5 და 6 მალების წინ (ნახ. 3. ა, ბ) და, როგორც უკანასკნელ პერიოდში ჩატარებულმა დაპვირვებამ აჩვენა (შპს „ჰიდროსფერო“), გამორეცხის ღრმულებმა შეადგია უშუალოდ კაშხლის ტანის წყალსაშვი ფილის – საძირკვლის ქვეშაც.



ნახ. 3. წყალგამყოფი კაშხლის ქვედა ბიეფის ნგრევების კონტურისა (ა) და დამსხვრეული წყალსაცემი ფილების (ბ) ესკიზური ნახატები („საქწყალპროექტი“ 2006-2007 [3])

ამრიგად, მდ. რიონზე აგებულმა არც კაპიტალურმა და არც დროებითმა საინჟინრო ნაგებობებმა და ღონისძიებებმა ფაქტობრივად არა თუ ვერ გაამართლა თავისი ფუნქციური დანიშნულება, დაეცვათ ფოთის ნაპირი წარეცხებისაგან, არა-მედ თვითონვე გამოვიდნენ მწყობრიდან.

ცხრ. 1-ში და ნახ. 4-ზე ნაჩვენებია სხვადასხვა წელს კაშხლის ქვედა ბიეფის კალაპოტში დაფიქსირებული ფსკერის მინიმალური ნიშნულები (ანუ წარეცხვის მაქსიმალური სიღრმეების შესაბამისი ნიშნულები), ათვლილი ბალტიის ზღვის ეტალონური დონიდან. თვით შავი ზღვის ზედაპირი ქალაქ ფოთთან -0.61-დან +0.2 ნიშნულებს შორის მერყეობს.

### ცხრილი 1.

#### ფსკერის ნიშნულის ცვლილება კაშხლის ქვედა ბიეფის კალაპოტში

წელი	1960	1968	1977	1979	1980	1981	1982	1997	2000	2003	2004
ქვედა ბიეფის წარეცხვის ნიშნულები	-5.0	-6.5	-8.0	-9.5	-10.5	-12.0	-9.4	-10.5	-12.8	-8.2	-8.7
დაშორება წყალსაცემიდან, მ	70	70	60	65	60	70	80	45	40	25	25

გარდა ამისა, პროფ. შ. გაგოშიძის პიდრავლიკური გაანგარიშებებით [2,3] წყალსაცემი ფილის სისქე (0,4 მ) კაშხლიდან მდინარის საშუალო ხარჯის გაშვებისას (300 მ<sup>3</sup> /წმ-მდე, რაც ხდებოდა კაშხლის ცენტრალური ფარების ნაწილობრივი გადებით) არასაკმარისი აღმოჩნდა იმისთვის, რომ წყალსაცემ ფილებს გაეძლო ხანგრძლივი პულსაციური და ტალღური დატვირთვებისთვის (რასაც დამატებით ამძაფრებდა რებოკის კბილები) და არ დამსხვრეულიყო კაშხლის თითქმის მთელ სიგრძეზე;

ამავე დროს როგორც პროექტის [8], ასევე 80-იანი წლების დასაწყისში გატარებულ სარეაბილიტაციო ღონისძიებათა მთავარ ნაკლად უნდა ჩაითვალოს ის გარემოება, რომ მათი შემუშავებისას მხედველობაში არ იყო მიღებული მოსალოდნელი კალაპოტური პროცესები, რომლებმაც გადამწყვეტი როლი შეასრულეს რისბერმისა და ნაწილობრივ წყალსაცემი ფილის დანგრევაში. კალაპოტური პროცესების უგულებელყოფა პროექტში აისახება იმ ფაქტით, რომ პროექტის მიხედვით რისბერმა განლაგებული იყო მაღალ, -3 მ ნიშნულზე და შედგებოდა  $2 \times 2 \times 0,4$  მ ზომის ერთმანეთთან ხისტად შეკავშირებული რკინაბეტონის ფილებისგან, ნაცვლად უფრო მძიმე (მინიმუმ 0,8 მ-მდე სისქის) [3, 7] მოქნილად შეკავშირებული ფილებისა. ამასთან, რისბერმა წინასწარვე უნდა ყოფილიყო დახრილად ჩაღრმავებული კალაპოტის ფსკერში. რაც შეეხება ნარანდის ჩასმას, 80-იან წლებში გატარებული სარეაბილიტაციო ღონისძიებების გატარებისას ან საერთოდ არ უნდა განხორ-

ციელებულიყო, ან თუ მიმართავდნენ ამ ღონისძიებას, ნარანდსა და წყალსაცემ ფილტრების შორის არსებულ გამორეცხვის ღრმულებში ჩაყრილი ლოდების ზედაპირი აუცილებლად უნდა გადაებეტონებინათ. წყალშეუღწევი ზედაპირის უქონლობის გამო ქვანაყარი იოლად დაექვემდებარა გამორეცხვების და ლოდები (რომლებიც თავადვე უწყობდა ხელს ნაკადის ტურბულენტობის ზრდას), მოკლე ხანში აღმოჩნდა სრულიად ჩაძირული მდინარის ფსკერის გათხვადებულ გრუნტში (მდ. რიონის შესართავი უბნის ფსკერი, რომელიც შედგება საშუალოდ 0,4 მმ დიამეტრის მარცვლებისგან, ირეცხება მდინარის ფაქტობრივად ნებისმიერ სიჩქარეზე. ამიტომ შეიძლება ითქვას, ფსკერი სინქრონულად „სუნთქვავს“ მდინარის ხარჯის მცირეოდენ ცვლილებასთან ერთად).

სხვადასხვა ორგანიზაციების მიერ სხვადასხვა წლებში ჩატარებული წყალქვეშა აგეგმვების გარდა, კაშხლის ქვედა ბიეფის წარეცხვები თეორიულად იქნა შეფასებული – 2003 წელს პროფესორმა შ. გაგოშიძემ კაშხლის ქვედა ბიეფში წარეცხვის ღრმულების მაქსიმალური მნიშვნელობებისა და ამ ღრმულების კაშხლიდან დაშორების საანგარიშოდ ჩამოაყალიბა შემდეგი პოსტულატები [1, 3]:

ა) წყნარ რეჟიმში, როცა ფრუდის რიცხვი ნაკლებია ერთზე ( $Fr < 1$ ) მდინარის ფსკერის წარეცხვის მაქსიმალური სიღრმე ემთხვევა მდინარის თანაბარი მოძრაობის შესაბამის სიღრმეს, დადგენილს შეზის კანონის საფუძველზე წყლის ნაკადის ზედაპირის მოცემული ნიშულებისა და ქანობის მეშვეობით;

ბ) თუ ბიეფები ზედაპირული პიდრავლიკური ნახტომით უდლდებიან ერთმანეთთან, წარეცხვის ეს მაქსიმალური სიღრმეები დაშორებულია წყალსაცემიდან იმ მანძილზე, რა მანძილზეც პორიზონტალურად მიმართული ტურბულენტური ჭავლის სიჩქარე ქვედა ბიეფის წყნარ ნაკადში ეცემა ამ ნაკადის თანაბარი მოძრაობის სიჩქარემდე.

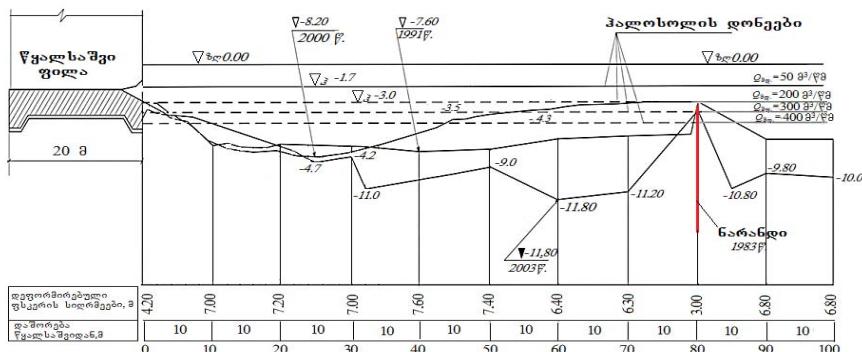
ამ პოსტულატებით სარგებლობისას გათვალისწინებული იყო, რომ ზღვის ნულოვან დონეზე კაშხალთან მიმდებარე კალაპოტის სიგანე (205 მ) განიცდის მცირე ცვალებადობას კალაპოტის სიღრმესთან შედარებით. ქვედა ბიეფში მდ. რიონის კალაპოტი აპროქსიმირებულ იქნა პარაბოლის სახით, ხოლო მდინარის თავისუფალი ზედაპირის ქანობები გაანგარიშდა ზღვიდან 6 კმ-ში მდებარე კაშხლის კვეთში დაფიქსირებული წყლის ზედაპირის ნიშნულების საფუძველზე [4]. ამასთან, კალაპოტის სიმქისის კოეფიციენტი ნარანდის ჩასმამდე მიჩნეულ იქნა  $n = 0,04$ -ად, ხოლო ნარანდის ჩასმის გათვალისწინებით  $n = 0,06$ -ის ტოლად. რაც შეეხება მეორე

პოსტულატის საფუძველზე მდინარის სხვადასხვა ხარჯის შესაბამის წარეცხვის მაქსიმალური სიღრმეების დაშორებას წყალსაცემიდან, ისინი გაანგარიშებულ იქნა დამირული ჭავლური ნაკადების თეორიის ცნობილი მკვლევრის – აბრამოვიჩის ფორმულის საფუძველზე [4,6]:

$$X = \frac{h_0}{0.08} \cdot \left( 0.48 \cdot \frac{V_0}{V_{\text{დ.}}} - 0.145 \right),$$

სადაც  $h_0$  და  $V_0$  ტურბულენტური ჭავლის სიღრმე და სიჩქარეა წყალსაცემი ფორმის თავზე;  $V_{\text{დ.}}$  – პირველი პოსტულატის საფუძველზე შეზის ფორმულით დადგენილი მდინარის თანაბარი სიჩქარე კალაპოტის ქვედა ბიეფში.

ამ მიდგომამ, არსებული ემპირიული ფორმულებისგან განსხვავებით, თითქმის ზუსტად ასახა კალაპოტის გარეცხვის ის მაქსიმალური სიღრმეები და წყალსაშვიდან მათი დაშორების კოორდინატები, რომლებიც გაზომვებით იყო დადგენილი (ნახ. 4. და ცხრ. 2). კერძოდ, ცხრილ 3.5-ის თანახმად, ნარანდის ჩასმამდე კაშხალთან მიმდებარე მდინარის კალაპოტის გარეცხვის მაქსიმალური ნიშნული  $\nabla_{\text{ფ.}} = -9,4$  მ (რომელიც შეესაბამება წყალდიდობის 3610 მ<sup>3</sup>/წ ხარჯის გატარებას) მყარდება წყალსაცემიდან 60,5 მ-ში. ხოლო ნარანდის ჩასმის შემდეგ ფსკერის წარეცხვის ნიშნული აღწევს  $\nabla_{\text{ფ.}} = -13$ -ს. ის განთავსებულია ნარანდსა და წყალსაცემს შორის.



ნახ. 4. მდ. რიონის წყალგამყოფი პიღროკვანძის კაშხლის ქვედა ბიეფის დეფორმირებული ფსკერის ნიშნულები და ჰალოსოლის დონეები ნარანდის ჩასმამდე (---) და ნარანდის ჩასმის შემდეგ (—)

გარდა იმისა, რომ ნარანდის ჩასმამ კალაპოტში გაზარდა და მიუახლოვა წარეცხვის სიღრმეები კაშხალს, ამ ღონისძიებამ დააჩქარა კიდევ კაშხლის ქვედა ბიეფის დეფორმაციების ტემპებიც. საქმე იმაშია, რომ ვიდრე ნარანდის ბარიერი

ჩაისმებოდა კალაპოტში, ქიმით -3,0 ნიშნულამდე, ზღვის შედარებით დიდი სიმკვრივის მქონე წყალი (პალოსოლი) მდინარის კალაპოტში საკმაოდ დიდი ხარჯების გავლის დროსაც კი აღწევდა კაშხლამდე, ფარავდა რა წყალსაცემ ფილას, ხოლო კაშხალზე 300-400  $\text{m}^3/\text{მ-მდე}$  ხარჯების გავლისას რისბერმის ფარგლებში ქმნიდა უძრავ წყლის ბალიშს, რის გამოც, ამ შუალედური ხარჯების გავლისას მდინარის მტკნარი წყლის ნაკადი ფაქტობრივად არ ზემოქმედებდა ფსკერზე. ზღვის წყლის ეს უძრავი ბალიში მხოლოდ ხელს უწყობდა მდინარის მყარი ჩამონადენის სწრაფ დალექვას ფსკერზე, რითიც კიდევ უფრო მეტად აფერხებდა წარეცხვის პროცესებს რისბერმის წინ მდებარე კალაპოტში.

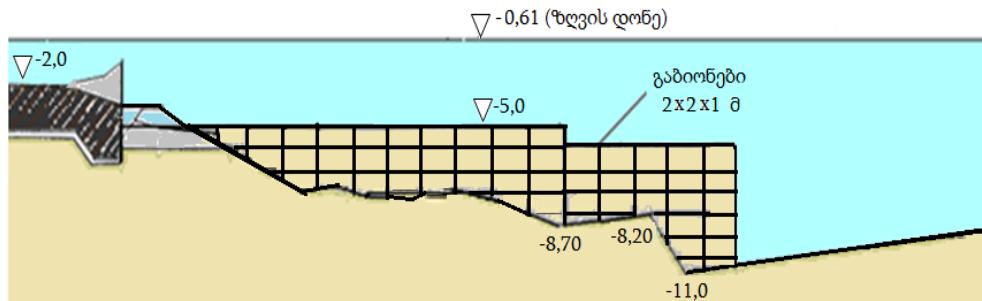
## ცხრილი 2

### მდ. რიონის წყალგამყოფი კაშხლის ქვედა ბიეფის პიდრავლიური მახასიათებლები

გადაჭრის დრო, გვ/წელი	V, $\text{m}^3/\text{s}$	H, $\text{m}$	H <sub>0</sub> , $\text{m}$	ნარანდის ჩასმამდე				
				Q <sub>1</sub> , $\text{m}^3/\text{s}$	Q <sub>2</sub> , $\text{m}^3/\text{s}$	Q <sub>3</sub> , $\text{m}^3/\text{s}$	Q <sub>4</sub> , $\text{m}^3/\text{s}$	Q <sub>5</sub> , $\text{m}^3/\text{s}$
400	3,45	2,69	0,90	5,30	0,55	-4,76	94,5	-6,16
600	3,90	2,20	250	5,80	0,76	-4,90	60,7	-6,50
800	4,20	2,27	2,00	6,30	0,93	-5,10	53,9	-6,84
1100	4,51	2,49	2,50	13	213	-5,64	525	-61
1380	4,75	2,08	2,90	82	299	-6,307	33	-8,22
1960	5,04	2,78	3,40	9,21	256	-17	44,8	-9,70
2400	5,26	3,26	3,80	10,0	275	-79	49,3	-10,54
292	5,47	3,81	4,10	1205	293	-8,58	54,9	-1263
3610	5,74	4,49	4,60	12,13	2,18	-9,39	60,5	-12,76

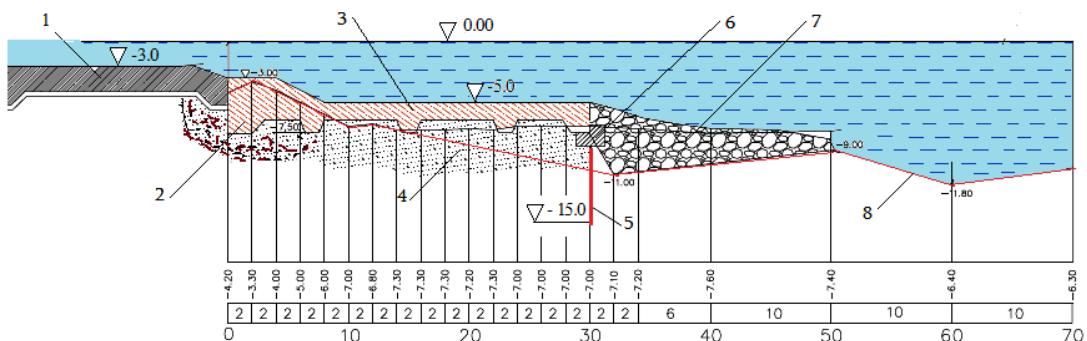
ამრიგად, მდინარის კალაპოტში ნარანდის მოწყობამ შეფერხების ნაცვლად დააჩქარა წარეცხვისა და ნგრევის პროცესები კაშხლის ქვედა ბიეფში, რის გამოც კაპიტალური სარეაბილიტაციო სამუშაოების ჩატარების შემდეგ, მიზანშეწონილია მოხდეს მისი დემონტაჟი (თუმცა კაპიტალურ სარეაბილიტაციო სამუშაოთა განხორცილების პროცესში იგი შეიძლება ნაწილობრივ გამოყენებული იქნეს კიდევ სამშენებლო ზღუდარის სახით).

დროებითი სარეაბილიტაციო ღონისძიებები მსოფლიო ბანკის პურატორობით განახორციელა „საქართველოს გამორჩევის“ 2005-2006 წლებში და ითვალისწინებდა გამორჩევის ქვედა ბიეფში მაკაფერის გაბიონების ჩაწყობას (ნახ.5), რაც „კოლხიდმჰენის“ მიერ შესრულებული სამუშაოსგან განსხვავებით, ამ ეტაპზე დადებითად უნდა იქნეს შეფასებული, თუმცა სულ უკანასკნელმა დაკვირვებებმა გვიჩვენა, რომ გაბიონები ქვედა ბიეფის ფსკერში მაინც ჯდება.



ნახ. 5. კაშხლის ქვედა ბიეფის გამაგრება გაბიონების მეშვეობით  
„საქართველოს გამორჩევის“ 2006-2007)

მდ. რიონის წყალგამყოფი პიდროკვანძის კაშხლის კაპიტალური რეაბილიტაციისთვის ჩვენ რეკომენდაციას ვუწევთ წყალსაცემი ფილის მოწყობას უფრო დაბალ – -5 მ ნიშნულზე, 1,5 მ სისქით, მის ბოლო კბილთან ჩასმული უნდა იყოს ნარანდი -15 მ ნიშნულამდე (ნახ. 6). ეს ღონისძიება კაპიტალურად დაიცავს წყალგამყოფი კვანძის კაშხალს ქვედა გამორჩევებიგან.



ნახ. 6. მდ. რიონის წყალგამყოფი კვანძის ქვედა ბიეფის რეაბილიტაციის სქემა:  
1. წყალსაცემი; 2. სიღრუეთა ცემენტაცია; 3. წყალსაცემი ფილი; 4. ქვიშის ფენა;  
5. ნარანდი; 6. ბოლვერკი; 7. ქვიშით შევსებული ტომრები.  
8. წარეცხვის კონტური (2003 წ.)

## ლიტერატურა

1. გაგოშიძე შ., მეტრეველი თ., ქადარია ი., დოხნაძე კ., ლაკერბაია გ. კალაპოტური პროცესებისა და ზღვის ფაქტორის გავლენა მდ. რიონის წყალგამყოფი კვანძის კაშხლის ქვედა ბიეფის მდგრადობაზე, სამეცნ-ტექნ. ჟურნალი „ენერგია“ თბილისი, 2004, № 2(30), გვ. 46-51.
2. გაგოშიძე შ. კოდუა მ., საღინაძე ი., ქადარია ი. სამდინარო ჰიდრომშენებლობა და საქართველოს შავიზღვისპირეთის გეომორფოლოგიური პროცესები. მონოგრაფია, ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 2017. 192 გვ.
3. მდინარე რიონის წყალგამყოფი კვანძის ჰიდრავლიკური გაანგარიშება და კაშხლის ქვედა ბიეფის სარეაბილიტაციო ღონისძიებათა შეფასება. ენერგეტიკისა და ენერგეტიკულ ნაგებობათა სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი. თბილისი 2003. 52 გვ.
4. Gagoshidze Sh., Kadaria J., Long wave on variable stationary flow, Proceedings of Long Waves Symposium, in parallel with the XXX IAHR Congres, Thessaloniki, Greece, August 25-27, 2003. p. 223-228.
5. Защита от размыва русел нижних бьефов водосбросов (рекомендации по проектированию). -М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1974.
6. 116. Киселев, П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам [Текст] / П.Г. Киселев. – М.: Энергия, 1972.–312 с.
7. Музаев И.Д. Задачи о волновом движении воды в водохранилищах в приложении к гидротехническому строительству в горных и предгорных условиях. В сб.: Гидрофизические процессы в реках и водохранилищах. М.: Наука, 1985, с. 22-25.
8. Технический проект регулирующего сооружения на р. Риони с мостовым переходом. Том II, Книга 2. М.: Гипроводхоз. 1951 г.

შაბ 626.02

## წყალქვეშა დაგენტონება

ა. ახვლედიანი, ა. გოგოლაძე, გ. ახვლედიანი, ი. გოგოლაძე  
(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** წყალქვეშა დაბეჭონება ეწოდება ბეჭონის ჩაწყობას წყლის ქვეშ ხღუდა-რების მოწყობისა და წყალქცევის გარეშე. წყალქვეშა დაბეჭონება ხორციელდება ნაგებობების მშენებლობის, რეკონსტრუქციისა და ნაგებობების რემონტის დროს, კლდოვან გრუბების გაჭრილი ჭაბურღლილის გარების გამაგრებისას, ხაძირკვლის გახმორებისას, რკინაბეჭონის კონსტრუქციების ცარიელი ადგილების შესავსებად და ქვედა ხიმინჯების მოწყობის დროს.

**საკვანძო სიტყვები:** ყალიბი, წყალქვეშა დაბეჭონება, ინექციური მეთოდი, პიდროვის მეთოდი მეთოდი.

### 1. შესავალი

საქართველოსთვის, როგორც შავიზღვისპირა ქვეყნისათვის, რომლის სანაპირო ზოლი გადაჭიმულია 312 კილომეტრზე, მეტად აქტუალურია პორტების მშენებლობა და დასავლეთ საქართველოს უმსხვილესი მდინარეების – რიონის, ენგურისა და ჭორონის შესართავი უბნების მდგრადობა. უკვე რამდენიმე ათეული წელია ირეცხება საქართველოს შავიზღვისპირეთის უნიკალური პლაჟები, საჭიროა მათი გამაგრება და დაცვა ზღვის მიტაცებისაგან. ყოველივე ამისათვის მოსაწყობია პიდროტექნიკური ნაგებობები, რაც თავისთავში გულისხმობს სხვა სამუშაოებთან ერთად წყალქვეშა დაბეჭონებასაც.

ნაშრომში განხილულია წყალქვეშა დაბეჭონების თანამედროვე მეთოდები და ხერხები.

## 2. მიზანთადი ნაწილი

წყალქვეშა დაბეტონება ხორციელდება მყვინთავების დახმარებით, რომელთა დავალებაა: დაბეტონების ბლოკების მომზადება, ყალიბების დაყენება, ყალიბების ხვრელების ამოქოლვა, მილების დაყენება და თვალყურის დევნება სამუშაოების შესრულებაზე.

მოსამზადებელ სამუშაოებში შედის:

- დასაბეტონებელი უბნის გასუფთავება;
- ქვის საგების დაფარვა წვრილი ხრეშით, ქვიშით, ბეტონიანი ტომრების მომარაგება;

- ადრე დაგებული ბეტონის სუსტი ფენის მოცილება;

- ნავთობისა და მაზუთის ლაქების მოცილება;

- წყალქვეშა გამოკვლევა და აქტის შედგენა სამუშაოებზე.

წყალქვეშა დაბეტონების წარმოებისას გამოიყენება შემდეგი ტიპის ყალიბები:

- ხის ბალასტირებული ფარი;

- ხელითონის ყალიბი;

- ლითონის ბრუნვადი;

- რკინაბეტონის არაბრუნვადი.

ყალიბი, რომელიც გამოიყენება წყალქვეშა დაბეტონებისას, უნდა პასუხობდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

- ცემენტის ხსნარისთვის გაუღწევადობა, გეომეტრიული ფორმის აუცილებლობა;

- წყლის ქვეშ დაყენების სიმარტივე;

- პირაპირების სიმკვრივე.

ყალიბს გარედან ამაგრებენ ტომრებს ორ რიგად, ავსებულს 2/3-ზე ქვიშით ან ქვებით, რომლებიც თავის მხრივ შეიძლება დამატებით დაიტვირთოს ქვით. საბრუნებელი ყალიბის გამოყენებისას ბეტონთან შეხებაში მყოფი ზედაპირი დაიფარება ბიტუმით გაუღიერებით ჯვალოთი ან სინთეტიკური ქსოვილით. ბეტონირება ხდება უწყვეტ რეჟიმში საპროექტო ნიშნულის მიღწევამდე.

### წყალქვეშა დაბეტონების ხერხები

განასხვავებენ წყალქვეშა დაბეტონების შემდეგ მეთოდებს:

- ვერტიკალურად გადაადგილებადი მილებით (ვგმ);

- ამომავალი ხსნარის (ახს) გამოყენებით;
- ბეტონის ნარევის ჩაწყობით კიუბელებად;
- ბეტონის ნარევის ტკეპნით („ჯუნბულის“ მეთოდი);
- ბეტონის ჩაწყობით ტომრებში;
- ბეტონის ჩაწყობით ბეტონის ტუბოებით;
- ინიექციური მეთოდით;
- პიდროვიბრაციულით.

თანამედროვე პრაქტიკაში გამოიყენება წყალქვეშა დაბეტონება, რომელიც ცნობილია დასახელებით „Колкret“ (საფრანგეთი); „Препарк“ (აშშ), „Беното“ (საფრანგეთი); „Като“ (იაპონია) და სხვა. ეს არის ზემოთ ჩამოთვლილი ხერხების მოდიფიკაცია.

გერტიკალურად გადაადგილებადი მილის მეთოდი (ვგმ) – ეს მეთოდი გამოიყენება ღრმა წყლებში 1-დან 50 მ-დე. ბეტონის ნარევის მისაწოდებლად გამოიყენება ლითონის ინვენტარული მილები  $D_t = 200 - 300$  მმ, კედლის სისქით 4-6 მმ. ბეტონს ხემული მილები შედგება 1-3 მ სიგრძის რგოლებისგან. რგოლებს ბოლოებში აქვთ მილტუჩები. რგოლების ერთმანეთთან მიერთებისას მილტუჩებს შორის თავსდება რეზინის შუასადებები. ბეტონი მილში მიეწოდება ძაბრიდან, რომლის დიამეტრიც ინიშნება არანაკლებ ბეტონსხემული მილის 4 მ დიამეტრისა ( $Db > 4D_t$ ). ძაბრი კეთდება 3-5 მმ სისქის ლითონისგან. მისი მოცულობა დაახლოებით ბეტონსხემული მილის მაქსიმალური მოცულობის ტოლია.

**გერტიკალურად გადაადგილებადი მეთოდით (ვგმ) ბეტონის ჩაწყობა ხდება შემდეგი თანმიმდევრობით:**

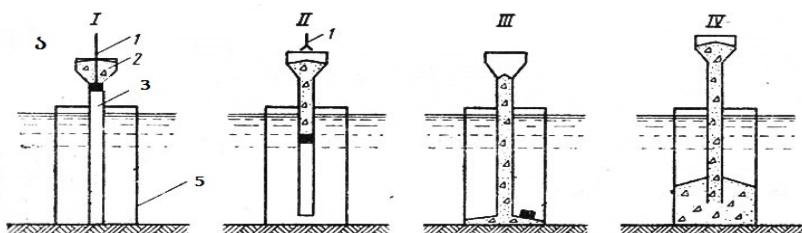
- დასაბეტონებელი მოედანი აღიჭურვება მიწისქვეშა გზებით, ამწეთი, ჯალამბრით, ამომწევით;
- ბეტონსხემული მილი დაყენდება დასაბეტონებელი ბლოკის ძირზე;
- მილში თავსდება ხის, ნახერხის, პაკლის ან სხვა მცურავი მასალის საცობი;
- მილს ავსებენ ბეტონით; აწევენ მილს;
- როდესაც ბეტონი მიაღწევს მილის ბოლო ზემადალ ნიშნულს, მილს აწევენ შემდგომ დონეზე და ეს პროცედურა მეორდება ბლოკის დაბეტონებამდე.

მილის ბოლოს ჩაღრმავება ბეტონში შენარჩუნებული უნდა იყოს 0,8-1,5 მ-ზე. ნარევის მიწოდების ინტენსივობა უზრუნველყოფილია 0,3 მ<sup>3</sup>/სთ. 1მ<sup>2</sup>-ზე.

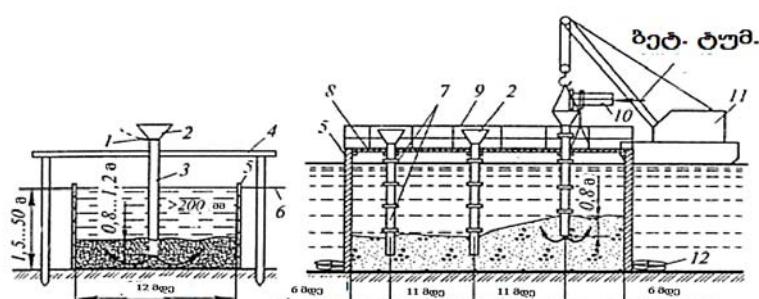
ბეტონსხმული მილის მოქმედების რადიუსი (R) დამოკიდებულია ბეტონის ნარევის მოძრაობაზე და დაბეტონების ინტენსივობაზე, რაც შესაძლებელია განისაზღვროს დამოკიდებულებით  $R = h + 0,6H$ , სადაც  $h$  არის ძაბრის წყლის ზედაპირზე განლაგების სიმაღლე,  $H$  – წყლის სიდრომე წყალქვეშა ბეტონის ზემოთ, მაგრამ მოინიშნება არა უმეტეს 6 მ-ისა (სურ. 1. 1. ა, ბ, დ). მილის ძორზე ბეტონის სვეტის წნევა შენარჩუნდება 0,1-0,25 მგპა ( $10-25 \text{ кг/м}^2$ ) საზღვრებში.

წყლის გარღვევისას ბეტონსხმულ მილში დაბეტონება შეჩერდება. დაბეტონების განახლება შესაძლებელია ბეტონის სიმტკიცის 2 მგპა ( $200 \text{ кг/см}^2$ ,  $20 \text{ кг/см}^2$ )-მდე მიღწევის შემდეგ. 10–15 სმ სისქის ბეტონის ფენას მოხსნიან. დაბეტონების აღდგენის შემდეგ ჩატარებენ მოსამზადებელი სამუშაოების მთლიან კომპლექსს.

**მოთხოვნები ბეტონის ნარევის მიმართ.** ბეტონის ნარევის კონუსის დაჯდომის (დაწვა) გათვალისწინებით 14–20 სმ ვიბრაციის გამოყენების გარეშე და 6–12 სმ ვიბრაციის გამოყენებისას, ბეტონში უმატებენ პლასტიკატორებს. ბეტონის მარკა 10%-ით მეტია ნაგებობაში გამოყენებულ ბეტონის მარკაზე.



სურ. 1. 1. ა. მილის ვერტიკალურად გადაადგილების მეთოდი

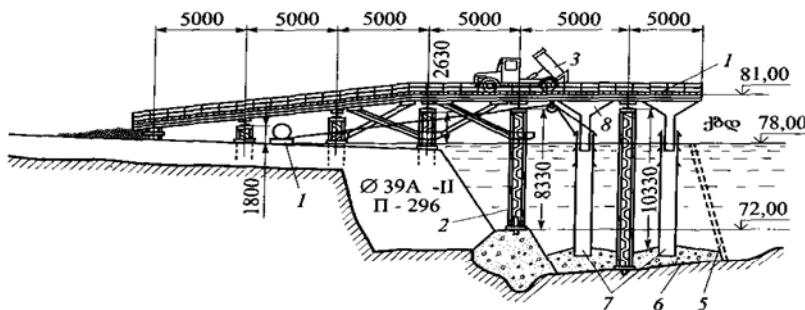


სურ. 1. 1. ბ. მილის ვერტიკალურად გადაადგილების მეთოდი:

1. ძაბრის ხაკეტი;
2. ჩასატვირთი ძაბრი;
3. მილი;
4. სამუშაო ესტაკადა (ფენილი);
5. ლითონის ყალიბი;
6. წყლის დონე;
7. მილის რკოლები;
8. ყალიბის დამატებითი გამავრება;
9. ღობე;
10. ბეტონის მილის ხორთუმი;
11. მცურავი ამწე;
12. ყალიბი – ღორლის

დაბეტონება შეწყდება დასაწყობი ბეტონის მიერ ნიშნულის მიღწევისას, რომელიც 10–12 სმ-ით აღემატება საპროექტოს. ბეტონის მიერ 2 მგვა ( $20 \text{ кг/м}^2$ ) სიმტკიცის მიღწევის შემდეგ ზედა ფენა მოცილდება.

**დიდი ფართის დაბეტონება.** დაბეტონების ბლოკის ზომები ერთი მილის ქვეშ გეგმაში დაინიშნება არა უმეტეს  $2R$ -სა. დიდი ფართების დაბეტონებისას დგინდება მილების ჯგუფი, რომლებიც მთელ ფართს გადაფარავენ. ამასთან, ბლოკის სიგანე და დაშორება მილის ლერძებს შორის ინიშნება არა უმეტეს 6 მ. მიმღები ბუნკერი მოეწყობა რამდენიმე მილზე. ბეტონს მიაწვდიან ხორთუმების მეშვეობით. ხორთუმი და ძაბრი მოეწყობა საფარით.



სურ. 1. 1. დ. მილის გერტიკალურად გადაადგილების მეთოდი:

1. ელექტრული ჯაღამბარი;
2. ესტაკადის საყრდენები;
3. აგროვითმცლელი-ბეტონმზიდი;
4. ესტაკადი;
5. ლითონის ყალიბი;
6. დაწყობილი ბეტონი;
7. გერტიკალურად გადაადგილებადი მილი;
8. მიმღები ბუნკერი

**მოწყობილობა ბეტონის მისაწოდებლად.** დასაბეტონებელი ადგილი აღიჭურვება ყალიბებით, პონტონებით, ბადიებით, ბეტონდგუშებით, ვაგონებებით, ტრანსპორტით.

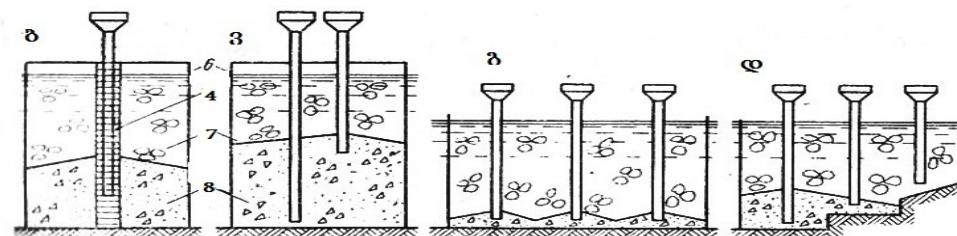
**კონტროლი დაბეტონების მსვლელობაზე.** მილის ჩაძირვაზე კონტროლისათვის მასზე დატანილია ჭდეები. ბეტონის დონე მოწმდება შვეულით.

**ვიბრირების ეფექტი.** მილების ვიბრირება საშუალებას იძლევა შემცირდეს ცვმენტის ხარჯი 10–12%-მდე და გაიზარდოს ნაგებობის მშენებლობის ხანგძლივობა. მილზე ჩვეულებრივ დააყენებენ ორ ვიბრატორს – ბოლოში და შუაში.

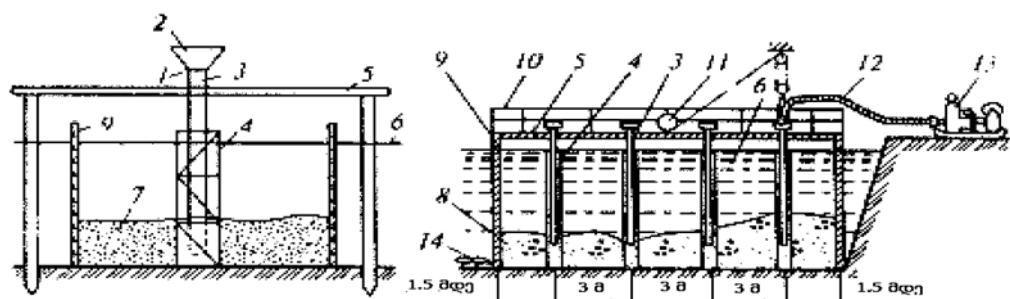
**ამომავალი ხსნარის მეთოდი (სურ. 1. 2. ა. ბ. დ).** ამომავალი ხსნარის მეთოდი, ანუ დაყოფილი დაბეტონების მეთოდი, გამოიყენება 1–50 მ-მდე სიღრმეებში. მეთოდის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ დასაბეტონებელი ბლოკი შეივსება ქვით ან ხრეშით, შემდეგ დაიჭირხება ცემენტის ხსნარით, რომელიც ვრცელდება რა მილის მხრიდან და აიწევა ქვემოდან ზევით, გამოდევნის მასას სიცარიელიდან წყალში.

ამ მეთოდით დაბეტონებისას გამოიყენება 150–400 მმ-იანი ზომის ქვები, 40–150 მმ ხრეში, 2,5 მმ ქვიშა. ქვის სიმტკიცე უნდა იყოს არა ნაკლებ 10 მგპა ( $100 \text{ кг/см}^2$ ). სიცარიელის ქვიან ნაყარში მოცულობა შედგენს 45%. ბეტონის სიმტკიცე უნდა იყოს არანაკლებ 15 მგპა ( $150 \text{ кг/см}^2$ ). ამ მეთოდით წყალქვეშა დაბეტონებისთვის გამოიყენება ბეტონსხმული მილები  $d=37\text{--}100$  მმ. ლითონის ძაბრებს უნდა ჰქონდეთ არა ნაკლებ  $30^\circ$  დახრილობა. საცობები დაყენდება ბეტონსხმულ მილებში დაბეტონების დაწყების წინ  $d>75$  მმ მილების გამოყენებისას  $H>10$  მ სიღრმეზე. ბეტონსხმული მილების მოქმედების რადიუსი მიიღება დასაბეტონებელი ბლოკის  $R=3$  მ-ს – ქვებით, ხოლო  $R=2$  მ-ს ხრეშით შევსების შემდეგ. მილებს შორის დაშორება უნდა იყოს 2–2,5 მ ფარგლებში. ერთი მილის ზღვრულად რაციონალური მოქმედების ფართი დადგინდება 18 მ<sup>2</sup>-მდე. ხსნარის მიწოდების ინტენსივობა უზრუნველყოფილია  $0,3 \text{ м}^3/\text{с}$ . 1 მ<sup>2</sup> დასაბეტონებელ ფართზე.

განასხვავებენ ამ მეთოდით დაბეტონების ორ ნაირსახეობას – დაწნევით და დაწნევის გარეშე.

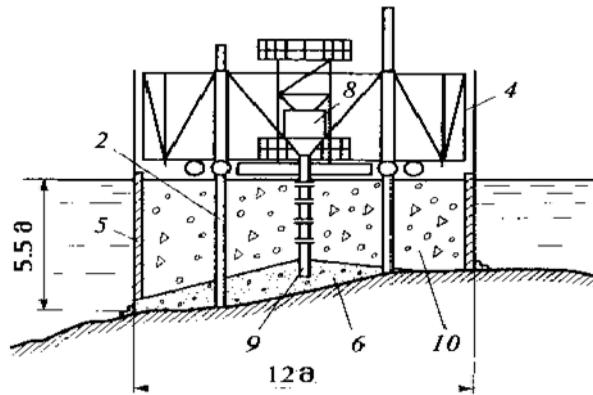


სურ. 1.2. ა – ამომავალი ხსნარის მეთოდი; ბ – უდაწნეო;  
გ, გ, დ – დაწნევით (ინიექციური)



სურ. 1.2. ბ. სქემა ამომავალი ხსნარის მეთოდით (უდაწნეო):

1. ძაბრის საკეტი;
2. ჩახატვირთი ძაბრი;
3. მილი;
4. გიხოსიანი შახტა;
5. სამუშაო ენტაქადა (ფენილი);
6. წყლის დონე;
7. ღორღის ყრილი;
8. ბეტონის ხსნარი;
9. ლითონის ყალიბი;
10. ლობა;
11. ჯალამბარი;
12. ბეტონის მიმწოდებელი მილი;
13. ბეტონის პომპა



სურ. 1. 2. დ. სქემა ამომავალი ხსნარის მეთოდით:

2. ესტაკადის საყრდენები;
4. ესტაკადი;
5. ლითონის ყალიბი;
6. ჩასხმული ბეტონი;
8. მიმღები ბუნკერი;
9. მიღები ხსნარის მისაწოდებლად;
10. ქვიანი ნაფარი

**უდაწეო დაბეტონების მეთოდი.** ამ მეთოდით დაბეტონება ხორციელდება წინასწარ დაყენებული შახტიდან, რაც გამორიცხავს მიღის გაჭედვას მისი ამოწევისას. შახტის კედლებზე მოინიშნება ისეთი ზომის ხვრელები, რომლებიც შეადგენს შემავსებლის უმცირესი ზომის 2/3-ს. ყველა ხვრელის ფართობი უნდა იყოს შახტის საერთო ფართის არა ნაკლებ 50%. მიღის ჩაძირვა ჩასაწყობ ბეტონში შენარჩუნდება 0,8 მ-ის დონეზე.

**დაწევითი მეთოდი.** ამ დროს მიღები ყენდება იარუსებად. ხსნარის ამოსვლის მიხედვით შემდეგ სამუშაოდ იყენებენ უფრო მაღალი იარუსის მიღებს. დაბეტონების დასრულების შემდეგ კი ბეტონის მასივიდან მიღებს არ იღებენ. მიღების ზედა ნაწილი, განლაგებული დაბეტონების ბლოკის გარეთ, მოიჭრება. წყლის ზედაპირიდან მიღის სიმაღლის გადაჭარბება შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$h = (R - 1,5DH)/3D,$$

სადაც R არის მიღის მოქმედების რადიუსი;

D – შემავსებლის საშუალო სიღიდვე;

H – წყლის სიმაღლე ხსნარის დონის ზემოთ.

პრაქტიკულად რეკომენდებულია წყლის ზედაპირიდან მიღის ზევით ამოწევა არანაკლებ 5 მ-ისა. ეს მეთოდი წარმოადგენს დამხმარეს და გამოიყენება ვერტიკალურად გადაადგილებადი მიღების მეთოდის გამოყენების დროს. ამომავალი ხსნარის მეთოდის გამოყენებისას მცირდება ცემენტიანი ხსნარის ხარჯი, მაგრამ იზრდება ლითონის მიღების ხარჯი, სიცარიელის ამოვსება არასაკმარისად საიმედოა.

დასაბეტონებელი ბლოკის განშრეების თავიდან ასაცილებლად შესვენებები მუშაობის დროს უნდა იყოს აბსოლუტურად გამორიცხული.

**ბეტონის კიუბელებით ჩაწყობის მეთოდი.** ეს მეთოდი გამოიყენება ნაგებობებში 20 მ-მდე სიღრმეზე, არ მოითხოვს ბეტონის  $200 \text{ კგ/სმ}^2$ -ზე მეტ სიმტკიცეს. ასეთ ნაგებობებს მიეკუთვნება კონსტრუქციები დამცავი აფსკით, რომლებიც მუშაობენ ვერტიკალურ დატვირთვაზე (დიდი დიამეტრის აფსკები, გამშვები ჭები, კოლონა-აფსკები), ასწორებენ საძირკვლის ბეტონის ძირებს ნაგებობის ქვეშ.

სამუშაოების საწარმოებლად გამოიყენება M200 მარკის ბეტონი, კონუსის დაჯდომით 1–5 სმ-ზე. ბეტონის პირველი ფენა შეიცავს გათვლილზე 15–20%-ით მეტ ცემენტს. გამოიყენება 0,1–3 მ<sup>3</sup> ტევადობის კიუბელები (ბუნკერი, ყუთი, ბადია, გრეიფერი).

ბეტონის კიუბელებად ჩაწყობის რიგითობა შემდეგია: ბეტონის ნარევით მთლიანად ავსებული კიუბელი მიეწოდება წყლის ქვეშ, ჩაიტენება დაგებულ ნარევში 5-10 სმ-ზე, მოხდება მისი გაშლა. ნარევის შემდეგი პორცია დაიდება წინას შეჭიდებამდე.

დაბეტონების დროს გამორიცხულია ცემენტის ხსნარის გამოდინება, წყლის შეღწევა კიუბელში, ხსნარის ჩაშვება წყლის სიღრმეში.

**მეთოდის ნაკლს წარმოადგენს:** ფენებად ჩაწყობა, ხსნარის ნაწილობრივი გადარეცხვა კიუბელის განტვირთვისას, მყვინთავების დასაქმების აუცილებლობა ბეტონის ნარევის ჩაწყობაზე კონტროლისთვის და მის გადასწორებასა და შლამის მოცილებაზე.

**ბეკვნის (ტკეპნის) მეთოდი (სურ.1.3) გამოიყენება:**

- ნაგებობის აგებისას არა ნაკლებ 1,5-2,0 მ სიღრმეზე;
- ნაგებობებში არასაკმარისი არმირების დროს;
- ბეტონით, არაუმეტეს 300 -ზე მეტი მარკით;
- საძირკველის გადასასწორებლად კლდოვან ნაპირებზე;
- სარემონტო-აღდგენითი სამუშაოების ჩატარებისას თხელ წყალზე; ნაპირსა-მაგრი ნაგებობების აგებისას;
- ბეტონის დაბალი ხიმინჯის ფუძე-ჩარჩოს აგებისას.

**მოთხოვნები მასალების მიმართ.** ჩასაწყობი ბეტონის მარკა გამოიყენება მოთხოვნილზე 20%-ით მაღალი. ბეტონის ნარევის კონუსი დაწეული უნდა იყოს 5-10 სმ-ით. ბლოკის უმცირესი გეგმიური ზომა უნდა იყოს დაბეტონების სისქეზე მეტი.

სამუშაოთა ჩატარების მიმდევრობა. სამუშაოები მიმდინარეობს შემდეგი თან-მიმდევრობით:

- ყალიბის დაყენება, რომელიც იცავს ნარევს გადარეცხვისგან;
- ბეტონსხმული მილების ან კიუბელის დახმარებით დასაბეტონებელი ბლოკის ერთ-ერთ კუთხეში შეიქმნება კუნძული, რომლის ზომები არ არის რეგლამენტირებული;
- კუნძულის კონტურზე მიეწოდება ბეტონის ხსნარის ულუფა, წინა ულუფის შეკვრის დაწყების დროის მომენტისთვის;
- ხდება ახალი ბეტონის ხსნარის ადრე დაგებულ ბეტონზე ბეკვნ პნევმოსატ-კეპნების, ელექტროსატკეპნების, ვიბროფართების, ვიბრობულების დახმარებით;
- ბეტონის ხსნარის გამკვრივება სიღრმითი ვიბრატორებით.

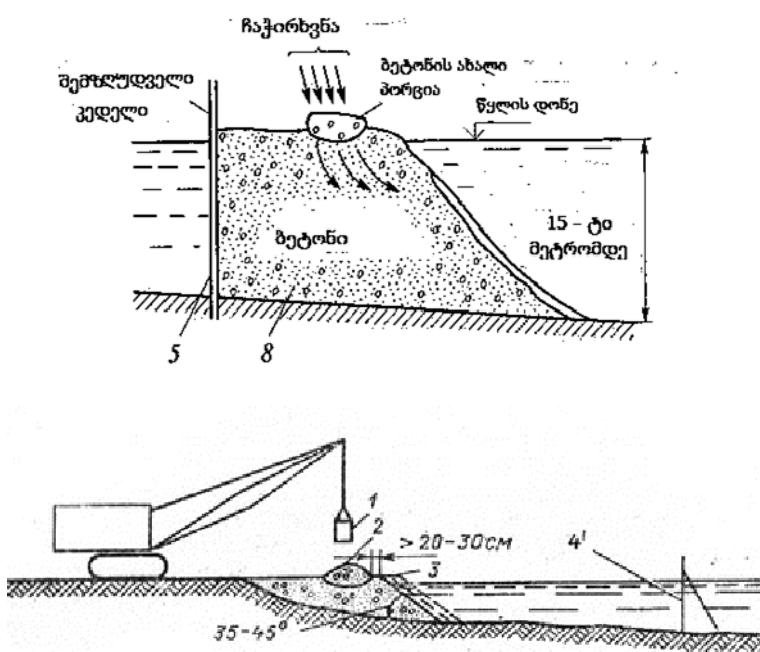
სამუშაოების ჩასატარებლად საჭიროა: ამწე, მცურავი ამწე, კიუბელი, გრეიფერი, ბადია, ვიბრატორი, ბეტონმზიდები, ბეტონამრევი კვანძი.

**მირითადი მოთხოვნები სამუშაოთა წარმოებაზე.** კუნძულის ფერდის დახრა უნდა იყოს  $35-45^{\circ}$ . კუნძულის ამაღლება წყლის დონეზე უნდა იყოს არანაკლებ 30 სმ, ბეტონის ხსნარის ულუფა ჩაიდება 20-40 სმ დაცილებით წყლის ჭრილიდან. ვიბრატორის მუშაობა ფერდთან ახლოს დაუშვებელია. ბეტონის ჩაწყობა მიმდინარეობს შესვენებების გარეშე. ადრე ჩაწყობილი ბეტონის შეჭიდებისა და გამყარების ზონა ხელშეუხებელია. ბეტონის მომდევნო ულუფა დაიდება წინა ულუფის შეჭიდებამდე. ხსნარის ჩასხმა ფერდის ზემოთ წყალში დაუშვებელია. სამუშაოების გაგრძელება აუცილებელი შესვენების შემდეგ შესაძლებელია ბეტონის 50%-იანი სიმკვრივის მიღწევის და ადრე დაგებული ბეტონის ზედაპირის მომზადების (ბეტონის ზედა დასუსტებული ფენის მოხსნა, შლამის მოცილება და ა.შ.) შემდეგ.

ამ მეთოდის უპირატესობას წარმოადგენს ბლოკების დაბეტონების და ბლოკებად დაყოფის საჭიროების აუცილებლობა, ნაკლს – მაღალი შრომატევადობა და ხსნარის მიწოდების მაღალი ინტენსივობა.

**ბეტონის ტომრებში ჩაწყობის მეთოდი.** ბეტონის ჩაწყობა ტომრებში გამოიყენება სარემონტო-აღდგენითი სამუშაოების, ავარიების ლიკვიდაციის, კავერნის ამოშენების, 2 მ-მდე სიღრმეში არასაპასუხისმგებლო კონსტრუქციების აგების, ფსკერის გასწორების, წყალქვეშა ყალიბად და ინვენტარული ყალიბის გამაგრების დროს. 2-დან 50 ლ-მდე ტევადობის ტომრებისთვის გამოიყენება მტკიცე, მაგრამ იშვიათი ქსოვილი, რომელსაც შეუძლია წყლის, ჰაერის და ნაწილობრივ ცემენტის რძის გატა-

რება. ტომრები ახალმომზადებული ბეტონით აივსება 2/3-ზე. ბეტონის ხსნარი მზადდება კონცესის დაწევით 1–7 სმ-ზე. შემავსებლის მაქსიმალური სიმსხო 10-დან 200 მმ-დეა. შევსების შემდეგ ტომრები შეიკვრება ან გაიკერება. 50 ლ-ზე მეტი ტევადობის ტომრები წყლის ქვეშ ბეტონით შეივსება ბეტონტუმბოს საშუალებით.



სურ. 1. 3. ბეტონის (ტაქტის) „აუნძულის“ მეთოდი:

1. ბეტონი;
2. ბეტონის ახალი პორცია;
3. დაბეტონებული ფერდი,
4. ყალიბი;
5. ლითონის ყალიბი;
8. მიმღები ბუნკერი

ტომრების ჩაწყობა ხდება შემდეგი მიმდევრობით:

- მომზადდება ტომრების დასაწყობი ადგილი;
- ამწეს დახმარებით ტომრები სათითაოდ ან კონტეინერით მიეწოდება მყვინ-თავებს წყლის ქვეშ უსაფრთხოების ზომების დაცვით;
- ტომრები ჩალაგდება ფსკერზე ჰორიზონტალურად ნაწიბურების შეკვრით;
- ხდება ტომრების კურსის არმირება წნელებით და გაიკერება  $d=10-20$  მმ,  $l=30-40$  სმ მანქვალებით.

**ბეტონტუმბოებით ჩაწყობის მეთოდი.** ამ მეთოდით ბეტონის ჩაწყობა ხდება სარემონტო-აღდგენითი სამუშაოების დროს. სამუშაოების წარმოებისთვის გამოიყენება ბეტონტუმბოები წარმადობით  $14-20$  მ<sup>3</sup>/სთ, ხოლო წნევით  $0,7-0,8$  მგპა.

დაბეტონება ხორციელდება შემდეგი მიმდევრობით:

- მომზადდება ბეტონის ჩაწყობის ადგილი;
- ბეტონდგუშზე დაყენებები ბეტონამრევის ბუნკერს;
- ბეტონმზიდით ბეტონი მიეწოდება ბეტონმსხმელ მილს, რომელიც დაკიდებულია ამწის კაუჭზე დასაბეტონებელი ბლოკის თავზე;
- მილის ბოლო თავდაპირველად დაყენდება ძირითად ბლოკზე 10 სმ-ით მაღლა;
- შევსების შემდეგ მილის ბოლოდან 1 მ-ით მაღლა მას ასწევენ 20-30სმ-ით და ა.შ, დაბეტონების დასრულებამდე.

**წყალქვეშა დაბეტონების ინიციური მეთოდი.** ეს მეთოდი გამოიყენება სარემონტო სამუშაოებისას. საჭიროა ბეტონტუმბოები წარმადობით 1-3 მ<sup>3</sup>/სთ. დაბეტონება ხორციელდება შემდეგი რიგით: ხდება ბეტონის ჩაწყობის ადგილის მომზადება; დაყენდება ყალიბი; ყალიბი ქვედა ნაწილში აღიჭურვება შტუცერით, ხოლო ზედა ნაწილში - გამოსასვლელი ღიობით; ბეტონდგუშის შლანგი მიუერთდება შტუცერს. ბეტონის ხსნარი უწყვეტად მიეწოდება დასაბეტონებელ ღრუს; ბეტონის მიწოდება ხორციელდება ხსნარის ამოსვლამდე ყალიბის ზედა ნაწილის ღიობიდან. ღრუ დაბეტონების წინ შეიძლება შეივსოს ქვით ან ხრეშით. ბეტონდგუშის 20–25 წუთი მუშაობის შემდეგ ხდება მისი გამორთვა 15–20 წმ-ის განმავლობაში.

**წყალქვეშა დაბეტონების პიდროვიბრაციული მეთოდი.** ცნობილია პიდროვიბრაციული მეთოდის ორი მოდიფიკაცია:

1. დასაბეტონებელი ბლოკი აივსება ბეტონის ინერტული შემავსებლით, მიეწოდება ცემენტის ხსნარი შემავსებლის ვიბრირების ღროს;
2. დასაბეტონებელი ბლოკი შეივსება ცემენტის ხსნარით, მსხვილი შემავსებლები მიეწოდება დასაბეტონებელ ბლოკს ხსნარის ვიბრირებისას. ამ მეთოდის ძირითად ნაკლს წარმოადგენს ცემენტის დიდი ხარჯი.

### 3. დასპპნა

ნაშრომში წარმოდგენილია პიდროსაინჟინრო ნაგებობის მშენებლობის ღროს საჭირო ერთ-ერთი კომპონენტის – წყალქვეშა დაბეტონების – თანამედროვე მეთოდები და ხერხები, როგორიცაა: დაბეტონება ვერტიკალურად გადაადგილებადი მილებით, ამომავალი ხსნარის გამოყენებით, ბეტონის ნარევზე ჩაწყობა კიუბელებად, ბეტონის ნარევის ბეკვნის (ტკეპნის) მეთოდის გამოყენება, ბეტონის ტომრებში ჩაწყობა ინიციური და პიდროვიბრაციული მეთოდით.

ასევე განხილულია, თუ რა მოთხოვნებს უნდა აკმაყოფილებდეს ბეტონის ნარევი წყალქვეშა დაბეტონების დროს და როგორია სამუშაოთა ჩატარების თანმიმდევრობა.

ნაშრომი მეტად აქტუალურია ჩვენი ქვეყნისთვის, რადგან დაიწყო ანაკლიის დრმაწყლოვანი პორტის მშენებლობა, სადაც არაერთგზის იქნება საჭირო წყალქვეშა დაბეტონება და სტატიაში მოყვანილი წყალქვეშა ბეტონირების ხარჯებისა და მეთოდების გამოყენება, რაც სარგებლობას მოუტანს იქ დასაქმებულ მუშაკერსონალს.

#### **ლიტერატურა**

1. Телешев В.И и др. Производство гидротехнических работ. (Учебник для вузов) Москва: Издательство, АСВ, 2012.
2. Годес, Э.Г., Нарбут. Р.М. Строительство в водной среде. Справочник Л: Стройиздат. 1989.- 527 с.
3. Эристов В. С., Абхази В. И., Волнин Б. А. Производство гидротехнических работ. М.: Стройиздат, 1970.-560 с.

## შაგ 628.1

### ტყლის მიწოდების უზრუნველყოფის სიდიდის შეფასებისათვის

**მ. ნაცვლიშვილი, ნ. ნაცვლიშვილი**

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** განხილულია წყლის მიწოდების შიგა სისტემები, რომლებიც აღ-  
ჭურვილია მნიშვნელოვნად განხხავებული პიდრავლიკური მახასია-  
თებლების ძირი წყალდამხარჯი ხელსაწყოებით. ამ სისტემების შეუ-  
ფერხებელი ფუნქციონირებისათვის საჭიროა ჩატარდეს მტკუნებათა  
ხანგრძლივობის შეფასება და წყლის მიწოდების უზრუნველყოფის  
დონის შერჩევა.

**საკვანძო სიტყვები:** წყლის მიწოდების უზრუნველყოფა, წყალდამხარჯი ხელ-  
საწყოები, ხელსაწყოთა ერთეულოვანი ხარჯები, პიდრავლიკური მახა-  
სიათებლები, შეუფერხებელი ფუნქციონირება, ერთჯერადი დარღვევე-  
ბი, მნიშვნელოვნობის დონეები, მტკუნებათა ხანგრძლივობა.

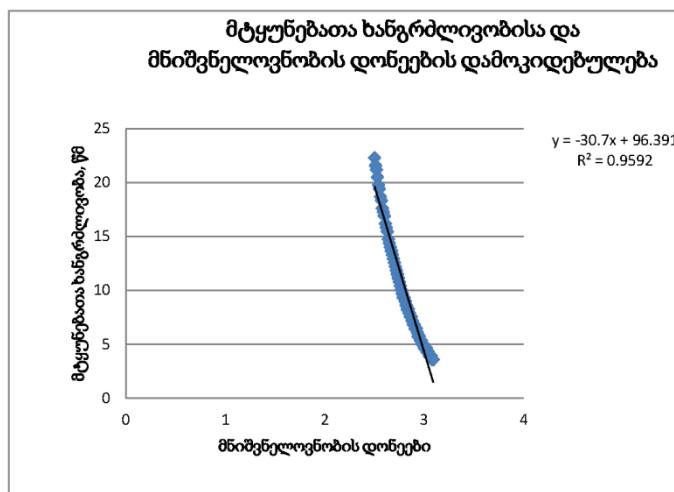
#### 1. შესავალი

ცნობილია, რომ საპროექტო ობიექტის ქსელის მოცემული უბნისათვის წყალ-  
დამხარჯი ხელსაწყოს ერთეულოვანი ხარჯის კი-ის შერჩევა განაპირობებს საან-  
გარიშო წამური ხარჯის სიდიდეს კ, რომელიც მოქმედი სამშენებლო ნორმების და  
წესების მოთხოვნათა შესაბამისადაა გამოთვლილი. საანგარიშო ხარჯის მიხედვით  
მიღების დიამეტრების რაციონალური შერჩევისა და იმავდროულად დაწესების და-  
ნაკარგების უცვლელობის პირობებში წყლის შეუფერხებელი მიწოდების უზრუნ-  
ველყოფის დონის შერჩევა და ერთჯერადი დარღვევის ხანგრძლივობის სიდიდის  
დადგენა წარმოადგენს უპყველ პრაქტიკულ ინტერესს.

## 2. მიზითადი ნაწილი

ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში, მოქმედი სამშენებლო ნორმების შესაბამისად საანგარიშო  $q$  სიდიდეს გააჩნია უზრუნველყოფა  $Pq = 0.997$ , ხოლო ამ ხარჯზე გადაჭარბების ალბათობა  $P_H = 0.003$ , რაც შეესაბამება მომხმარებლის მიერ ყოველ საათში წყლის მაქსიმალური მოხმარების, წყლის შესაძლო მიწოდების დარღვევის რეჟიმის საშუალო ჯამურ ხანგრძლივობას, რომელიც არ გადააჭარბებს  $t = 3600 \cdot 0.003 = 10.8$  წამს.

კონკრეტულ განსახილველ დროის ინტერვალში წყლის საჭირო ხარჯი დასაშვებია აჭარბებდეს საანგარიშოს, რომლის მიწოდება გარანტირებულია საპროექტო სისტემით, რაც შეიძლება გახდეს მიზეზი რომელიმე მოქმედი ხელსაწყოს ხარჯის შემცირებისა. ეს უკანასკნელი გარემოება მოცემულ შემთხვევაში ფასდება, როგორც წყლის მიწოდების რეჟიმის დარღვევა. მოყვანილი მნიშვნელობა არ გვაძლევს საშუალებას, ვიმსჯელოთ ამა თუ იმ დარღვევის დაშვების შესახებ ყველა კონკრეტულ შემთხვევაში, თუმცა დასაშვები ობიექტური შეფასების კრიტერიუმს წარმოადგენს წყლის მიწოდების ერთჯერადი დარღვევის საშუალო ხანგრძლივობა  $t$ . იმ შემთხვევაში, როცა  $t$  მიისწრაფის 0-კენ, წყლის მიწოდების დარღვევები მომხმარებლის მიერ ვერ იქნება აღქმული იმ დროსაც კი, თუ გაიზრდება მათი რიცხვი, რომელთა ჯამური ხანგრძლივობა რჩება უცვლელი. თუ საანგარიშო სიდიდეების სხვადასხვა უზრუნველყოფისას წყლის მიწოდების რეჟიმის უდიდესი მოხმარების საათის განმავლობაში დარღვევების მნიშვნელობებს განვიხილავთ, მივიღეთ ქვემოთ მოყვანილ დამოკიდებულებას. იხ. გრაფიკი.



დავუშვათ, რომ  $q_0 = 0,2$  და  $q_{01} = 0,3 \text{ლ}/\text{წმ}$ . პირველ შემთხვევაში წყლის მიწოდების დარღვევის საშუალო ჯამური ხანგრძლივობა უდიდესი წყალმოხმარების საათში  $t=10.8$  წამს. მეორე შემთხვევაში, როცა  $q_{01} = 0,3 \text{ლ}/\text{წმ}$ , მოძებნილი ხარჯზე გადაჭარბება შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით:

$$\Theta = 3 \sqrt{\frac{q_{01}}{q_0}} = 3 \sqrt{\frac{0.3}{0.2}} \approx 3.7,$$

რომელიც შეესაბამება უზრუნველყოფის სიდიდეს 0,9998. მოცემულ შემთხვევაში წყლის მიწოდების დარღვევის საშუალო ჯამური ხანგრძლივობა შემცირდება და მივიღებთ:

$t = 3600.(1-0,9998)=0, 72$  წმ და ა.შ. სამშენებლო ნორმებსა და წესებში მითითებული დამსარჯი წერტილის ერთეულოვანი ხარჯის სიდიდე პრაქტიკულად გამორიცხავს წყლის მიწოდების დარღვევის შესაძლებლობას. გრაფიკის მიხედვით მნიშვნელოვნობის დონეების შერჩევისას უნდა ვიხელმძღვანელოთ და გავითვალისწინოთ მტყუნებათა ხანგრძლივობის სიდიდეები. როგორც ჩანს, შიგა წყალსადენების გაანგარიშებისას მნიშვნელოვნობის დონეები უნდა მივიღოთ 2,7 – 3,0-ის ფარგლებში, რაც შეესაბამება 0,993 და 0,997 უზრუნველყოფას.

### 3. დასტვნა

შიგა წყალსადენის სისტემების შეუფერხებელი ფუნქციონირებისათვის საჭირო საანგარიშო ხარჯების სიდიდის დასადგენად აუცილებელია უფრო მაღალი მოთხოვნების წაყენება და ხარჯების შესაბამისი ერთჯერადი დარღვევის ხანგრძლივობის შეფასება. ამასთან წყლის მოხმარების ნორმების დაზუსტებასთან ერთად მნიშვნელოვანია წყლის მიწოდების უზრუნველყოფის დონის შერჩევა, რომელიც განაპირობებს დარღვევების სიდიდეს. ხარჯების უზრუნველყოფის სიდიდის ზრდა იწვევს ერთჯერადი დარღვევების ხანგრძლივობის შემცირებას. შიგა წყალსადენების გაანგარიშებისას მნიშვნელოვნობის დონეები უნდა მივიღოთ 2,7-3,0-ის ფარგლებში, რაც შეესაბამება 0,993 და 0,997 უზრუნველყოფას.

## ԸՆԹԱՐԱԳՈՐԾՎԱԿԱՆ

1. СНиП 2.04.01-85. Внутренний водопровод и канализация зданий. М., 1986.
2. В. Е. Гмурман. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. М.: «Высшая школа» 1979.
3. Инструкция по проектированию внутренних систем водоснабжения и канализации жилых и общественных зданий. ЦНИИЭП инженерного оборудования. М., 1978.
4. Л. А. Шопенский, В. Н. Родин, Н. В. Нацвлишвили. К вопросу определения единичных расходов воды приборами для участков распределительных сетей холодного и горячего водоснабжения отдельных зданий и комплексов зданий различного назначения, Госгражданстрой ЦНИИЭП инженерного оборудования, Вопросы водоснабжения и канализации / Сборник научных трудов, М., 1983.
5. Н. В. Нацвлишвили. Экспресс-методика определения параметров водопотребления для расчета водопроводов (зданий и сооружений различного назначения). Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. МИСИ им. В.В. Куйбышева. М., 1984.

## შაგ 628.1

### წყალდამხარჯ ხელსაჭყოთა ერთეულოვანი ხარჯების შეფასება

**მ. ნაცვლიშვილი, ნ. ნაცვლიშვილი**

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** განხილულია ობიექტების წყალსადენების სისტემები, რომელთა შეუფერხებელი ფუნქციონირებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს წყალსადენის გამანაზილებელი ქსელის უბნებზე დაყენებულ წყალდამხარჯი ხელსაწყოების ერთეულოვანი ხარჯების სიდიდის განსაზღვრის ხერხის შერჩევას.

**საკვანძო სიტყვები:** წყალდამხარჯი ხელსაწყოები, ხელსაწყოთა ერთეულოვანი ხარჯები, ჰიდროგლიკური მახასიათებლები, შეუფერხებელი ფუნქციონირება, ერთჯერადი მტკუნებები.

#### 1. შესაბალი

სხვადასხვა დანიშნულების თანამედროვე შენობები და მათი კომპლექსები, რიგ შემთხვევებში აღჭურვილნი არიან მნიშვნელოვნად განსხვავებული ჰიდროგლიკური მახასიათებლების და მუშაობის რეჟიმების მქონე წყალდამხარჯი ხელსაწყოებით. ეს გარემობა არის მიზეზი წყლის მიწოდების დაუშვებელი ხანგრძლიობის ერთჯერადი დარღვევის წარმოქმნისა, ამიტომ და-ის მნიშვნელობა მანაწილებელი ქსელის უბნებისათვის უნდა განისაზღვროს ერთჯერადი დარღვევების ისეთი მცირე მნიშვნელობის გათვალისწინებით, რომლებიც არ აღიქმება მომხმარებლის მიერ.

#### 2. მიზანთაღი ნაწილი

წყლის ხარჯების ნატურული გაზომვების შედეგები ასახავენ მრავალი ფაქტორის გავლენას წყლის მოხმარების პროცესზე, ამიტომ მათი დამოკიდებულების საპოვნელად მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს წყლის ხარჯების სტოქასტიკუ-

რი მოდელირების შედეგები მოცემული არის,  $N$ ,  $P$ ,  $N$  და  $P$  პარამეტრებით. აღნიშნული ამოცანა შეიძლება გადაიჭრას გამოვარდნების თეორიის საფუძველზე. ვინაიდან გამოყენებულია ნორმალური განაწილების კანონი ე.ო. პარამეტრები,  $q_0$ ,  $N$  და  $P$  მოდებული უნდა იყოს საჭირო საზღვრებში. ნათქვამის გათვალისწინებით საწყის მონაცემებად მიღებულია დატვირთვის 4 მათემატიკური მოლოდინი  $M[q]=q_0NP$ , რომლებიც განსახილვები კვეთში  $M[q]=\text{const}$  ფორმირდებოდნენ  $N$  მნიშვნელობის განსაზღვრისას, აგრეთვე ხასიათდებოდნენ ოთხივე და  $P$  სიდიდით. ამასთან დატვირთვების ხელშებული მათემატიკური მოლოდინის პროცესში მიღებული იყო, რომ წყალდამხარჯი ხელსაწყოების რაოდენობა შეადგენდა 100, 200, 400 და 800.  $P$ -ს მნიშვნელობა ყოველი მათგანისათვის მიღებული იყო 0.05; 0.1; 0.2 და 0.4-ის ტოლად, ხოლო  $q_0$  შესაბამისად 0.8; 0.4; 0.2 და 0.1 (ლ/წმ). მოყვანილი სიდიდეები წარმოადგენდნენ საწყის მონაცემებს წყლის ხარჯის პროცესების რეალიზაციის დროს სტოქასტიკური მოდელირების მეთოდებით  $P$ . აღნიშნულის მიხედვით განსაზღვრა სიხშირე და საშუალო ხანგრძლივობა დატვირთვების ერთჯერადი გამოვარდნებისა  $q_0=q_0m$  წინასწარ მიღებული დონეების დროს, რომლებიც ახასიათებენ მოდელირების პროცესში შესაბამისი წყლის ხარჯების უზრუნველყოფას შეჯგუფებულ ვარიაციულ რიგებში. ამ მიზნით ყოველ რეალიზაციისას განისაზღვრა ყველა გამოვარდნების ჯამური ხანგრძლივობა  $T_{\varphi}$ , მიღებული ამა თუ იმ დონეების გათვალისწინებით ცდების ციკლის განმავლობაში  $T_{\varphi}$ ; გამოვარდნების რაოდენობა  $M_{\varphi}$ ; გამოვარდნების საშუალო სიხშირე  $t_{\varphi}$ , აგრეთვე ერთჯერადი გამოვარდნის საშუალო ხანგრძლივობა  $\tau$ . ეს მახასიათებლები წყლის ხარჯის განსახილვები პროცესებში, რომლებიც განაწილებულები არიან ნორმალური კანონით, შეიძლება გამოითვალოს ფორმულებით:

$$T_{\varphi} = \{1 - \Theta(\Pi_{\varphi})\} T_{\theta} / 2 = E_{\varphi} T_{\theta}; \quad (1)$$

$$T_{\varphi} = Gv\varphi(\Pi_{\varphi}) / \sqrt{2K}G; \quad (2)$$

$$M_{\varphi} = \{1 - \Theta(\Pi_{\varphi})\} T_{\theta} / T_{\varphi}; \quad (3)$$

$$\tau_{\varphi} = E_{\varphi} / T_{\varphi} = \sqrt{2\pi} G [1 - \Theta(\Pi_{\varphi})] / 2G_{\varphi}\varphi(\Pi_{\varphi}); \quad (4)$$

$$\Pi_{\varphi} = (P_{\varphi} - P_0) / G; \quad (5)$$

$$Gv = \sqrt{2\pi} G \sqrt{1 - R(\Delta)} / \Delta; \quad (6)$$

$$N(\tau) = K(\tau) / G^2, \text{ როცა } \tau = \Delta \quad (7)$$

სადაც  $\varphi(\Pi_\varphi)$  და  $\Theta(\Pi_\varphi)$  ნორმალური განაწილების დიფერენციალური და ინტეგრალური ფუნქციებია;

$\Pi_\varphi$  – დონის ფარდობითი მნიშვნელობა;

$E_\varphi$  – მოცემულ დონეზე გამოვარდნის ალბათობა;

$P_\varphi$  – დონის მიღებული მნიშვნელობა;

$P_0$  და  $G$  – ხარჯების საშუალო მნიშვნელობა და განაწილების სტანდარტი მოცემული ვარიაციული რიგისათვის;

$G_\varphi$  – ხარჯების სიდიდეთა ცვალებადობის სიჩქარის სტანდარტი მოცემული რეალიზაციისათვის;

$R_\tau$  – ხარჯების განაწილების ნორმირებული კორელაციური ფუნქცია.

წყლის ადების პროცესის სტოქასტიკური მოდელირების შედეგების დამუშავებამ აჩვენა, რომ  $\tau_\varphi$  საშუალო მნიშვნელობა მოცემული დონისათვის არაა დამოკიდებული  $q_0, NP, N$  და  $P$  სიდიდეებზე და განისაზღვრება მხოლოდ ამ დონით, აგრეთვე დადგენილი  $q_0$  მნიშვნელობით. ამასთან, დატვირთვის მიღებული დონის სხვადასხვა უზრუნველყოფის დროს  $\tau_\varphi$ -ზე  $q_0$ -ის ცვლილება ერთნაირი ხასიათისაა. ეს დამოკიდებულება შეიძლება გამოისახოს შემდეგნაირად:

$$\tau_\varphi = \frac{0,135}{q_0 * \Theta^{0,8}}. \quad (8)$$

სამშენებლო ნორმებსა და წესებში რეგლამენტირებული საანგარიშო წამური ხარჯების უზრუნველყოფის  $P_q = 0,997$  გათვალისწინებით ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$\tau_\varphi = \frac{0,056}{q_0}. \quad (9)$$

მიღებული ფორმულა გვაძლევს საშუალებას რაოდენობრივად შეფასდეს და-საპროექტებელი წყალსადენის ფუნქციონირების ხარისხი, რადგან შესაძლებელია მოიძებნოს მომხმარებლებზე წყლის მიწოდების მოსალოდნელი დარღვევის ხანგრძლივობა მიღებულ და სიდიდეზე დამოკიდებულებით. ასეთი მიდგომა საკმაოდ უნივერსალურია და იგი შესაძლოა გამოყენებულ იქნეს ეფექტიანად კომპიუტერული პროგრამული უზრუნველყოფის დამუშავებისას.

### 3. დასპენა

ერთეულოვანი წყლის ხარჯების განსაზღვრის წარმოდგენილი მიდგომა საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ იგი კომპიუტერული პროგრამების შედგენისას, რაოდენობრივად შევაფასოთ დასაპროექტებელი წყალსადენის ფუნქციონირების ხარისხი. მისი გამოყენება მიზანშეწონილია აგრეთვე ცალკეული შენობებისა და ნებისმიერი დანიშნულების შენობათა კომპლექსების ცივი და ცხელი წყალმომარაგების სისტემების გაანგარიშების ალგორითმების შედგენისას.

### ლიტერატურა

1. СНиП 2.04.01-85. Внутренний водопровод и канализация зданий. М., 1986.
2. В. Е. Гмурман. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. М.: «Высшая школа» 1979.
3. Инструкция по проектированию внутренних систем водоснабжения и канализации жилых и общественных зданий. ЦНИИЭП инженерного оборудования. М., 1978.
4. Л. А. Шопенский, В. Н. Родин, Н. В. Нацвлишвили., К вопросу определения единичных расходов воды приборами для участков распределительных сетей холодного и горячего водоснабжения отдельных зданий и комплексов зданий различного назначения, Госгражданстрой ЦНИИЭП инженерного оборудования. Вопросы водоснабжения и канализации. Сборник научных трудов, М.: 1983.
5. Н. В. Нацвлишвили. Экспресс-методика определения параметров водопотребления для расчета водопроводов (зданий и сооружений различного назначения). Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. МИСИ им. В.В. Куйбышева. М., 1984.
6. Тихонов В.И. Выбросы случайных процессов. М.: Наука, 1970.–392с.

შაბ 627.5

## გეგმის საზღვაო გარემოს დაპირულების აღკვეთა

### ა. საყვარელიძე

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** საერთაშორისო კონკურსია გემებიდან საზღვაო გარემოს დაბინძურების შესახებ შეიცავს ღონისძიებებს და წესებს, რომლებიც მიმართულია გემების დაბინძურების აღკვეთისა და მინიმუმისაკენ.

ნავთობით დაბინძურების აღკვეთის წესები (ძალაში შევიდა 02.10.1983 წ.) მოიცავს ექსპლუატაციით გამოწვეული დაბინძურების და შემთხვევით ნავთობის დაღვრით გამოწვეული დაბინძურების აღკვეთის ღონისძიებებს. 1992 წლის შესწორებით აუცილებელი გახდა ნავთობის ტანკერების აღჭურვა ორაგი კორპუსით. შემუშავდა სპეციალური გრაფიკი ტანკერების აღჭურვის.

მაგნე თხევადი ნივთიერებებით დაბინძურების აღკვეთის წესებში (2.10.1983 წ.) დეტალურად არის მოცემული მომშეამავი თხევადი ნივთიერებების ჩაყრით ზღვის დაბინძურების საწინააღმდეგო ღონისძიებების კრიტერიუმები. კველა შემთხვევაში აკრძალულია ნარჩენების ჩაყრა ზღვაში უახლოესი ნაპირიდან 12 მილზე ნაკლებ მანძილზე.

მაგნე ნივთიერებებით დაბინძურების შემთხვევაში (რომლებიც გადაქვთ შეფუთული ფორმით) აღმკვეთი ღონისძიებები (ძალაშია 01.07. 1992წ.) მოიცავს ზოგად მოთხოვნებს შესაფუთი მასალების შესახებ, მარკირებაზე, დოკუმენტაციაზე, განთავსებაზე, რიცხობრივ შეზღუდვებზე, გამორიცხვასა და შეტყობინებაზე.

ჩამდინარე წყლებით დაბინძურების აღმკვეთი წესები (ძალაშია 27.09.2003 წ.) მოიცავს მოთხოვნას ჩამდინარე წყლებით დაბინძურების კონტროლის შესახებ. ჩამდინარე წყლების ჩაღვრა ზღვაში აკრძალულია, გარდა იმ შემთხვევისა, როცა გემზე საექსპლუატაციოდაა დამტკიცებული სადგური ჩამდინარე წყლების გაწმენდისათვის. გემებიდან ნავთობის ჩაყრით გამოწვეული დაბინძურების აღკვეთის წესები (ძალაში შევიდა 31.12. 1988 წ.) ეხება სხვადასხვა სახის ნავთობის მითითებულია ნაპირიდან ჩაყრის ადგილის დაშორება და

უზილიზაციის ხერხები. ამ წესებში ყველაზე მთვარია ხრული აკრძალვა ზღვაში ყველა ხახის პლასტმასის ჩაყრაზე.

გემებიდან პარის დაბინძურების აღკვეთის წესები (ძალაშია 19.06. 2005 წ.) აღვენს შეზღუდვებს გოგირდის ოქსიდისა და აზოვის ოქსიდის გამონაბოლქვებზე. აკრძალულია ოზონის გამანადგურებელი ნივთიერებების გამოყოფა პარში.

2011 წელს წესებს დაემატა ოვი, რომელიც აუცილებელს ხდის გემების ენერგოუზვებზე ასამაღლებლად და საექსპლუატაციო ღონისძიებებს გემებიდან ხასათბურება გაზების გამოყოფაზე.

**საპანძო სიტყვები:** კონკენტრია; აღკვეთის წესები, ნავთობის ტანკერი; მავნე ნივთიერებები, ჩამდინარე წყლები, აკრძალვა, ოზონი, ნივთიერება, ზღვა, გემი.

## 1. შესაგალი

საზღვაო ტრანსპორტის განვითრებამ, ნავთობის საზღვაო გადაზიდვების ინტენსიურობის მატებამ მნიშვნელოვნად გაზარდა სანაპირო წყლებისა და სანაპიროების დაბინძურება ნავთობით და მისი ნარევებით. ამის შედეგად ნაპირებსა და პლაჟებს ადგებათ მნიშვნელოვანი ზიანი, ნადგურდება ზღვის ფაუნა და ფლორა, პრობლემას გლობალური ხასიათი აქვს.

ზღვის გარემოს დაბინძურება ძირითადად ხდება წყალში ნედლი და საწვავი ნავთობით, მძიმე დიზელის საწვავით და საპოხი ზეთებით. ეს ნივთიერებები მდგრადია სანგრძლივი დროის განმავლობაში, მათ შეუძლიათ მნიშვნელოვან მანძილზე გაადგილება და ზღვის სანაპიროების დაბინძურება.

დიდი რაოდენობის ნავთობი იდვრება ზღვაში ტანკერების ავარიების, გადასატვირთი სამუშაოების, გემების ტანკების გამორეცხის შედეგად. ნავთობშემცველი წყლის ჩადვრა ხდება აგრეთვე მშრალი ტვირთების გადასაზიდი გემებიდან.

ზღვის წყლის დაბინძურება ხდება აგრეთვე ჩამდინარე წყლებით სულ უფრო მზარდი მოცულობის სამუშაო-საყოფაცხოვრებო პორტების მიმდებარე ქალაქებისა და საწარმოების მიერ.

ზღვის გარემოს საერთაშორისო-სამართლებრივი დაცვა უპირველესად მიმართულია მისი ნავთობით დაბინძურების აღსაკვეთად [1,2].

საზღვაო სამართლის შესახებ შენევის 1958 წლის კონვერენცია [3] და გაეროს 1982 წ. კონვენცია საზღვაო სამართლის შესახებ [4] ავალებს სახელმწიფოებს დაიცვან კუთვნილი საზღვაო სივრცე. გაეროს 1982 წლის კონვენციაში შედის ნაწილი XII, რომელიც სპეციალურად არის მიძღვნილი საზღვაო გარემოს დაცვისა და შენარჩუნებისადმი.

1954 წლის კონვენცია ზღვის ნავთობით დაბინძურების აღკვეთის შესახებ კრძალავს ნავთობისა და მისი ნარევების ჩაღვრას გემებიდან და ტანკერებიდან ზღვაში [5,6]. კონვენციის წესები ავალდებულებს სახელმწიფოებს უზრუნველყონ პორტები გემებიდან ნავთობის ნარჩენების მიმღები დანადგარებით [6].

1972 წლის კონვენცია ზღვის დაბინძურებაზე, რომელიც ნავთობის ნარჩენების და სხვა მასალების ჩაყრით [7] არის გამოწვეული, გამოყოფს 3 ჯგუფს: 1. ნივთიერებები, რომელთა ჩაყრის შესახებ საჭიროა სპეციალური ნებართვა; 2. ნივთიერებები, რომლებიც საჭიროებენ ზოგად ნებართვას და 3. ნივთიერებები, რომელთა ჩაყრა ზღვაში საერთოდ აკრძალულია. ასეთებია, მაგალითად, ქლორორგანული შენაერთები, ვერცხლისწყალი, ნავთობი და მისი ნაერთები, რადიაქტიული მასალები, ბიოლოგიური და ქიმიური ომებისათვის საჭირო მასალები.

## 2. მირითადი ნაწილი

1973 წლის კონვენცია გემებიდან ზღვის დაბინძურების თავიდან აცილების შესახებ საერთოდ კრძალავს ნებისმიერი ნივთიერების ჩაყრას. ესენია ნავთობი და შხამიანი ნივთიერებები, ჩამდინარე წყლები, ნაგავი და ნარჩენები ყველა ტიპის გემებიდან. გამონაკლისია სამხედრო ხომალდები და ის გემები, რომლებიც გამოყენება სახელმწიფო არაკომერციულ სამსახურში [8].

ზღვისპირა სახელმწიფოებს აქვთ უფლება, გაუწიონ საგარეო გემებს ინსპექტირება და დამრღვევების მიმართ დაიწყონ სამართლებრივი დევნა.

დადგენილია ერთიანი საერთაშორისო სტანდარტები დაბინძურების წინასწარი აღკვეთის შესახებ. რიგ რაიონებს აქვთ განსაკუთრებით მკაცრი რეჟიმი, სადაც საშიში ნივთიერებების ჩაყრა ზღვაში კატეგორიულად აკრძალულია (შავი ზღვა, ხმელთაშუა ზღვა, წითელი ზღვა, სპარსეთისა და ომანის ყურეები) [9].

მნიშვნელოვან საზღვაო რაიონებში, დაბინძურებასთან დაკავშირებით, მიღებულია ჩარევის განსაკუთრებული ზომები. საერთაშორისო ორგანიზაციამ 1969 წელს მიიღო კონვენცია ჩარევის შესახებ დია ზღვაში ავარიის შემთხვევაში [10], რომლებიც იწვევენ ნავთობით დაბინძურებას, ხოლო 1973 წელს მიიღო ოქმი ჩარევის შესახებ ზღვის დაბინძურების შემთხვევაში ნავთობის გარდა სხვა ნივთიერებებით [11].

აღნიშნული კონვენციების შედეგად მის მონაწილე მხარეებს შეუძლიათ მიიღონ ისეთი ზომები, რომლებიც შეიძლება აუცილებელი იყოს მათი სანაპიროებისათვის სერიოზული ხიფათის თავიდან აცილების ან შემცირების მიზნით.

ზღვის გარემოს ნავთობით დაბინძურების თავიდან აცილების წესებში [7,12] შედის:

1. გემებზე ნავთობშემცველი წყლის გაწმენდის ტექნოლოგია;
2. წყლის ზედაპირების დაცვა ნავთობითა და მისი პროდუქტებით დაბინძურებისას;
3. ნავთობშემცველი წყლის შემკრები და გამწმენდი თვითმავალი სადგურის შექმნა;
4. ნავთობშემცველი წყლის მიმღები და გადამამუშავებელი სისტემა;
5. პიდროსფეროს ნავთობშემცველი წყლის დაბინძურებით გამოწვეული ეკონომიური ზარალის შემცირება.

გემების ექსპლუატაციის დროს პიდროსფეროს დაბინძურების ძირითადი წყარო არის ნავთობი და ნავთობპროდუქტები. გემებით მათი გაზიდვისას ისინი ზღვაში ხვდება ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების ჩაღვრით საწვავის სატვირთო მოცულობების არაჰერმეტულობის გამო; გადატვირთვის შემდეგ ტანკების გამორეცხვისას [13].

პორტის აკვატორიის დაბინძურების წყარო, გარდა სატრანსპორტო და სარეიდო გემებისა, შეიძლება იყოს სპეციალური გემები, რომელთა რიცხვში შედის:

- კვამლსაჭირები სადგურები, რომლებიც აწოდებენ ინერტულ გაზებს ნავთობის ტანკერებში;
- გადასატუმბი სადგურები, რომლებიც გათვალისწინებულია ნავთობპროდუქტების გადატვირთვისათვის;
- ნავთობმისადგომი გემები და გემები, რომლებიც გათვალისწინებულია ფლოტის საწვავით და საპოხი მასალით მომარაგებისათვის;

- ნავთობდამჭერი კომპლექსები, რომლებიც გათვალისწინებულია ავარიულად დაღვრილი ნავთობის შეკრებისა და ლიკვიდაციისათვის;
- მცურავი სადგურები გემებიდან ნავთობშემცველი წყლის მიღებისა და გაწმენდისათვის [8,14].

არსებული საერთაშორისო და ნაციონალური წესებით დასაშვებია სპეციალური მოწყობილობების ქონა, რომლებიც უზრუნველყოფენ ნავთობშემცველი წყლის გაწმენდას.

ნავთობშემცველი წყლის გაწმენდის ხერხებია:

1. დალექვა;
2. ფლოტაცია – პნევმატური და დაწნევითი;
3. ელექტროქიმიური გაწმენდა;
4. ადსორბცია;
5. ოზონირება;
6. ბიოქიმიური და ბიოლოგიური გაწმენდები.

ცნობილია აგრეთვე გაწმენდის ისეთი ხერხები, როგორიცაა ნავთობშემცველი წყლის დამუშავება ელექტრულ, მაგნიტურ და ულტრაბგერით ველებში.

ზღვის აკვატორიის დაცვა ნავთობისა და ნავთობპროდუქტებით დაბინძურების-გან აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს [5,9].

ნავთობი წყლის ზედაპირზე მოხვედრისას სწრაფად იშლება. ფრაქციები იღე-ქება და აბინძურებს არა მარტო სანაპირო ზონას, არამედ ფსკერს [15,18]. ნავთო-ბით დაბინძურებისას ზღვასა და შიგა წყლის აუზებს ბევრი საერთო აქვთ, თუმცა დაბინძურების ხასიათსა და მათ ლიკვიდაციაში სხვადასხვაობაა [16].

შიგა წყალსაცავებს სისუფთავისადმი წაგენებათ უფრო მაღალი მოთხოვნები, ვიდრე საზღვაო გარემოს.

გემებიდან ნავთობპროდუქტების ჩაღვრის თავიდან აცილების კომპლექსური ღონისძიებები მნიშვნელოვნად განაპირობებს წყლის აკვატორიის სისუფთავეს გემ-მისადგომებთან და მთლიანად საზღვაო პორტებში [17].

განსაკუთრებით საჭიროა დაბინძურების აღმკვეთი ზომები ტანკერების დაზიანების და დაღუპვისას, ნავთობსადენების გაწყვეტისას [12,18].

აკვატორიის დაბინძურების თავიდან აცილების მიზნით ჩასატარებელი სამუშაოების ეფექტური ორგანიზაციისათვის და ავარიულად დაღვრილი ნავთობის ლი-კვიდაციისათვის შექმნილია ნავთობის ნაგავშემკრები გემები; გამწმენდი სადგურე-

ბი; ნავთოპროდუქტებით დაბინძურებული წყლების მიმდები და გადამამუშავებული ნაგებობები.

როდესაც გემი ძლიერ დაზიანებულია და სწრაფი რემონტი შეუძლებელია, ხდება დაღვრილი ნავთობის ფართის შემოდობვა ბონებით. ბონებით შემოიღობება არა მარტო ავარული ფართობი, არამედ ის ადგილებიც, სადაც შესაძლებელია ნავთობის დაღვრა.

ნავთობისა და ნავთოპროდუქტების მოცილება ზედაპირიდან საკმაოდ ძნელია იმის გამო, რომ დაღვრილი ნავთობი იშლება დიდ ფართზე თხელ ფენად, რომლის სისქე შეიძლება იცვლებოდეს რამდენიმე სანტიმეტრიდან მონომოლეკულურ შრემდე. ნავთობით დაბინძურების სხვადასხვაობამ განაპირობა მრავალრიცხოვანი გამწმენდი ნაგებობების, კონსტრუქციებისა და გაწმენდის ტექნოლოგიების შექმნა [6,19].

ნავთობის მოპოვების ადგილიდან, გადამუშავებისა და მოხმარების ადგილამდე მისი გადაზიდვის ზრდასთან ერთად გახშირდა დიდტონაჟიანი ტანკერების მძიმე ავარიები (შეჯახებები, მეჩეჩებზე შეჯდომები, აფეთქებები, ხანძრები), რომლებმაც გამოიწვია ნავთობის ზღვაში ჩაღვრა [17,20].

გაეროს საერთაშორისო საზღვაო ორგანიზაციამ 1973 წელს მიიღო კონვენცია MARPOL 73/78, რომელშიც განსაზღვრულია გემებიდან ზღვის დაბინძურების თავიდან აცილების ტექნიკური მოთხოვნები [8,14].

პორტებში და გემსარემონტო ქარხნების აკვატორიებში გათვალისწინებული უნდა იყოს: 1. ავარიების შემთხვევაში დაღვრილი ნავთობის ლოკალიზაციისა და შეკრების დონისძიებები და ტექნიკური საშუალებები; 2. დაბინძურებული ჩამდინარე წყლების მოხვედრის, მკვრივი საყოფაცხოვრებო საზღვაო გარემოს დაბინძურების აღკვეთის დონისძიებები და ტექნიკური საქართველოს კანონმდებლობით არის გათვალისწინებული:

– საქართველოს კანონში საზღვაო სივრცის შესახებ [22] მეცხრე თავი მთლიანად ეხება ზღვის გარემოს დაცვას საქართველოს საზღვაო სივრცეში [22].

საქართველო აქტიურად მონაწილეობს საზღვაო გარემოს დაბინძურების შესახებ მოქმედ საერთაშორისო კონვენციებში.

1. საერთაშორისო კონფერენცია „ხომალდებიდან დაბინძურების აღკვეთის შესახებ 1973 წ. – 1978 წ. ოქმი საქართველოს მიერ რატიფიცირებულია 15.11. 1993 წ.

2. ნავთობით დაბინძურების შედეგად მიყენებული ზარალის კომპენსაციისათვის საერთაშორისო ფონდის შექმნის შესახებ 18.11. 1971 წ. – საქართველოს მიერ რატიფიცირებულია 18.04.2001 წ.

3. „ზღვის ნავთობით გაჭუჭყიანების შემთხვევაში მზადყოფნის და თანამშრომლობის შესახებ“. 1990 წლის საერთაშორისო კონვენცია – საქართველოს მიერ რატიფიცირებულია 09.09. 1995 წ.

4. „ნარჩენების გადაყრით ზღვის დაბინძურების და სხვა საკითხების შესახებ“, 1972 წლის საერთაშორისო კონვენციის 1996 წლის ოქმი – საქართველოს მიერ რატიფიცირებულია 24.03.2006 წ.

5. „გემების ბალასტური წყლის და დანალექების კონტროლისა და მართვის შესახებ“, 2004 წლის საერთაშორისო კონვენცია – საქართველოს მიერ რატიფიცირებულია 31.10.2014 წ.

### 3. დასპბნა

გაეროს საერთაშორისო ორგანიზაციამ (IOM) 1973 წელს მიიღო კონვენცია გემებიდან საზღვაო გარემოს დაბინძურების შესახებ, MARPOL 73/78, რომელშიც განსაზღვრულია გემებიდან ზღვის დაბინძურების თავიდან აცილების ტექნიკური მოთხოვნები. კონვენცია შეიცავს დონისძიებებს და წესებს, რომლებიც მიმართულია გემებიდან დაბინძურების აღკვეთისა და მინიმიზაციისაკენ.

საზღვაო ობიექტების დაპროექტებისას შესაბამისი ორგანიზაციები და დაწესებულებები ვალდებულები არიან გაითვალისწინონ დონისძიებები, რომლებიც გამორიცხავს მომავალი საწარმოს თუ ნაგებობის მიერ გარემოზე უარყოფით ზემოქმედებას.

საზღვაო პორტებში გათვალისწინებული უნდა იყოს:

1. ავარიების შემთხვევაში დაღვრილი ნავთობის ლოკალიზაციისა და შეგრძნების დონისძიებები და ტექნიკური საშუალებები;

2. სხვადასხვა მავნე ნივთირებების და დაბინძურებული ჩამდინარე წყლების მოხვედრის, მკვრივი საყოფაცხოვრებო და სამრეწველო ნარჩენების გადაყრის აღმკვეთი დონისძიებები.

Саზღვაო გარემოს დაბინძურების აღმკვეთი ღონისძიებებისადმი მიძღვნილ საერთაშორისო კონვენციებში საქართველოს აქტიური ჩართვა და აღნიშნული კონვენციების მოთხოვნებისა და რეკომენდაციების ზუსტი შესრულება უზრუნველყოფს:

- Саზღვაო უსაფრთხოების და ეფექტურობის ამაღლებას;
  - შესაბამისი ორგანოების მიერ საზღვაო ინციდენტებზე და შემთხვევებზე სწრაფ რეაგირებას;
  - გემებიდან ზღვის გარემოს პოტენციური დაბინძურების აღმოჩენას და პრევენციას;
- ნაოსნობის უსაფრთხოების და საზღვაო გარემოს დაცვას.

#### ლიტერატურა

1. Короткий Т.Р. Международно-правовая охрана морской среды от загрязнения с судов. Одесса: «Логстар», 2002 г.
2. Сокиркин В.А., Шитарев В.С. Международное морское право. Часть 6. Международное морское экологическое право. М., 2009 г.
3. Международное право: учебник/отв.ред. К.В. Игнатенко и О.И. Таупов, 5-е издание, М. Нарма, 2009 г, 784 с.
4. Конвенция ООН по морскому праву – 1982 г. Подписана в Ямайском городе Монтего-Бей. декабрь 1982 г. Вступила в действие 16.11. 1994 г.
5. Леонов В.Е., Ходаковский В.Ф., Куликова Н.Б. Основы экологии и охрана окружающей среды. Изд. Херсонского Г.М.И., 2010 г. – 352 с.
6. Международная конвенция по предотвращению загрязнения моря нефтью. Лондон, 12.05. 1954 г.
7. Конвенция ООН по предотвращению загрязнения моря сбросами отходов и других материалов. Лондон, 29.12. 1972 г.
8. MARPOL Consolidated Edition 2006 / International Maritime Organization / London< 2006.
9. Заицев Ю.П. Введение в экологию Чёрного моря, Одесса: «Эвен», 2006, 224 с.
10. Международная конвенция относительно вмешательства в открытом море в случаях Международной организации. Протокол от 2.11. 1973 г. о вмешательстве в открытом море в случаях загрязнения веществами, иными чем нефть. Лондон, 02.11. 1973 г.

11. РД 31.04.01-90 Правила ведения работ по очистке загрязненных акваторий портов.  
Введены 01.01.1991 г. Дата актуализации 01.02.2013 г.
12. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов (MARPOL 73/78),  
Санкт-Петербург АД «ЦНИИ МФ», 2017 г.- 824 с.
13. International Convention for the prevention of pollution from ships, MARPOL 73/78, 1973,  
Sesworebebi da cvlilebebi 26.09. 1997.
14. Михрин Л.М. Предотвращение загрязнения морской среды с судов и морских сооружений. СПБ, 2005 г.
15. Феленберг Г, Загрязнение природной среды, М., 1997.- 232 с.
16. Международное руководство по безопасности для танкеров и терминалов (ISGOTT, )  
Санкт-Петербург ЗАО, «ЦНИИМР», 2007 г. 504 с.
17. РД 31.4.23-94. Наставление по предотвращению загрязнения с судов, Санкт-Петербург,  
1994 г. 114 с.
18. Технологическое оборудование при ликвидации аварийных разливов нефти сорбентами.  
Ж. Горный инф.анал. бюллетень ГИАБ, 2013, №4(1), с. 56-61.
19. Маценко С.В. О вероятности крупномасштабных аварий танкеров в морских портах.  
Эксплуатация морского транспорта. Санкт-Петербург. ГМА им. адм. С.О. Макарова,  
2009, вып. 2(56), с. 69-72.
20. Смирнов Г.Н. Порты и портовые сооружения, Изд. АСВ, М., 2003.- 464 с.
21. საქართველოს კანონი საზღვაო სივრცის გესახებ, საქართველოს პრეზიდენტი,  
თბილისი, 1998 წ., 24 დეკემბერი, №1761-მს.

შავ 627.5

## მსოფლიო პორტების განვითარების ფაზების და პერსავანტიგები

### ა. საყვარელიძე

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** სტატიაში განხილულია საზღვაო პორტების განვითარება რეგიონების გაში და მათი შემდგომი პერსპექტივები. მხოლოდ 20 უდიდესი პორტის და საკონტეინერო ოპერატორების მუშაობის ანალიზია (2015 წ.) აჩვენა, რომ მათი მთლიანი ტვირთბრუნვა შედარებით დაბალია მხოლოდ ეკონომიკის და გაჭრობის ზრდის მაჩვენებელზე. ტვირთბრუნვის შემცირება აღინიშნებოდა მხოლოდ შვიდ უდიდეს პორტში (6 მათგანი ჩინეთშია განლაგებული) და ექვს საკონტეინერო უდიდეს ტერმინალში (2 ჩინური). გაერთს პროგნოზით 2017÷2022 წწ. პერიოდში სატვირთო გადაზიდვების საშუალო წლიური მატება იქნება 3.2%. გადაზიდვების ზრდა მოხალოდნებით ყველა სექტორში, მათ შორის ყველაზე დინამიკური ზრდა იქნება საკონტეინერო (5,0%) და მშრალი ტვირთების (5,6%) გადაზიდვებში.

**საკვანძო სიტყვები:** მხოლოდ ეკონომიკა, მხოლოდ გაჭრობა, საზღვაო ტრანსპორტი, საზღვაო პორტი, საერთაშორისო საზღვაო გადაზიდვები, პორტის ტვირთბრუნვა.

### 1. შესავალი

საზღვაო პორტები წარმოადგენს ძირითად რგოლს მსოფლიო სატრანსპორტო სისტემის ფუნქციონირებაში.

საზღვაო პორტები, როგორც სახელმწიფო სტრატეგიული ობიექტები ნაციონალური ეკონომიკის ბალანსირებული და მდგრადი განვითარების საფუძველია.

პორტები და მათი განვითარების დონე ასახავს ქვეყნის ინტეგრაციის ხარისხს მატერიალური რესურსებისა და მზა პროდუქციის ნაკადების განაწილების გლობალურ სისტემაში.

მსოფლიო ვაჭრობის ძირითადი ნაკადი კონცენტრირებულია XXI საუკუნის გეოსტრატეგიულ სამკუთხედში: 1. ევროპაგშირის ქვეყნები; 2. აზია – წყნარი ოკეანის რეგიონის ქვეყნები; 3. ჩრდილო-ამერიკის თავისუფალი ვაჭრობის ზონის (North American Free Trade Agreement - NAFTA) ქვეყნები [1].

საზღვაო ტრანსპორტი ერთ-ერთი უმთავრესი შემადგენელია სახელმწიფოს საგარეო ეკონომიკური საქმიანობის. პორტები ასრულებენ ტვირთნაკადების სატრანსპორტო უზრუნველყოფის პროგანდერის ფუნქციებს [2]. გარდა ამისა პორტები უზრუნველყოფენ სხვადასხვა ქვეყნების მონაწილეობის შესაძლებლობას ყოველმხრივ სავაჭრო პატნიორობაში.

გაეროს ვაჭრობისა და განვითარების კონფერენციამ (UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development) 2014 წელს [3] მსოფლიო პორტების ფუნქციონირების ანალიზით განსაზღვრა საპორტო საქმიანობის განვითარების ძირითადი ტენდენციები:

- განსაკუთრებული საპორტო ეკონომიკური ზონების – თავისუფალი საბაჟო ზონების შექმნა და განვითარება;
- პორტების გამტანუნარიანობის გაზრდა ლოგისტიკის მაღალი დონის მეშვეობით;
- პორტების დანადგარების მოდერნიზაცია გემების მომსახურების ნაწილში (განსაკუთრებით – კონტეინერების გადამზიდი გემების);
- „მწვანე“ ტექნოლოგიის გამოყენება საერთაშორისო ეკოლოგიური და ენერგოეფექტური მოთხოვნების დასაქმაყოფილებლად;
- მართვის პროცესების ავტომატიზაცია და საინფორმაციო სისტემების აქტიური გამოყენება მათი შემდგომი ინტეგრაციით მიწოდების მართვის გლობალურ სისტემებში.

## 2. მიზანთაღი ნაშილი

ტვირთების ნაკადების განაწილებაში განსაკუთრებულ როლს თამაშობენ აზია-წყნარი ოკეანის რეგიონის ქვეყნები, როგორც მატერიალური ნაკადების ფორმირების წყარო.

მსოფლიო პორტების განვითარების ტენდენციებზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ რეგიონის პორტები, რაც დაკავშირებულია იმასთან, რომ მათი დიდი ნაწილი მუდმივად ახდენს ინვესტიციური პროექტების რეალიზებას ტერმინალების მოდერნიზაციაში.

გაეროს საზღვაო ტრანსპორტის მიმოხილვაში [4] ნაჩვენებია, რომ 2015 წელს მსოფლიო ეკონომიკის ზრდის ტემპი 2014 წლის მიმართ იყო ისეთივე, როგორც 2014 წლის ზრდის ტემპი 2013 წლის მიმართ, რაც შეადგენს 2.5%. მსოფლიოს განვითარებული ქვეყნების ეკონომიკის ზრდის ტემპი 2014÷2015 წლებში იყო 1.7%÷2.0%, ხოლო განვითარებად ქვეყნებში ზრდის ტემპმა დაიკლო 4.4%-დან 3.9%-მდე.

ამ პერიოდში ჩინეთში აღინიშნა ეკონომიკის ზრდის ტემპის შემცირება 7.3%-დან (2014წ.) 6.9%-მდე (2014წ.). ინდოეთში პირიქით, აღინიშნებოდა ზრდა 7.0%-დან 7.2%-მდე. გარდამავალი ეკონომიკის ქვეყნებში 2014 წელს მცირე მატება (0.9%) შეიცვალა შემცირებით – 2.8% (2015 წ.).

2015 წელს მსოფლიო საქონლის ვაჭრობა ვითარდებოდა დაბალ ტემპებში – მატება 1.5% 2014 წელთან შედარებით. განვითარებული ქვეყნების საგარეო ვაჭრობის მატების არსებულმა ტენდენციამ ვერ შეძლო ამ მაჩვენებლის მკვეთრი ვარდნის კომპენსაცია განვითარებად ქვეყნებში.

განვითარებული ქვეყნების საგარეო ვაჭრობა 1.9%-დან გაიზარდა 2.2%-მდე, ხოლო განვითარებად ქვეყნებში მაჩვენებელმა დაიწია 3.1%-დან 0.4%-მდე.

მსოფლიო ექსპორტის მატების ტემპის შემცირება უარყოფითად დაეტყო საერთაშორისო საზღვაო გადაზიდვების მოცულობებს 2015 წელს. ამ მომატების ზრდის ტემპმა შეადგინა 2.1%, რაც უფრო დაბალია 2014 წლის მაჩვენებლებზე 3.4%-ით.

2013 წლიდან არსებობს მდგრადი კორელაცია მსოფლიო ექსპორტის ვარდნასა და საერთაშორისო საზღვაო გადაზიდვების შემცირებას შორის. ის ფაქტი, რომ მსოფლიო საქონლის ექსპორტი ვითარდება უფრო დაბალი ტემპით, ვიდრე მსოფლიოს ეკონომიკა, ნიშნავს, რომ მსოფლიო ვაჭრობა თანდათან კარგავს ეკონომიკური, განვითარების ძირითადი კატალიზატორის როლს.

გაეროს საზღვაო ტრანსპორტის მიმოხილვებში [4] აღნიშნულია, რომ მსოფლიოს ყველა პორტების მუშაობის შესახებ სტატისტიკური მონაცემების მიღება დაკავშირებულია მნიშვნელოვან სიძნეებთან. ეს მონაცემები ხელს უწყობს პორტების მუშაობის გაუმჯობესებას; მათი ეფექტურობის გაზრდას; სატრანსპორტო ხარჯების შემცირებას და სავაჭრო საქონლის გაიაფებას, რაც დამატებითი იმულსია მსოფლიო ვაჭრობის განვითარებისთვის.

### ცხრილი 1

#### **მსოფლიოს 20 უდიდესი პორტი ტვირთების გადაზიდვის მოცულობის მიხედვით 2013-2015 წწ. (ათასი ტონა) [4] გვ.71**

№	პორტი	ქვეყანა	2013 წ.	2014 წ.	2015 წ.	ზრდის ტემპი	
						2014/ 2013 %	
1	ნინბო	ჩინეთი	809800	873000	889000	7.80	
2	შანსაი	ჩინეთი	776000	755300	717400	-2.67	
3	სინგაპური	სინგაპური	560800	581000	574900	3.66	
4	ტიანცზინი	ჩინეთი	500600	540000	541000	7.87	
5	სუნჯოუ	ჩინეთი	454000	480000	540000	5.73	
6	გუანჩჯოუ	ჩინეთი	454700	500400	519900	10.05	
7	ცინდაო	ჩინეთი	450000	480000	500000	6.67	
8	ტანშანი	ჩინეთი	446200	500800	490000	12.24	
9	როტერდამი	ნიდერლანდები	440500	444700	466400	0.95	
10	პორტი ჰედლენდი	ავსტრალია	326000	421800	452900	29.39	
11	დალიანი	ჩინეთი	408400	420000	415000	2.84	
12	ჯინჯაო	ჩინეთი	309200	353000	361000	14.17	
13	ინჯოუ	ჩინეთი	330000	330700	338500	0.21	
14	პუსანი	რესპუბლიკა კორეა	292400	312000	323700	6.70	
15	სამხრეთ ლუიზიანა	აშშ	241500	264700	265600	9.61	
16	პონგკონგი	ჩინეთი	276100	297700	256600	7.82	
17	ცინცუანდაო	ჩინეთი	272600	274000	253000	0.51	
18	პორტი კლანგი	მალაიზია	200200	217200	219800	8.43	
19	შენჩვენი	ჩინეთი	234000	223000	217100	-4.57	
20	სამინი	ჩინეთი	191000	205000	210000	7.33	
<b>სულ 20 უდიდესი პორტი</b>			7974000	8474900	8551900	6.28	

UNCTAD-ის 2015 წლის სტატისტიკის თანახმად [2] მსოფლიო საპორტო დარგში შეინიშნება მნიშვნელოვანი ვარდნა (ცხრილი 1). 2015 წელს 20 უდიდესი პორტის ტვირთების გადაზიდვის საერთო მოცულობის ზრდა 2014 წელთან შედარებით შეადგენს  $\approx 1\%$  (0.91%), რაც მნიშვნელოვნად დაბალია 2014 წლის მონაცემებზე. 2014 წელს ტვირთების გადაზიდვის ტემპი 2013 წელთან შედარებით იყო 6.28%.

20 უდიდესი პორტიდან 14 მდებარეობს ჩინეთში, კიდევ 3 აზიაში, თითო-თითო ავსტრალიაში, ევროპასა და ჩრდილო ამრიკაში. 7 უდიდეს პორტში აღინიშნება ტვირთბრუნვის შემცირება. 6 მათგანი ჩინეთშია, 1 სინგაპურში.

ტვირთების გადატანის მოცულობის მიხედვით მსოფლიოს სიდიდით მეორე შანხაის პორტში აღინიშნება ტვირთბრუნვის შემცირება. 2014 წელს ვარდნამ შეადგინა 2.74%, 2015 წელს – 5.28%.

ტვირთბრუნვის ყველაზე მკვეთრი ვარდნა მოხდა პონგკონგში – 297.7 მილიონ ტონიდან 2014 წელს; 256.6 მილიონ ტონამდე 2015 წ. (ვარდნა 13.81%). მაქსიმალური მატების ტემპი აღინიშნა ჩინეთის პორტში – სუნჯოუ (12.5%). ავსტრალიის პორტმა ჰედლენდმა გაზარდა მონაცემები 7.3%-ით, ხოლო როტერდამმა (ნიდერლანდები) – 4.88%-ით, რაც დაკავშირებულია ნედლი ნავთობის და ოხევადი გაზის მიწოდების გაზრდასთან.

საკონტეინერო გადაზიდვებზე [2,4] მოდის ყველა საერთაშორისო გადაზიდვების მოცულობის ნახევარზე მეტი (ფასების მიხედვით) და დაახლოებით ერთი მე-ექსედი ნაწილი მათი ფიზიკური მოცულობისა. კონტეინერებში გადაიზიდება ყველაზე განსხვავებული სხვადასხვა სახის ტვირთები: ჯართიდან, ნედლეულიდან და ნახევარფაბრიკატებიდან დაწყებული, მზა პროდუქციამდე. კონტეინერების ფართო დანერგვა აისხება პრაქტიკული გამოყენების შესაძლებლობით.

საზღვაო გადაზიდვების კონტეინერიზაცია ხელს უწყობს ტვირთების დამუშავების დროის შემცირებას, აადვილებს გადატვირთვას ერთი სახის ტრანსპორტიდან მეორეზე.

საკონტეინერო გადაზიდვების ხვედრითი წონა ქვეყნის პორტების საერთო ტვირთბრუნვის მოცულობაში წარმოადგენს ქვეყნის საერთაშორისო ვაჭრობაში დონის მაჩვენებელს [4].

2016 წელს საზღვაო ტრანსპორტის ანალიზის [4] UNCTAD-ის ანგარიშში (ცხრილი 2) მოცემულია მსოფლიოს 20 უდიდესი საკონტეინერო პორტების ტვირთ-

ბრუნვის მონაცემები 2013–2015 წლებში: გადაზიდვა 20-ფუტიან საზღვაო კონტეინერებში TEU.

ამ 20 პორტის წილად მოდის 100 საერთაშორისო წამყვანი ოპერატორის ტვირთბრუნვის ნახევარზე მეტი (58% – 2015 წ.). ცხრილის და UNCTAD-ის მონაცემების ანალიზმა აჩვენა, რომ მათი (20 პორტი) ერთიანი საკონტეინერო ბრუნვა 2015 წელს 2014 წელთან შედარებით გაიზარდა მცირედ 0.54%. 310 877 000 TEU–2014 წ. და 312 546 000 TEU–2015 წ. (ცხრილი 2).

2014 წელს ამ მონაცემების მატება წინა 2013 წელთან შედარებით იყო 5.68%. ტვირთბრუნვა გაიზარდა 294 245 000 TEU-დან 310 877 000 TEU-მდე (ცხრილი 2).

მსოფლიოს უდიდეს საკონტეინერო ტერმინალებში შედის 15 პორტი განვითარებადი ქვეყნებიდან (ყველა მდებარეობს აზიაში), 5 განვითარებულ ქვეყნებში: 3 პორტი ევროპაში – ნიდერლანდები, ბელგია, გერმანია და 2 ჩრდილოეთ ამერიკაში – ლოს ანჯელესი და ლონგ ბიჩი (კალიფორნიის შტატი).

პირველი 10 უდიდესი პორტის განლაგება აზიაში ამტკიცებს ამ რეგიონის განსაკუთრებულ როლს შრომის საერთაშორისო დაყოფაში და ნახევარფაბრიკატებით და მზა პროდუქციით ვაჭრობაში: მათი ეფექტურობის გაზრდას; სატრანსპორტო ხარჯების შემცირებას და სავაჭრო საქონლის გაიაფებას, რაც დამატებითი იმპულსია მსოფლიო ვაჭრობის განვითარების.

## ცხრილი 2

### მსოფლიოს 20 უდიდესი საზღვაო საკონტროლო ტერმინალი და მათი ტვირთბრუნვა 2013–2015წ. (ათასი TEU), [4]

№	პორტი	ძველანა	2013 წ.	2014 წ.	2015 წ.	ზრდის ტემპები	
						2014/2013 %	2015/2014 %
1	შანსაი	ჩინეთი	33617	35290	36540	4.98	3.54
2	სინგაპური	სინგაპური	32579	33869	30922	3.96	-8.70
3	შენჩხენი	ჩინეთი	23279	24040	24200	3.27	0.67
4	ნინბო	ჩინეთი	17351	19450	20630	12.10	6.07
5	ჰონგკონგი	ჩინეთი	22352	22200	20100	-0.68	-9.46
6	ჰასანი	რესპ. კორეა	17686	18683	19467	5.64	4.20
7	გუანჩოუ	ჩინეთი	15309	16610	17590	8.50	5.90
8	ცინდაო	ჩინეთი	15520	16580	17430	6.83	5.13
9	დუბაის პორტები	გაერთიანებული ემირატები	13641	15200	15590	11.43	2.57

## გაგრძელება

10	ტიანცზინი	ჩინეთი	13000	14060	14110	8.15	0.36
11	როტერდამი	ნიდერლანდები	11621	12298	12235	5.83	-0.51
12	პორტკლანგი	მალაიზია	10350	10946	11887	5.76	8.60
13	გაოსიუნი	ტაივანი	9938	10593	10260	6.59	-3.14
14	ანტვერპენი	ბელგია	8578	8978	9654	4.66	7.53
15	დალიანი	ჩინეთი	10015	10130	9450	1.15	-6.71
16	სამინი	ჩინეთი	8008	8572	9180	7.04	7.09
17	ტანჯუნგპელასრი	მალაიზია	7628	8500	9130	11.43	7.41
18	ჰამბურგი	გერმანია	9257	9720	8821	5.00	-9.25
19	ლოსანჯელესი	აშშ	7868	8340	8160	6.00	-2.11
20	ლენგ ბიჩი	აშშ	6648	6818	7190	2.56	5.41
<b>სულ 20 საკონტეინერო ტერმინალი</b>			294245	310877	312546	5.65	0.54

20 უდიდესი საკონტეინერო პორტიდან 9 მდებარეობს ჩინეთში და აქედან შვიდს (დალიანის და პონგკონგის გამოკლებით) აქვს ტვირთბრუნვის ზრდა მიუხედავად იმისა, რომ შანხაის პორტის ტვირთბრუნვა 2015 წელს შემცირდა 2014 წლის ინტენსივობასთან შედარებით ( $3.54\% - 2015 \text{ წ.}$ ;  $4.98\% - 2014 \text{ წ.}$ ).

2013 წელს პორტმა შენჯუნმა პირველად დაიკავა მესამე ადგილი მსოფლიოში, ჩაანაცვლა პონგკონგი და შეინარჩუნა ეს პოზიცია 2014-2015 წწ. ყველაზე მნიშვნელოვანი შემცირება ტვირთბრუნვის მატების 2015 წ., შედარებით 2014 წელთან, მოხდა პონგკონგში, ჰამბურგსა და სინგაპურში – შესაბამისად  $9.46\%$ ,  $9.25\%$  და  $8.7\%$ . ტვირთბრუნვის ყველაზე მნიშვნელოვანი მატება კი შეინიშნებოდა პორტკლანგში, ანტვერპენში და ტანჯუნგპელასრი, შესაბამისად  $8.6\%$ ,  $7.53\%$  და  $7.41\%$  (ცხრ. 2).

ჩინეთის 9 უდიდესი საკონტეინერო ტერმინალების საკონტეინერო ბრუნვა 2015 წ. იყო 169 230 000 TEU, რაც შეადგენს მთლიანი მსოფლიო საკონტეინერო ბრუნვის  $54.15\%$ .

ჩინეთის ეკონომიკის სწრაფმა განვითარებამ, ექსპორტის ზრდამ მოითხოვა ტვირთების გადაზიდვისთვის ხელსაყრელი პირობების შექმნა ამერიკის, ევროპის, ავსტრალიის და სხვა უცხოურ ბაზრებზე.

ჩინეთიდან ექსპორტირებული მოცულობები სულ უფრო იზრდებოდა 483 მილიონი ტონიდან (1990 წლიდან), 2.5 მილიარდ ტონამდე (2015 წ.).

UNCTAD-ის პროგნოზით 2018-2022 წწ. პერიოდში საშუალო წლიური ტემპი სატვირთო გადაზიდვების მატების იქნება 3.2%. გადაზიდვების ზრდა მოსალოდნებლია ყველა სექტორში, მათ შორის ყველაზე დინამიკური ზრდა იქნება საკონტენერო გადაზიდვებში (5.0% წლიური და მასობრივი ტვირთების გადაზიდვებში (5.6% წლიური და ბაზის ტემპის 1.2%-იანი ზრდა წლიური და რაც ნავთობპროდუქტებისა და გაზის 1.7%-ს შეადგენს [6].

### 3. დასპანა

დღეისათვის განვითარებადი ქვეყნები გახდნენ სამრეწველო პროცესების საერთაშორისო დაყოფის სისტემის აქტიური მონაწილეები. ნედლეულის იმპორტიორებიდან ისინი გახდნენ ნახევარფაბრიკატების და მზა პროდუქციის მსხვილი ექსპორტიორები.

განვითარებადი ქვეყნების წილი ერთიანი მსოფლიო პორტების ტვირთბრუნვაში შეადგენს 70%-ზე მეტს. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ მათი როლი მსოფლიო ეკონომიკაში და ვაჭრობაში იზრდება.

ქვეყნები ჩამოყალიბების პროცესში მყოფი ბაზრებით წარმოადგენენ მსოფლიო მოთხოვნების მთავარ სტიმულს. ისინი არიან საზღვაო გადაზიდვების და საზღვაო ტრანსპორტის მომსახურების მოთხოვნის ლოკომოტივი.

### ლიტერატურა

1. Angeles villareal (2010) NAFTA and the Mexican Economy Federation of American Sintists Congressional Research Service RL 34733.
2. Review of Maritime Transport, 2014 UN, Publication. New York 9.03. 2015.-134p.
3. UNCTAD, world investment 2014, UN New York and Geneva.-264 p.
4. Review of Maritime Transport, 2016. UN (UNCTAD), Geneva, November, 2016.- 118p.
5. CIRCA (2008) Glossary: TEU (Twenty-foot Equivalent Unit) Yhe European Comission.
6. Review of Maritime Transport, 2017. UNCTAD, UN New York and Geneva, 2017.- 130 p.

შაგ 697.1 (0.753)

## შენობათა ენერგოეფექტური ცხელი წყალმომარაგების სისტემები

მ. გრძელიშვილი, ა. კოპალიანი

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** სტატიაში განხილულია შენობათა ცხელი წყალმომარაგება განახლებადი ენერგიის ბაზაზე. განხილულია წყლის გაცხელება მზის ბატარეულისა და შესაბამისად მოცულობითი აკუმულირებადი ელექტრო-წყალგამაცხელებ-ლების საშუალებით და ცხელი წყლის თბური ტუბოებით. შესწავლი-ლია წყლის გაცხელების პირობები სავენტილაციო გამონაბოლქვებიდან თბური ენერგიის უზილიზაციით, დამუშავებულია ბინის ვენტილაციისა და ცხელი წყალმომარაგების ერთიანი სისტემა.

**საკვანძო სიტყვები:** თბური ენერგია, ცხელი წყალი, მზის თბომომარაგება, თბური ტუბი, ვენტილაცია, ენერგოეფექტურობა, განახლებადი ენერგია, განაწილებული გენერაცია.

### 1. შესავალი

თანამედროვე სამოქალაქო მშენებლობაში სულ უფრო მეტი ყურადღება ექცევა შენობათა ენერგოეფექტური საინჟინრო სისტემებით აღჭურვას. ცნობილია, რომ ქვეყანაში გამომუშავებული ენერგიის თითქმის ნახევარი შენობა-ნაგებობებზე მოდის, რომელთაგან 77% ხმარდება შენობათა გათბობას, ხოლო 12% – ცხელ წყალ-მომარაგებას. ენერგომოხმარების ესოდენ დიდი რაოდენობა გვაიძულებს ვეძიოთ გზები მის შესამცირებლად და წიაღისეული სათბობის მთლიანად ალტერნატიული ენერგიით ჩასანაცვლებლად.

## 2. მიზანთაღი ნაწილი

შენობათა ენერგოეფექტური საინჟინრო სისტემებით აღჭურვა ენერგოეფექტური მშენებლობის ნაწილია და გულისხმობს შენობათა აღჭურვას გათბობის, ვენტილაციის, ჰაერის კონდიცირების და ცხელი წყალმომარაგების ენერგოეფექტური სისტემებით.

ენერგოეფექტური არის ის სისტემები, რომლებიც უზრუნველყოფენ შენობათა კომფორტის პირობებს ენერგიის შესაძლო მინიმალური დანახარჯებით.

შენობათა ენერგოეფექტურობა რომ მსოფლიო დონის სამეცნიერო-ტექნიკური პრობლემაა, მოწმობს ევროკავშირის მიერ შემუშავებული დირექტივა (Directive of the energy performance of buildings, EPBD), რომელიც წარმოადგენს ევროკავშირის ძირითად საკანონმდებლო ინსტრუმენტს ევროკავშირის სამშენებლო ფონდის ენერგოეფექტურობის გაზრდის მიზნით. ეს დირექტივა ძალაშია 2003 წლიდან. ამ ხნის განმავლობაში მიღწეულია მნიშვნელოვანი შედეგები. კერძოდ, ყველა ახალ შენობას, რომელიც აშენდება ევროკავშირის ტერიტორიაზე, უნდა გააჩნდეს თითქმის ნულოვანი ენერგომოხმარება (zero-energy house). ეს დირექტივა ძალაში შედის 2020 წლის დეკემბრიდან კერძო საკუთრებაში არსებული შენობებისათვის, ხოლო სახელმწიფო დაწესებულებებისათვის კი – 2018 წლის დეკემბრიდან.

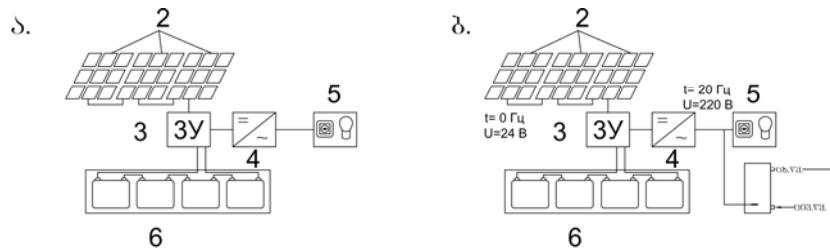
საქართველოს ევროკავშირთან ასოცირების ხელშეკრულება გვავალდებულებს დავიცვათ EPBD დირექტივების მოთხოვნები და გათბობისა და ცხელი წყალმომარაგებისათვის ენერგომოხმარება დავიყვანოთ მინიმუმამდე. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ უარი ვთქვათ წიაღისეული ენერგორესურსების გამოყენებაზე და შენობათა ენერგომოხმარება უზრუნველვყოთ განახლებადი ენერგიის ხარჯზე. განახლებადი ენერგიის ძირითადი წყაროა მზე, რომელიც დედამიწას წელიწადში აწვდის 5000-ჯერ უფრო მეტ ენერგიას, ვიდრე ამას კაცობრიობა მოიხმარს. მზის ენერგია დიდი რაოდენობითაა აკუმულირებული ჩვენს ირგვლივ მყოფ ჰაერში, წყალსა თუ გრუნტში. მათში აკუმულირებული სითბო თბური ტუმბოების მეშვეობით ფართოდ გამოიყენება შენობათა მიკროკლიმატის უზრუნველყოფის სისტემებში.

შენობათა მიკროკლიმატის უზრუნველყოფის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი სეგმენტია შენობათა ცხელი წყალმომარაგების სისტემა. დღეისათვის ცხელი წყლით უზრუნველყოფა ძირითადად წიაღისეული სათბობის (ძირითად ბუნებრივი გაზის) ხარჯზე მიმდინარეობს.

ცხელი წყალმომარაგების სისტემებში ბუნებრივი გაზის გამოყენებაზე უარის თქმა და განახლებადი ენერგიის გამოყენება ცხელი წყლის მოსამზადებლად მნიშვნელოვან წილად გაზრდის შენობათა ენერგოეფექტურობას და გააუმჯობესებს გარემოს ეკოლოგიურ მდგომარეობას.

არატრადიციული ენერგიის ცხელწყალმომარაგების სისტემაში გამოყენების საუკეთესო მაგალითია მზის თბომომარაგების სისტემა, რომელიც მზის გამოსხივების საფუძველზე, მზის კოლექტორების მეშვეობით აცხელებს წყალს სასურველ ტემპერატურამდე. ეს საკითხი ჩვენ მიერ შესწავლილია და დამუშავებულია მზის ცხელი წყალმომარაგების სისტემის ანგარიშის მეთოდიკა საქართველოს პირობებისათვის [1].

ცხელი წყალმომარაგების ენერგოეფექტურ სისტემას წარმოადგენს განაწილებული გენერაციის ბაზაზე მოწყობილ შენობათა ენერგომომარაგების სისტემა [2]. შენობის სახურავზე განლაგებული მზის ბატარეები უზრუნველყოფენ შენობის სრულ ენერგომომარაგებას. ვინაიდან ნულოვანი ენერგომოხმარების სახლების გათბობის ხარჯი მინიმალურია, ამიტომ თბური ენერგიის ძირითად მომხმარებლად ითვლება ცხელი წყალმომარაგების სისტემა. სახურავზე განლაგებული მზის სისტემა უნდა შეირჩეს იმ ანგარიშით, რომ დაკმაყოფილდეს შენობის ელექტროდატვირთვა (განათება და საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოები) და ცხელი წყალმომარაგების თბური დატვირთვა.



ნახ. 1. სახლის ავტონომიური ენერგომომარაგების პრინციპულ-ტექნოლოგიური სქემა:

ა – ელექტროაკუმულატორებით; ბ – ელექტრო- და ცხელი წყლის აკუმულატორებით:

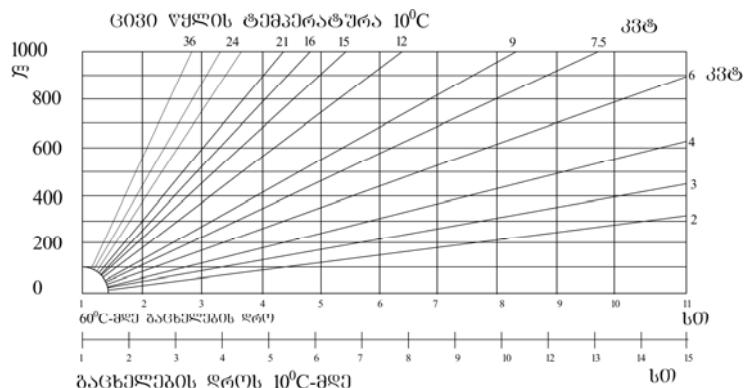
- 1 – ცხელი წყლის აკუმულატორი (მოცულობითი წყალგამაცხელებელი); 2 – მზის პანელები (ბატარეები); 3 – გამმართველი; 4 – ინვერტორი; 5 – ელექტროენერგიის მომხმარებლები; 6 – აკუმულატორული ბატარეები

ნახ. 1-ზე ნაჩვენებია სახლის ავტონომიური ენერგომომარაგების პრინციპულ-ტექნოლოგიური სქემა. ნახ.1-ა წარმოადგენს მზის ბატარეების საშუალებით სახლის ელექტრომომარაგების ტიპურ სქემას. ჭარბი ელექტროენერგიის შენახვის მიზნით

გამოყენებულია სპეციალური აკუმულატორები, რომლებიც მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში, მათ შორის ევროპაშიც, საჭირო არაა, რადგანაც მზის ბატარეებში გამომუშავებული ელექტროენერგია მიეწოდება ქსელს. საქართველოში ასეთი სისტემა ჯერ არ მოქმედებს, ამიტომ იძულებული ვხდებით სისტემაში შემოვიტანოთ დამატებითი ელემენტი, აკუმულატორული ბატარეები (7).

ენერგომომარაგების ფუნქციური დანიშნულების გაუმჯობესების და ფულადი დანახარჯების შემცირების მიზნით ელექტროაკუმულატორი შეიძლება ჩანაცვლებული იქნეს მოცულობითი ელექტროწყალგამაცხელებლებით, რომლებიც დღის განმავლობაში გააცხელებენ წყალს, ხოლო საჭირო რაოდენობის ელექტროაკუმულატორები მოახდენენ ელექტროენერგიის აკუმულირებას (ნახ. 1<sup>ბ</sup>).

წყალგამაცხელებლების მოცულობა, გამდინარე წყლის ხარჯი და ელექტროგამხურებლის სიმძლავრე უნდა შეირჩეს კონკრეტული შენობის ენერგომახასიათებლების და მშენებლობის ადგილმდებარეობის მიხედვით.



ნახ. 2. მოცულობით წყალგამაცხელებელში წყლის გაცხელების პერიოდი ექტროგამხურებლის სიმძლავრის მიხედვით

წყლის გაცხელების მიზნით ენერგომომარაგების ავტონომიურ სისტემაში, რომელშიც ცხელი წყლის მომზადება მზის ბატარეებით ხდება, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ნებისმიერი მოცულობითი ტიპის ელექტრო-წყალგამაცხელებელი. დღის განმავლობაში ფოტოელემენტების მიერ გამომუშავებული ელექტროენერგიის ხარჯზე ხდება წყლის გაცხელება.

წყლის გაცხელების დრო გამოითვლება ფორმულით:

$$t = \frac{mc(t_{gb} - t_{g0})}{P\mu}, \quad (1)$$

სადაც  $m$  არის გასაცხელებელი წყლის რაოდნობა კგ-ობით;  $c$  – წყლის თბოტევა-დობა და იგი შეადგენს 1.163 გტ.სთ/კგ·გრ-ს;  $t_{\text{cb}}$  და  $t_{\text{co3}}$  – შესაბამისად გასაცხელებელი წყლის საწყისი და საბოლოო ტემპერატურები,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\mu$  – წყალგამაცხელებლის მქა და იგი ელექტროგამაცხელებლისათვის 0.98-ის ტოლი აიღება.

მოცულობით წყალგამაცხელებელში წყლის გაცხელების დრო ცალსახად არის დამოკიდებული ელექტროსახურებელი ელემენტის სიმძლავრეზე. რაც მეტია ეს სიმძლავრე, მით უფრო სწრაფად გაცხელდება წყალი საჭირო ტემპერატურამდე.

წყლის გაცხელების დრო სხვადასხვა მოცულობის ელექტროგამაცხელებელში, სახურებელი ელემენტის სიმძლავრის მიხედვით, როდესაც ცივი წყლის ტემპერატურა  $10^{\circ}\text{C}$  ტოლია, ნაჩვენებია გრაფიკზე (ნახ. 2).

მოცულობითი წყალგამაცხელებლის შერჩევის დროს საჭიროა გავიგოთ ნარევი წყლის რაოდენობა და ტემპერატურა.

ნარევი წყლის რაოდენობა ტოლია:

$$m_{\text{ნარ}} = \frac{m_{\text{co3}}(t_{\text{co3}} - t_{\text{cb}})}{t_{\text{ნარ}} - t_{\text{co3}}}, \quad (2)$$

ხოლო ტემპერატურა:

$$t_{\text{ნარ}} = \frac{m_{\text{co3}}t_{\text{co3}} + m_{\text{cb}}t_{\text{cb}}}{m_{\text{co3}} + m_{\text{cb}}}, \quad (3)$$

სადაც  $m$  არის წყლის რაოდნობა კგ-ობით;  $t$  – ტემპერატურა,  $^{\circ}\text{C}$ .

წყალგამაცხელებლის ხარჯი, ანუ მწარმოებლობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$G = \frac{P}{C(t_{\text{cb}} - t_{\text{co3}})} \text{ კგ/სთ (ნ/სთ)}, \quad (4)$$

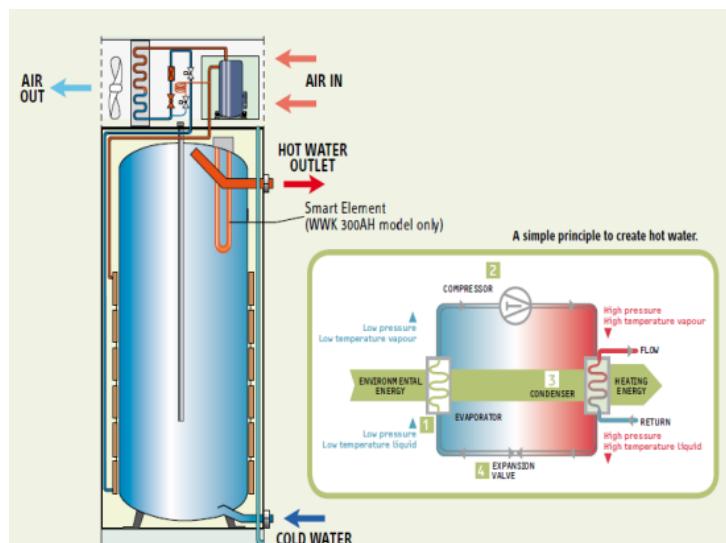
სადაც  $P$  არის სახურებელი ელემენტის სიმძლავრე, გტ;  $C$  – წყლის ხელიდრითი თბოტევადობა და იგი ტოლია 1.163 გტ.სთ/კგ·გრ-ია.

ცხელი წყალმომარაგების სისტემების ანგარიშის დროს წყლის ხარჯი წინასწარ ცნობილი სიდიდეა და იგი მომხმარებლის სახეობის მიხედვით აიღება ნორმებიდან [4].

ცხელი წყალმომარაგების ზემოთ განხილული სისტემა, რომელიც იკვებება მზის ფოტოელემენტებიანი ბატარეულიდან მიღებული ელექტროენერგიის ხარჯზე,

მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ იმ შემთხვევაში, თუ ეს წყალგამაცხელებელი უკვე არსებობს ცხელი წყალმომარაგების სისტემაში და მისი გამოცვლა ან გადაკეთება ვერ ხერხდება.

ცხელი წყალმომარაგების სისტემაში მზის ენერგიის გამოყენების დროს მზის ბატარების ნაცვლად უმჯობესია მზის კოლექტორების გამოყენება, რომლებიც მზის ენერგიას უშუალოდ წყლის გასაცხელებლად იყენებს [1]. იმ შემთხვევაში კი, როდესაც წყლის გასაცხელებლად დაბალპოტენციური ან გადაგდებული სითბოთი ვსარგებლობთ, მიზანშეწონილია მზის ფოტოელემენტების გამოყენება. ამ დროს მიღებული ელექტროენერგია წყალგამაცხელებელში ჩაშენებული თბური ტუმბოს ასამოქმედებლადაა საჭირო.



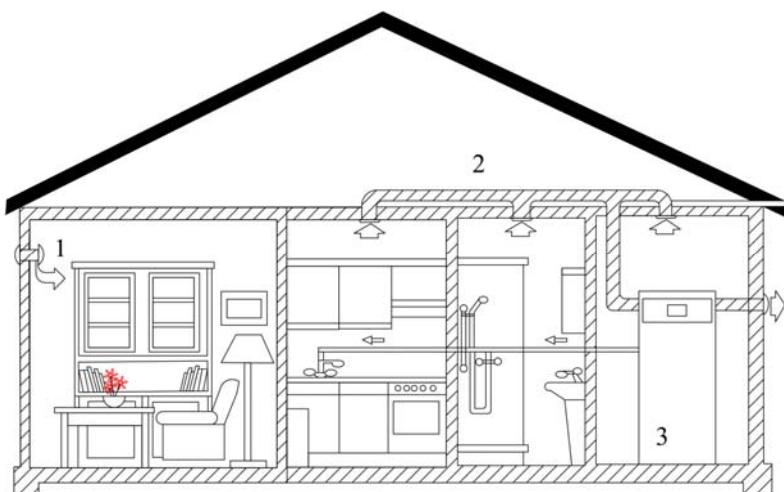
ნახ. 3. ცხელი წყლის თბური ტუმბოს მოქმედების პრინციპი:

1 – მოცულობითი წყალგამაცხელებელი; 2 – თბური ტუმბო

ასეთი წყალგამაცხელებლის პრინციპულ-ტექნოლოგიური სქემა ნაჩვენებია ნახ. 3-ზე. ეს წყალგამაცხელებელი მუშაობს სითბოს უტილიზატორის პრინციპზე და გამოიყენება წყლის გასაცხელებლად ინდივიდუალური ბინის პირობებში. წყალგამაცხელებელს გააჩნია საკმაოდ მაღალი მწარმოებლობა და წყლის გაცხელების ორსაფეხურიანი სისტემა. პირველ საფეხურზე თბური ტუმბოს მეშვეობით წყალი ცხელდება  $5.5^{\circ}\text{C}$ -მდე, ხოლო მეორე საფეხურზე კი სპეციალური ელექტროგამახურებლის საშუალებით –  $65^{\circ}\text{C}$ -მდე, რაც განსაკუთრებით სასარგებლოა წყლის დეზინფექციის მიზნით. ასეთი დანადგარის სიმძლავრის (გარდაქმნის) კოე-

ფიციენტი  $KOP=4$ , თანახმად EN255-ისა. ეს დანადგარი შეიძლება მოეწყოს, როგორც მონობლოკის, ასევე სპლიტის სახით. უკნასკნელ შემთხვევაში თბური ტუმბოს ნაწილი (ამაორთქლებელი, კომპრესორი) შეიძლება მოეწყოს წყალგამაცხელებლი-დან მოცილებით. წყალგამაცხელებლის ენერგოეფექტურობის კლასი უმაღლესია და იგი  $A^+$ -ით არის სერტიფიცირებული.

ცხელწყალმომარაგების სისტემის ენერგოეფექტურობის გაზრდის ერთ-ერთი გზაა ნარჩენი ან გადაგდებული სითბოს გამოყენება. შენობაში სითბოს ასეთი წყა-როა კანალიზაციის ჩამდინარე წყლები [3] ან სავენტილაციო გამონაბოლქვები. ნახ. 4-ზე ნაჩვენებია ბინის ცხელწყალმომარაგების ავტონომიური სისტემა, რომელშიც თბური ენერგიის წყაროდ გამოყენებულია გამწოვი სავენტილაციო სისტემის ჰაერი.



ნახ. 4. ბინის ცხელი წყალმომარაგება სავენტილაციო გამონაბოლქვების სითბოს უტილიზაციის ხარჯზე: 1 – ბინაში ჰაერის მიწოდება; 2 – ჰაერის გამწოვი სისტემა; 3 – მოცულობითი წყალგამაცხელებელი ჩაშენებული თბური ტუმბოთი

სამზარეულოდან, სააბაზანოდან და სხვა დამხმარე საოთავსოდან გაწოვილი ჰაე-რი საკმაოდ მაღალი ტემპერატურისაა ( $22-30^\circ\text{C}$ ). მისი რაოდენობა კი ( $150-250 \text{ მ}^3/\text{სთ}$ ) სავსებით საკმარისია წყლის გასაცხელებლად.

10-დან  $55^\circ\text{C}$ -მდე მოცულობით წყალგამაცხელებელში ჩამონტაჟებული თბური ტუმბოს სიმძლავრის კოეფიციენტი ამ დროს  $4 \div 5$ -ის ფარგლებშია. წყალგამაცხე-ლებელს დამატებით უკეთდება ელექტროგამხურებელი, რომელიც იკვებება მზის ფოტოელემენტებში გამომუშავებული ელექტროენერგიით.

### 3. დასპბნა

1. ენერგოეფექტური მშენებლობა თანამედროვე სამოქალაქო მშენებლობის ერთ-ერთი აქტუალური მიმართულებაა და გულისხმობს შენობებში ენერგორესურსების მინიმალური დანახარჯების გზით მაქსიმალური კომფორტის შექმნას, უზურუნველყოფს წიაღისეული საობობის წვის შედეგად გამოყოფილი მავნე გაზების კოლოსალურ შემცირებას და სათანადოდ გარემოს ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესებას.

2. შენობათა ენერგოეფექტურობის მიღწევა შესაძლებელია, როგორც შენობების შემომზღვდი კონსტრუქციების ობოფიზიკური მახასიათებლების გაუმჯობესებით, ასევე ამ შენობების ენერგოეფექტური საინჟინრო სისტემებით აღჭურვით.

3. შენობათა საინჟინრო სისტემებიდან თბური ენერგიის ერთ-ერთი მსხვილი მომხმარებელია ცხელი წყალმომარაგების სისტემა, ამიტომაც ამ სისტემებში თბური ენერგიის ეკონომიური ხარჯვა, წიაღისეული საობობის ჩანაცვლება განახლებადი ენერგიით და ცხელი წყალმომარაგების რაციონალური სქემების დამუშავება მნიშვნელოვნად გაზრდის შენობათა საერთო ენერგოეფექტურობას.

4. შენობებში მზის ენერგომომარაგების სისტემების და ცხელი წყლის ობური ტუმბოების გამოყენება გვაძლევს ცხელი წყალმომარაგების სისტემის ენერგოეფექტურობის გაზრდის და მავნე გამონაბოლქვების ნულამდე დაყვანის შესაძლებლობას.

### ლიტერატურა

- მ. გრძელიშვილი, ო. გიორგობიანი, ა. კოპალიანი. მზის ობომომარაგების სისტემები და მათი გამოყენების პერსპექტივები საქართველოში. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, სტუ, №4(35), 2014 წ.
- მ. გრძელიშვილი, ო. გიორგობიანი, ა. კოპალიანი. შენობათა ენერგომომარაგება განაწილებული გენერაციის ბაზაზე. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, სტუ, №4(27), 2012 წ., გვ. 129-135.
- Стибел Елтон - Рекомендации по подбору оборудования. Водонагреватели. 2016 г. 40 стр.
- СП 30.13330.2012. Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СниП 2.04.01-85.
- მ. გრძელიშვილი, ა. კოპალიანი, დ. კუჭუხიძე. კანალიზაციის ობური ტუმბოები და მათი გამოყენება ობომომარაგების სისტემებში. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „პიდროინჟინერია“, სტუ, 2017 წ.

შაგ 693.54

## გეტონის დეფორმაციის გამოკვლევა ჰოლობრაზიული ინჟინერული მეთოდი

გ. დალაქიშვილი, პ. ხაზალია, ც. გიორგაძე, ო. საჯაია, გ. თურმანიძე

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო  
ფონდის მხარდაჭერით საგრანტო პროექტ № FR-18-11671-ის ფარგლებში.

**რეზიუმე:** თანამედროვე კაშხალმშენებლობაში მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება ბეტონის სამუშაოების ინტენსიუფიკაციას, რაც დამატებით მოთხოვნებს უზენებს პროექტანტებს ნაგებობის კონსტრუქციული ელემენტების (სექციები, ბლოკები) პარამეტრების (მოცულობის) გაზრდის თვალსაზრისით, გამსხვილებული ბლოკები ართულებს ბეტონის მასივის თერმორეგულირების პროცესს და ზრდის ტემპერატურული ბზარწარმოქნის რისკს. ამდენად, მნიშვნელოვანია ბეტონის გამყარების ადრეულ ხტადიაზე შეკლებისა და ბზარმედებობის პროცესის შესწავლა. გამოსაკვლევია ის ფაქტორები და დინამიკა, რომელთა გათვალისწინება აუცილებელია ბეტონის სამუშაოთა ტექნიკური პირობების შესაბუმავებლად და შემდგომში პრაქტიკაში დასახურებად, შეკლებისა და ბზარმედებობის პროცესის მინიმუმამდე დასაუკანად პოლოგრაფიული ინტერფერომეტრიის მეთოდის გამოყენებით.

**საკვანძო სიტყვები:** პოლოგრაფია, ინტერფერომეტრია, ბეტონი, ბზარმედებობა, ლაზერი, დეფორმაცია, დიაგნოსტიკა, შეკლება.

### 1. შესაბამისობა

ბოლო წლებში ბევრი რამ გაკეთდა ბეტონისა და რ/ბეტონის თეორიის განვითარებისთვის. ეს განვითარება მიმდინარეობდა როგორც ბეტონისა და რ/ბეტონის კონსტრუქციების ხაზგრძლივ ზემოქმედებაზე გააჩვარიშების საიმედო მეთოდების

შემუშავების, ასევე შესაბამისი ექსპერიმენტული მონაცემების დიდი მოცულობით დაგროვების მიმართულებით. ეს უკანასკნელი საჭიროა როგორც საცნობარო მონაცემების უტყუარობის გასაზრდელად, ასევე ბეტონის შეკლებისა და ბზარმედეგობის მათემატიკური თეორიების შემდგომი განვითარებისათვის, რომლებიც აშკარაა, რომ კიდევ დიდხანს შეინარჩუნებენ ფენომენოლოგიურ ხასიათს.

## 2. პირითაღი ნაწილი

პოლოგრაფია არის ტალღების რეგისტრაციისა და შემდგომ აღდგენის მეთოდი, რომელიც 1948 წ. გამოიგონა ინგლისელმა მეცნიერმა დენის გაბორმა. ტერმინი პოლოგრაფია ეკუთვნის ცნობილ ამერიკელ მეცნიერს ჯორჯ სტროუკს, წარმოდგება ბერძნული სიტყვისგან და ნიშნავს „მთელს“, „სრულს“. პოლოგრაფიის მეშვეობით ხდება ტალღის სრული ინფორმაციის რეგისტრაცია.

პოლოგრამის მისაღებად საჭიროა სინათლის კოპერენტული წყარო. პირველი პოლოგრამის მიღებისას გაბორი იყენებდა ვერცხლისწყლის ნათურას, რომლის კოპერენტულობის ხარისხი მცირეა, ამიტომ პირველი პოლოგრამის ხარისხი დაბალი იყო, ხოლო პოლოგრაფია ითვლებოდა ეგზოტიკურ მეთოდად, რომელიც შორს იყო პრაქტიკული გამოყენებისაგან.

მხოლოდ სამოციანი წლების დასაწყისში, როდესაც გამოიგონეს სინათლის მაღალკოპერენტული წყარო ლაზერი, შესაძლებელი გახდა პოლოგრაფიის პრაქტიკული გამოყენება. ლაზერი (ოპტიკური კვანტური გენერატორი) წარმოადგენს ხელსაწყოს, რომელიც ელექტრომაგნიტური ტალღების გენერაციას ახდენს სინათლის იძულებითი გამოსხივებით ან იძულებითი გაბნევით ოპტიკურ რეზონატორში არსებულ აქტიურ გარემოში. ლაზერის გამოსხივება წარმოადგენს მცირე გაშლის მქნე გარკვეული ტალღის სიგრძის, მაღალკოპერენტული სინათლის სხივს.

აღნიშნული გამოგონებისთვის ცნობილ მეცნიერებს ნ. ბასოვს და ა. პროხოროვს 1962 წელს მიენიჭათ ნობელის პრემია ფიზიკაში. ნობელის პრემია მიენიჭა აგრეთვე პოლოგრაფიის გამოგონებელ დ. გაბორს. 1970 წლიდან დაიწყო ახალი მიმართულების-ოპტიკური პოლოგრაფიის განვითარება მეცნიერების, ტექნიკისა და ეკონომიკის ყველა დარგში.

პოლოგრაფიის განვითარებაში მნიშვნელოვანი წვლილი მიუძღვის მეცნიერ ი. დენის უკს, რომელმაც წარმოადგინა პოლოგრამების ჩაწერის სქემა შემხვედრ სხივებში მსხვილფენვან ემულსიაზე. პოლოგრამების რეგისტრაციის ასეთ სქემას ის უპირატესობა აქვს, რომ გამოსახულების აღდგენა და მისი დაკვირვება ხდება ჩვეულებრივ სინათლის წყაროთი, რაც პოლოგრაფიის მხატვრული გამოყენების საშუალებას იძლევა, ხოლო ამერიკელმა მეცნიერებმა ე. ლეიტმა და ი. უპატნიერესმა გამოიგონეს პოლოგრაფიორების ორსხივიანი სქემა. 1971 წელს ფიზ.-მათ. მეცნიერებათა დოქტორმა, შ. ყაფიჩაშვილმა ექსპერიმენტულად დაადასტურა ელექტრომაგნიტური გამოსხივების პოლარიზაციის რეგისტრაციის შესაძლებლობა, რითაც მან მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა პოლოგრაფიის განვითარებაში. 1997 წელს მის მიერ ჩატარებული კვლევა აღიარებულ იქნა აღმოჩენად ოპტიკის დარგში (პირველი აღმოჩენა საქართველოში). დღეისათვის პოლოგრაფიის გამოყენების სპექტროსკოპიაში პოლოგრაფიის გამოყენებით შეიძლება გაიზომოს დიფუზიურად ამრეკლი მყარი სხეულების გადაადგილებები და დეფორმაციები, გამჭვირვალე ფაზური ობიექტების შესწავლა, თვალით უხილავი დეფექტების, მათ შორის პზარების ჩასახვა და მათი განვითარება რდგვევის პროცესის ჩათვლით უკონტაქტოდ.

პოლოგრაფიის ინტერფერომეტრიის ერთ-ერთი ძირითადი მიმართულებაა ორექსპოზიციანი პოლოგრაფიული ინტერფერომეტრია. არსებობს ასევე პოლოგრაფიული ინტერფერომეტრიის სხვა მიმართულებებიც: ორი ექსპოზიციის მეთოდი, დროში გასაშუალების მეთოდი, სტრობოსკოპიული მეთოდი, აკუსტიკური და პოლარიზაციული პოლოგრაფია. აღნიშნული პროექტის შესრულების დროს გამოყენებული იქნება ორექსპოზიციური პოლოგრაფიული ინტერფერომეტრია.

კლასიკურთან შედარებით პოლოგრაფიული ინტერფერომეტრიის გამოყენების სფერო გაცილებით ფართოა, ის საშუალებას გვაძლევს შევისწავლოთ სამგანზომილებიანი დიფუზიურად ამრეკლი ზედაპირები, ჰიდრო- და აეროდინამიკური პროცესები, ნაკადებში თერმოდინამიკური მოვლენები, სხვადასხვა თერმული პროცესები, აკუსტიკური ტალღების გავრცელება და მრავალი სხვა არასტაციონარული პროცესები, მათ შორის სხვადასხვა კომპოზიტური მასალების ხარისხის კონტროლი და დიაგნოსტიკა. რადგან პოლოგრამის საშუალებით ხდება სინათლის ტაზის რეგისტრაცია, ობიექტის მცირე გადაადგილებაც კი იწვევს ფაზის ცვლილებას და შესაბამისად ეს ცვლილება ფიქსირდება პოლოგრამაზე, აქედან გამომდინარე, პო-

ლოგრაფიული ინტერფერომეტრია საშუალებას იძლევა სხეულის ზედაპირის გადა-  
ადგილების მეშვეობით ვიანგარიშოთ დეფორმაციები, დაძაბულობები და ვიბრა-  
ციები უკონტაქტოდ.

ამ შემთხვევაში პოლოგრაფიული ინტერფერომეტრია გაცილებით უფრო ეფექ-  
ტურია, ვიდრე ისეთი მეთოდები, როგორიცაა მუარის ზოლების, პოლარიზაციულ-  
ოპტიკური მეთოდი და მეთოდები, რომლებიც ეყრდნობიან დეფორმაციებისა და  
გადაადგილების გაზომვას სხვადასხვა ტენზორეზისტორებით.

ორექსპონიციანი პოლოგრაფიული ინტერფეროგრამების მეთოდი უკანასკნელ  
სანს ფართოდ გამოიყენება მყარი სხეულების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომა-  
რეობის შესასწავლად. ამ მეთოდის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ პოლოგრამა  
ფოტოგრაფიულ დამუშავებამდე ორჯერ ექსპონირდება.

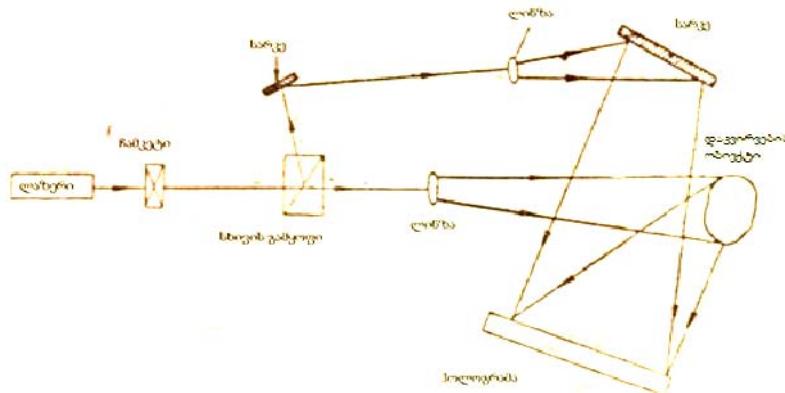
1977 წელს საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის კ. ზავრიევის სახ. სამშე-  
ნებლო მექანიკისა და სეისმომედეგობის ინსტიტუტის „საშენი მასალების ოპტიკუ-  
რი მეთოდების კვლევის ლაბორატორიაში ჩატარდა ერთ-ერთი პირველი ექსპერი-  
მენტი როგორც საქართველოში, ისე უცხოეთში.

პოლოგრაფიული ინტერფერომეტრიის მეთოდით შეიძლება დავაკვირდეთ ერთდ-  
როულად ცემენტის შეკვრის პროცესს და სტრუქტურის ფორმირებას ადრეულ  
სტადიაზე, აგრეთვე ბზარის ჩასახვას, მის განვითარებას და დეფორმაციის ველს  
მისი წვეროს მახლობლად. გაზომვის სიზუსტე ამ მეთოდით ხარისხით მეტია (6328  
ნმ) და გვაძლევს საშუალებას, ვიზუალურად დავაკვირდეთ მიმდინარე პროცესებს.

ტენზომეტრიისგან განსხვავებით იგი არ საჭიროებს გამოსაკვლევი ზედაპირის  
წინასწარ დამუშავებას და მის ფიქსირებას ზედაპირზე, აგრეთვე შესაძლებელია  
შესწავლილ იქნეს ცემენტის ქვისა და ბეტონის შეკვრის პროცესის ტენიანი ზედა-  
პირი უკონტაქტოდ და მოხდეს მთლიანი პროცესის ვიზუალიზაცია, რის საშუა-  
ლებასაც არ იძლევა არც ერთი ზემოთ აღნიშნული მეთოდი.

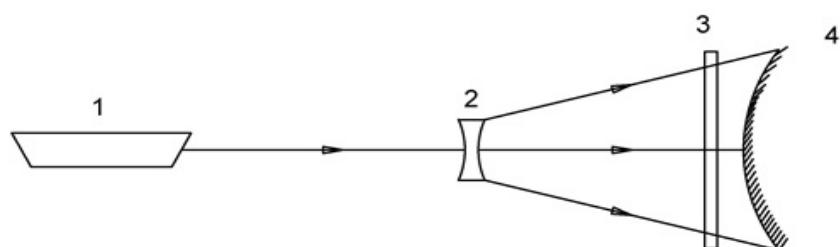
პოლოგრაფიული ინტერფერომეტრიის მეთოდი იმდენად გვაინტერესებს, რამ-  
დენადაც მისი საშუალებით შესაძლებელია ხარისხობრივად და რაოდენობრივად  
შევაფასოთ მყარი სხეულის დეფორმაციული მდგომარეობა და სხვადასხვა შედ-  
გენილობის ბეტონების შეკლების, ბზარწარმოქმნის და მისი განვითარების პროცე-  
სები. ეს მეთოდი მხოლოდ საშუალებაა ან იარაღი სასურველი მიზნების მისაღ-  
წევად. მისი არსია: პოლოგრაფიული ფირფიტა ფოტოგრაფიულ დამუშავებამდე ორ-  
ჯერ ექსპონირდება – პირველად, როცა გამოსაკვლევი ნიმუშის ზედაპირი საწყის

მდგომარეობაშია, მეორედ – როცა იგი დეფორმირებულია ან განიცდის რაიმე სხვა ზემოქმედებას.



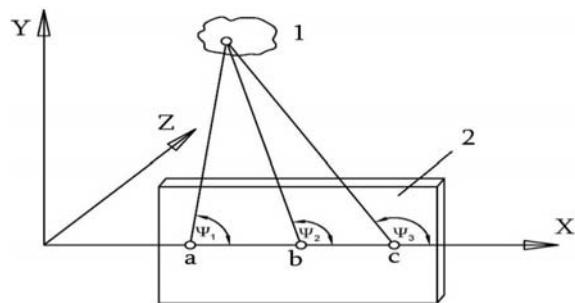
ნახ. 1 – ლეიტის სქემა.  
პოლოგრამის ჩაწერის ორსხივიანი სქემა

პოლოგრაფიული ინტერფერომეტრიის მეთოდი შესაბამისი ტექნოლოგიური მომენტების გათვალისწინებით საშუალებას იძლევა უწყვეტი მოქმედების ლაზერის (ჰელიუმ-ნეონი **ЛГИ-215**, სიმძლავრე – 55 მვტ) ტალღის სიგრძის რიგის (6328 ნმ) სიზუსტით გავზომოთ დეფორმირებული სხეულის გადაადგილების ვექტორის ველი.



ნახ. 2. დენისიუკის სქემა. გამოიყენება სხვადასხვა დანიშნულების ექსპრიმენტებისათვის,  
სამუზეუმო ექსპონატების ჩაწერისა და ვიზუალიზაციისათვის თეთრ შუქზე:  
1 – ლაზერი; 2 – გამშლელი ლინზა; 3 – ფოტოფირი; 4 – ობიექტი

ეს თითქმის უნიკალური საშუალებაა, ერთდროულად დავაკვირდეთ დეფორმირების ერთიან სურათს გამოსაკვლევი ობიექტის მთელ რეგისტრირებულ ზედაპირზე და იმავე დროს, სურვილისამებრ, ნებისმიერ არჩეულ წერტილში გავზომოთ გადაადგილების ვექტორის სამივე კომპონენტი.



ნახ. 3. გადაადგილების გამოსათვლელი გეომეტრიული სქემა:

1 – დაკვირვების ობიექტი; 2 – პოლოგრამა; a, b, c – დაკვირვების პოზიციები,

$\Psi_1, \Psi_2, \Psi_3$  – დაკვირვების კუთხეები

როგორც აღვნიშნეთ, პოლოგრაფიული ინტერფერომეტრის მეთოდით ბეტონის სტრუქტურაში მიმდინარე პროცესების სივრცული აღქმა და კონსტრუქციული ელემენტის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის დინამიკის ფოტოგრაფიული ასახვა საშუალებას იძლევა დავაკვირდეთ ბეტონს მისი სტრუქტურის ფორმირების ადრეულ სტადიაზე, რაზეც არის დამოკიდებული ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების ხანგამძლეობა. კვლევა მიზნად ისახავს, ერთი მხრივ, შემუშავდეს ის ლონისძიებები, რომლებიც გაანეიტრალებს პროცესის განვითარებას; მეორე მხრივ, დააზუსტებს ნაკერ-ნაჭდევის იმ პარამეტრებს, რომლებიც უზრუნველყოფს ორგანიზებულ ბზარწარმოქმნის პროცესს, მისი უარყოფითი შედეგების მინიმუმამდე დაყვანის გათვალისწინებით, რაც უმნიშვნელოვანესი პროცესია, პიდროტექნიკურ და განსაკუთრებით კაშხალმშენებლობაში.

პოლოგრაფიული ინტერფეროგრამის ჩაწერა ხორციელდება შემდეგი მეთოდით: პოლოგრაფიულ ფოტოფირზე პირველი ექსპონირებით ხდება შესასწავლი ობიექტის რეგისტრაცია საწყის მდგომარეობაში, შემდეგ იგივე ფოტოფირზე ის ექსპონირდება მეორედ და ობიექტი განიცდის დეფორმაციას. ამის შემდეგ ექსპონირებული ფოტოფირის სათანადო ფოტოგრაფიული დამუშავებით ვიღებთ ინტერფეროგრამას. ფოტოფირზე პოლოგრაფიული ინტერფეროგრამების მიღება წარმოებს ლეიტისა და დენისიუგის სქემების მიხედვით.

### 3. დასპანა

ყოველივე აღნიშნულიდან გამომდინარე, აუცილებელია ბეტონის დეფორმირებისა და რდვევის პროცესის შემდგომი კომპლექსების შესწავლა მეცნიერებისა და

ტექნიკის უახლესი მიღწევების გამოყენებით, რის შესაძლებლობასაც გვაძლევს პოლოგრაფიული მეთოდები, კერძოდ, პოლოგრაფიული ინტერფერომეტრია. აღნიშნული მეთოდი მომავალში ხელს შეუწყობს ისეთი სამშენებლო მასალის კონსტრუქციების საიმედოობასა და ხანმედეგობას, როგორიცაა ბეტონი და დატკეპნილი ბეტონი, რომლებიც გამოიყენება პიდროტექნიკურ მშენებლობაში, დიდად წაადგება ამ სფეროში მომუშავე ინჟინერ-ტექნიკურ პერსონალს და გაზრდის კონსტრუქციების საიმედოობასა და ხანგამძლეობას.

პოლოგრაფიული ინტერფეროგრამის საშუალებით უკონტაქტოდ შესაძლებელია მივიღოთ როგორც დეფორმაციის ხარისხობრივი სურათი, ასევე სხეულის ნებისმიერ წერტილში გადაადგილების ვექტორის რიცხობრივი. აღნიშნული პროექტი შესრულდება საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის კიბერნეტიკის ინსტიტუტის „ინფორმაციის პოლოგრაფიული ჩაწერისა და დამუშავების ლაბორატორიასთან.“ საგრანტო ნაშრომის კვლევებზე გათვალისწინებულია სამი წელი და დასრულდება 2021 წელს.

## ლიტერატურა

1. Цилосани З.Н. Усадка и ползучесть бетона. Тбилиси: Мецниереба, 1979.
2. В.Рамазандран, Р.Фельман, Дж.Бодуен. Наука о бетоне, Москва: Стройиздат, 1986г.
3. Коллакот. Диагностика повреждений. М.:Мир. 1989.
4. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей. М.:Высшая Школа. 1991.
5. Concrete Shrinkage Deformation Research Holographic Interferometry Method. Dalakishvili G.L., Kakichashvili Sh.d., Tzilosani Z.N., International Conference on Optical Compoting in Research and Development. Visegrad, 4-9 october, 1977.
6. Dalakishvili G. The Effect Of Cement Composition On The Cracking Resistance// Electronic journal EOL, Issue 6, April 2012, <http://www.energyonline.ge>
7. Tsilosani Z.N., Dalakishvili G.L., Kakichashvili Sh. The Effect of Cement Composition on the Cracking Resistance//7<sup>th</sup> International Congression the Chemistry of Cement. Volume III. Paris. 1980.
8. G. Dalakhishvili Energyonline №1(11)2017 Monitoring and Diagnosis of the Process of Shrinkage and Crack Formation in Concrete Dams using a Holographic Interferometry.

# რეზერატივი

შაპ 628.3

წყალსადენების გაანგარიშება ძირითადად თბურ თვისებებზე თბობაცემის საკითხების შესახებ.

**ლ. კლიმიაშვილი, ქ. გორდეზიანი, გ. სოსელია, ა. ბაგრატიონ-დავითაშვილი //**  
**ჰიდროინჟინერია, № 1-2(27-28), 2019, გვ. 6-14.**

**რეზიუმე:** წყლის თბური რესურსები განისაზღვრება მისი ტემპერატურით. მიწისქეშა წყლების წყაროების ტემპერატურა თითქმის ყოველთვის მდგრადია და ცვალებადობა ხორციელდება ზღვრებში 5–10°C. მიწის ზედაპირზე წყალსადენის ტრანსპორტირებისათვის გამოყენებული უნდა იყოს მილი მაქსიმალურად შესაძლო თბოცვლით გარემოს ჰაერის გათვალისწინებით. ქვემოთ მოყვანილი საანგარიშო ფორმულები ითვალისწინებს წყლის ტემპერატურის დადგენას მილდენში მოძრავ ნაკადთან შედარებით, მარტივი პირობების გათვალისწინებას თბური გაანგარიშების ჩატარებისას.

**საკვანძო სიტყვები:** წყლის თბური რესურსები, წყაროების ტემპერატურა, ხახუნი, წყლის ნაკადი, ტემპერატურა, თბოგადაცემა, თერმული წინადობა, ტემპერატურული რყევა მილდენებში.

შაპ 628.4

სანიტარიული დაცვის ზონების ანგარიში.

**ლ. კლიმიაშვილი, ქ. გორდეზიანი, ა. ბაგრატიონ-დავითაშვილი, გ. სოსელია //**  
**ჰიდროინჟინერია, № 1-2(27-28), 2019, გვ. 15-20.**

**რეზიუმე:** განხილულია სანიტარიული დაცვის ზონების ანგარიში საქართველოს პარლამენტის ნორმატიული აქტის თანახმად გარემოს დაცვით სფეროში (თბილისი 2000), „საქართველოს კანონი წყლის შესახებ“ შესაბამისად (კარი II, თავი II, მუხლი 21); მიწისქეშა წყლები ჰიდროგეოლოგიური თავისებურებების მიხედვით, რომელშიც გათვალისწინებული უნდა იყოს საცდელ-ფილტრაციული სამუშაოების შედეგების ანალიზი და ძირითადი ჰიდროგეოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრა. გაანგარიშება წარმოებს ქ. მინკინის, ნ. ლაფშინის და ა. ორადოვსკაიას მეთოდიკით საკვლევი ტერიტორიის სანიტარიულ – ჰიდროგეოლოგიურ პარამეტრებზე დაყრდნობა.

ნობით. ზემოთქმულიდან გამომდინარე, ჩვენ მიზანშეწონილად მიგვაჩნია წარმოდგენილი გაანგარიშების საინჟინრო პრაქტიკაში გამოყენება.

**საკვანძო სიტყვები:** სანიტარიული დაცვის ზონები, საცდელ-ფილტრაციული სამუშაოები, ჰიდროგეოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრა, ჰიდროგეოლოგიური პირობების ტიპიზაცია, მიწისქვეშა წყლების ბუნებრივი ნაკადი, წყალმიმდები.

შაპ 691.175.5/8

539.422.52

კომპოზიციური მასალის ასპექტები.

**ლ. კლიმიაშვილი, დ. გურგენიძე, ა. ჩიქოვანი // ჰიდროინჟინერია, № 1-2(27-28), 2019, გვ. 21-29.**

**რეზიუმე:** სიტყვა კომპოზიტი წარმოდგება ინგლისური composite-საგან. მას აქვს განმარტება. პირველ რიგში ის აღნიშნავს „ნარევს“, მეორეში – „შედგენილს, რთულს“. კომპოზიციური მასალა წარმოადგენს ნარევს, რომელიც შედგება ორი ან მეტი მასალისაგან. „კომპოზიციურ მასალაში“ იგულისხმება არა მარტო მრავალფაზიანი სტრუქტურა, არამედ ასევე კომპონენტების შერწყმის გარკვეული ტექნოლოგია.

**საკვანძო სიტყვები:** კომპოზიტი, მატრიცა, ფაზა, ბოჭკო, პოლიმერი, თერმორეაქტიული, თერმოპლასტი, სტრუქტურა, ანიზოტროპია, პრეპრეგი, აპრეტი.

შაპ 556.537

მოდელირება რობორც ეროზის პლაზის მეთოდი.

**ი. ინაშვილი, ა. ბაგრატიონ-დავითაშვილი, ი. კლიმიაშვილი, ვ. ხორავა // ჰიდროინჟინერია, № 1-2(27-28), 2019, გვ. 30-36.**

**რეზიუმე:** მოდელირება წარმოადგენს ადამიანის სამეცნიერო და პრაქტიკულ საქმიანობაში არსებული რეალობის შესწავლის ერთ-ერთ მთავარ მეთოდს. ეროზის ფიზიკური მოდელირების ტიპებს შორის გამოიყენება ფიზიკურად მსგავსი მოდელები, რომლებიც ეკუთვნის ჰიდრავლიკურ მოდელირებას და რომელთა პრინციპები საქმაოდ კარგად არის განვითარებული. ჰიდრავლიკური მოდელირება უნდა აკმაყოფილებდეს გეომეტრიულ, კინემატიკურ და დინამიკურ მსგავსების პირობებს. ეროზის კვლევებში, ძირითადად, ფუნქციური მათემატიკის მოდელები საერთოა, რომელთა შორის ყველაზე დიდი ჯგუფი ე.წ. გამორეცხვის ან ეროზით გამოწვეული დანაკარგების მოდელებია. ამჟამად მსოფლიოში განვითარებული სხვადასხვა სახის ნიადაგის ეროზით გამოწვეული დანაკარგების მათემატიკური მოდელების რიცხვი აგრძელდება.

რძელებს ზრდას. წყლის ეროვნის, როგორც პროცესის, კვლევებისთვის გეოინფორმაციული ტექნოლოგიები ყველაზე ავაპტური საშუალებაა კვლევისა და შეფასების, პროგნოზირებისა და მენეჯმენტის გადაწყვეტილებების დასაბუთების მიზნით.

**საკვანძო სიტყვები:** ეროვნის მოდელირება; ფიზიკური მოდელირება; ჰიდროგლიკური მოდელირება; მათემატიკის მოდელირება.

### შაპ 628.312.1

ორგანიზაციების მოდელირების მოდელირების მოდელირების სიჩარის კვლება.

**ი. ინაშვილი, ი. დენისოვა // ჰიდროინჟინერია, № 1-2(27-28), 2019, გვ. 37-43.**

**რეზიუმე:** სტატიაში განხილულია ნაკადში შეწონილი ნაწილაკების მოძრაობა ნაკადისგან განსხვავებული სიჩარით. ჩატარებული კვლევის შედეგად, ნიუტონის მეორე კანონზე დაყრდნობით, ნაწილაკისა და სითხის ფიზიკური მახასიათებლების გათვალისწინებით, ლამინარული რეჟიმის პირობებში, მიღებულია მცირე ზომის, სფეროსებრი ნაწილაკის რელაქსაციის სიჩარის, დროზე დამოკიდებულების განტოლება. აგრეთვე გამოთვლილია ნაწილაკის მიერ ნაკადის სიჩარის მიღწევამდე განვლილი მანძილის საანგარიშო განტოლება.

**საკვანძო სიტყვები:** შეწონილი ნაწილაკი; რელაქსაციის სიჩარე; ლამინარული რეჟიმი; ნაკადის სიჩარე.

### შაპ 556.537

წყლისმიერი მროვის პროცესები საქართველოში.

**ა. ბაგრატიონ-დავითაშვილი, ი. ინაშვილი, ი. კლიმიაშვილი, ვ. ხორავა // ჰიდროინჟინერია, № 1-2(27-28), 2019, გვ. 44-50.**

**რეზიუმე:** წყლის ეროვნია არის ერთ-ერთი ძირითადი გარემოსდაცვითი და ეკონომიკური პრობლემა, რომელიც განსაზღვრავს მრავალი ქვეყნის ეროვნულ უსაფრთხოებას. საქართველო ეკუთვნის იმ ქვეყნების რიცხვს, სადაც ეროვნული პროცესები ფართოდ არის გავრცელებული და საშიშ მოვლენას წარმოადგენს. ნიადაგის ეროვნული პროცესების ინტენსივობის მიხედვით საქართველოს ტერიტორია შეიძლება დაიყოს 5 რეგიონად. ეროვნული პროცესების განვითარების თვალსაზრისით, განსაკუთრებით რთული ვითარებაა ზემო იმერეთის, აჭარის, სვანეთისა და საქართველოს

სხვა მაღალმთიან რაიონებში. ეროზია ძირითად ზიანს აყენებს სასოფლო-სამურნეო საქმიანობას. თეორიული და გამოყენებითი თვალსაზრისით ისევე საინტერესოა არსებული კლიმატის ცვლილებებთან დაკავშირებული ეროზიული ფაქტორების ცვლილებები, როგორც ტექნოლოგიური ზემოქმედება გეოსისტემის ეროზიულ კომპონენტებზე. ეროზიის თვალსაზრისით საშიში მიწების გამოყენების ოპტიმიზაციის, კვლევის, მოდელირებისა და ტექნოლოგიების თვისებრივად ახალ შესაძლებლობებს წარმოადგენს თანამედროვე გეოინფორმაციული სისტემები (GIS), რომლებიც გამოიყენება ადამიანის საქმიანობის მრავალ სფეროში, თუმცა ჯერ კიდევ არ არის საკმარისად გამოყენებული ეროზიული პროცესების კვლევაში.

**საკვანძო სიტყვები:** წყლისმიერი ეროზია, ეროზირებული მიწები, ნიადაგის დეგრადაცია, გეო-საინფორმაციო ტექნოლოგიები.

### შაპ 556.537

არაბმული ნიადაგების ბამორეცხვის მოდელირება.

**ა. ბაგრატიონ-დავითაშვილი, ი. ინაშვილი, \*ლ. დზიენისი, ვ. ხორავა // პიდროინ-ჟინერია, № 1-2(27-28), 2019, გვ. 51-56.**

**რეზიუმე:** არხის დეფორმაციის დაწყების პროგნოზირებისათვის უფრო ხშირად გამოიყენება ლაბორატორიული მონაცემები, ძირითადად ბუნებრივი გამოკვლევის ჩატარების სირთულის გამო. გარდა ამისა, საველე კვლევის შედეგები ყოველთვის არ არის საიმედო და სიზუსტის თვალსაზრისით ისინი იშვიათად ემთხვევიან ლაბორატორიული გამოკვლევების შედეგებს, მსგავსების თეორიის საფუძველზე.

ბმული ნიადაგების გამორეცხვის სიჩქარის ლაბორატორიულ და ბუნებრივ პირობებში დაკვირვებების შედეგების შედარება აჩვენებს, რომ ლაბორატორიულ პირობებში ნიმუშების (ფრაგმენტების) გამორეცხვის სიჩქარე მნიშვნელოვნად აღემატება იმავე ნიადაგების გამორეცხვის სიჩქარეს, რომელიც დაფიქსირდა ბუნებრივ პირობებში.

მოდელი, რომელიც აღწერს ურთიერთდამოკიდებულებას ეროზირებულ და ნაკადის დასაშვებ გამოურეცხავ სიჩქარეს შორის, გვიჩვენებს კარგ თანხვედრას ექსპერიმენტულ და საველე დაკვირვებებს შორის.

**საკვანძო სიტყვები:** არაბმული ნიადაგები, მსგავსების თეორია, ნიადაგის ეროზია, ნიადაგის ეროზიის მოდელირება.

**შაპ 627.521.1**

მდ. რიონის წყალგამყოფი ჰიდროკვანძის ქვედა ბიეფის ნბრვვის მიზანით  
და სარჩაბილიფაციო ღონისძიებები.

**შ. გაგოშიძე, ი. ქადარია, ი. სალინაძე, მ. კოდუა, ი. მოსავლიძე // ჰიდროინჟინერია, № 1-2(27-28), 2019, გვ. 57-66.**

**რეზიუმე:** ნაშრომი ეძღვნება ქალაქ ფოთთან, მდინარე რიონზე აგებული წყალგამყოფი ჰიდროკვანძის კაშხლის ქვედა ბიეფის ნგრევის მიზეზების გამოკვლევას. ნაჩვენებია, რომ ეს ნგრევები განაპირობა არა მშენებლობის ხარისხმა, არა მედ ჰიდროკვანძის დაპროექტებისას სხვადასხვა პერიოდში ქვედა ბიეფის რეაბილიტაციის მიზნით გატარებულ ღონისძიებათა ჰიდრავლიკური გაანგარიშებებისას დაშეგბულმა უზუსტობებმა. დაბალზღრუბლიანი კაშხლების ბიეფების შეუღლების ჭავლურ თეორიაზე დაყრდნობით, ნაშრომში შემოთავაზებულია მდ. რიონის წყალგამყოფი კაშხლის დანგრეული ქვედა ბიეფის რეაბილიტაცია-რეკონსტრუქციის გზა, რომელიც კაპიტალურად დაიცავს კაშხლის ქვედა ბიეფს გამორეცხვებისა და ნგრევებისგან.

**საკვანძო სიტყვები:** ქვედა ბიეფი, წყალგამყოფი ჰიდროკვანძი, ტალღა, რეაბილიტაცია.

**შაპ 626.02**

წყალქვეშა დაბეტონება.

**ა. ახვლედიანი, ა. გოგოლაძე, გ. ახვლედიანი, ი. გოგოლაძე // ჰიდროინჟინერია, № 1-2(27-28), 2019, გვ. 67-78.**

**რეზიუმე:** წყალქვეშა დაბეტონება ეწოდება ბეტონის ჩაწყობას წყლის ქვეშ ზღუდარების მოწყობისა და წყალქვეშის გარეშე. წყალქვეშა დაბეტონება ხორციელდება ნაგებობების მშენებლობის, რეკონსტრუქციისა და ნაგებობების რემონტის დროს, კლდოვან გრუნტებში გაჭრილი ჭაბურღლილის გარსის გამაგრებისას, საძირკვლის გასწორებისას, რკინაბეტონის კონსტრუქციების ცარიელი ადგილების შესავსებად და ქვედა ხიმინჯების მოწყობის დროს.

**საკვანძო სიტყვები:** ყალიბი, წყალქვეშა დაბეტონება, ინექციური მეთოდი, ჰიდროგიბრაციული მეთოდი.

### შაპ 628.1

წყლის მიწოდების უზრუნველყოფის სიდიდის შევასებისათვის.

**მ. ნაცვლიშვილი, ნ. ნაცვლიშვილი // პიდროინჟინერია, № 1-2(27-28), 2019,  
გვ. 79-82.**

**რეზიუმე:** განხილულია წყლის მიწოდების შიგა სისტემები, რომლებიც აღჭურვილია მნიშვნელოვნად განსხვავებული პიდრავლიკური მახასიათებლების მქონე წყალდამხარჯი ხელსაწყოებით. ამ სისტემების შეუფერხებელი ფუნქციონირებისათვის საჭიროა ჩატარდეს მტყუნებათა ხანგრძლივობის შეფასება და წყლის მიწოდების უზრუნველყოფის დონის შერჩევა.

**საკვანძო სიტყვები:** წყლის მიწოდების უზრუნველყოფა, წყალდამხარჯი ხელსაწყოები, ხელსაწყოთა ერთეულოვანი ხარჯები, პიდრავლიკური მახასიათებლები, შეუფერხებელი ფუნქციონირება, ერთჯერადი დარღვევები, მნიშვნელოვნობის დონეები, მტყუნებათა ხანგრძლივობა.

### შაპ 628.1

წყალდამხარჯ ხელსაწყოთა ერთეულოვანი ხარჯების შევასება.

**მ. ნაცვლიშვილი, ნ. ნაცვლიშვილი // პიდროინჟინერია, № 1-2(27-28), 2019,  
გვ. 83-86.**

**რეზიუმე:** განხილულია ობიექტების წყალსადენების სისტემები, რომელთა შეუფერხებელი ფუნქციონირებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს წყალსადენის გამანაწილებელი ქსელის უბნებზე დაყენებულ წყალდამხარჯი ხელსაწყოების ერთეულოვანი ხარჯების სიდიდის განსაზღვრის ხერხის შერჩევას.

**საკვანძო სიტყვები:** წყალდამხარჯი ხელსაწყოები, ხელსაწყოთა ერთეულოვანი ხარჯები, პიდრავლიკური მახასიათებლები, შეუფერხებელი ფუნქციონირება, ერთჯერადი მტყუნებები.

### შაპ 627.5

გემვაიდან საზღვაო გარემოს დაბინძურების აღპვეთა.

**ა. საყვარელიძე // პიდროინჟინერია, № 1-2(27-28), 2019, გვ. 87-95.**

**რეზიუმე:** საერთაშორისო კონვენცია გემებიდან საზღვაო გარემოს დაბინძურების შესახებ შეიცავს დონისძიებებს და წესებს, რომლებიც მიმართულია გემებიდან დაბინძურების აღკვეთისა და მინიმიზაციისაკენ.

ნავთობით დაბინძურების აღკვეთის წესები (ძალაში შევიდა 02.10.1983 წ.) მოცავს ექსპლუატაციით გამოწვეული დაბინძურების და შემთხვევით ნავთობის დაღვრით გამოწვეული დაბინძურების აღკვეთის ღონისძიებებს. 1992 წლის შესწორებით აუცილებელი გახდა ნავთობის ტანკერების აღჭურვა ორმაგი კორპუსით. შემუშავდა სპეციალური გრაფიკი ტანკერების აღჭურვის.

მავნე თხევადი ნივთიერებებით დაბინძურების აღკვეთის წესებში (2.10.1983 წ.) დეტალურად არის მოცემული მომშეამავი თხევადი ნივთირებების ჩაყრით ზღვის დაბინძურების საწინააღმდეგო ღონისძიებების კრიტერიუმები. ყველა შემთხვევაში აკრძალულია ნარჩენების ჩაყრა ზღვაში უახლოესი ნაპირიდან 12 მილზე ნაკლებ მანძილზე.

მავნე ნივთიერებებით დაბინძურების შემთხვევაში (რომლებიც გადაქვთ შეფუთული ფორმით) აღმკვეთი ღონისძიებები (ძალაშია 01.07. 1992 წ.) მოიცავს ზოგად მოთხოვნებს შესაფუთი მასალების შესახებ, მარკირებაზე, დოკუმენტაციაზე, განთავსებაზე, რიცხობრივ შეზღუდვებზე, გამორიცხვასა და შეტყობინებაზე.

ჩამდინარე წყლებით დაბინძურების აღმკვეთი წესები (ძალაშია 27.09.2003 წ.) მოიცავს მოთხოვნას ჩამდინარე წყლებით დაბინძურების კონტროლის შესახებ. ჩამდინარე წყლების ჩაღვრა ზღვაში აკრძალულია, გარდა იმ შემთხვევისა, როცა გემზე საექსპლუატაციოდ დამტკიცებულია სადგური ჩამდინარე წყლების გაწმენდისათვის. გემებიდან ნაგვის ჩაყრით გამოწვეული დაბინძურების აღკვეთის წესები (ძალაში შევიდა 31.12. 1988 წ.) ეხება სხვადასხვა სახის ნაგავს. წესებში მითითებულია ნაპირიდან ჩაყრის ადგილის დაშორება და უტილიზაციის ხერხები. ამ წესებში ყველაზე მთვარია სრული აკრძალვა ზღვაში ყველა სახის პლასტმასის ჩაყრაზე.

გემებიდან ჰაერის დაბინძურების აღკვეთის წესები (ძალაშია 19.06. 2005 წ.) აღგენს შეზღუდვებს გოგირდის ოქსიდისა და აზოტის ოქსიდის გამონაბოლქვზე. აკრძალულია ოზონის გამანადგურებელი ნივთირებების გამოყოფა ჰაერში.

2011 წელს წესებს დაემატა თავი, რომელიც აუცილებელს ხდის გემების ენერგოეფექტურობის ასამაღლებლად ტექნიკურ და საექსპლუატაციო ღონისძიებებს გებიდან სასათბურე გაზების გამოყოფაზე.

**საკვანძო სიტყვები:** კონვენცია; აღკვეთის წესები, ნავთობის ტანკერი; მავნე ნივთიერებები, ჩამდინარე წყლები, აკრძალვა, ოზონი, ნივთიერება, ზღვა, გემი.

**შაპ 627.5**

მსოფლიო კორტეგის ბანვითარების ფენდენციები და პერსაექტივები.

**ა. საყვარელიძე // პიდროინუინერია, № 1-2(27-28), 2019, გვ. 96-103.**

**რეზიუმე:** სტატიაში განხილულია საზღვაო პორტების განვითარება რეგიონს-ჰექტივაში და მათი შემდგომი პერსპექტივები. მსოფლიოს 20 უდიდესი პორტის და საკონტეინერო ოპერატორების მუშაობის ანალიზმა (2015 წ.) აჩვენა, რომ მათი მთლიანი ტვირთბრუნვა შედარებით დაბალია მსოფლიო ეკონომიკის და ვაჭრობის ზრდის მაჩვენებელზე. ტვირთბრუნვის შემცირება აღინიშნებოდა მსოფლიოს შვიდ უდიდეს პორტში (6 მათგანი ჩინეთშია განლაგებული) და ექვს საკონტეინერო უდიდეს ტერმინალში (2 ჩინურია). გაეროს პროგნოზით  $2017 \div 2022$  წწ. პერიოდში სატვირთო გადაზიდვების საშუალო წლიური მატება იქნება 3.2%. გადაზიდვების ზრდა მოსალოდნელია ყველა სექტორში, მათ შორის ყველაზე დინამიკური ზრდა იქნება საკონტეინერო (5,0%) და მშრალი ტვირთების (5,6%) გადაზიდვებში.

**საკვანძო სიტყვები:** მსოფლიო ეკონომიკა, მსოფლიო ვაჭრობა, საზღვაო ტრანსპორტი, საზღვაო პორტი, საერთაშორისო საზღვაო გადაზიდვები, პორტის ტვირთბრუნვა.

**შაპ 697.1 (0.753)**

შენობათა უნირბოეფექტური ცხელი წყალმომარაბების სისტემები.

**მ. გრძელიშვილი, ა. კოპალიანი // პიდროინუინერია, № 1-2(27-28), 2019, გვ. 104-111.**

**რეზიუმე:** სტატიაში განხილულია შენობათა ცხელი წყალმომარაბება განახლებადი ენერგიის ბაზაზე. განხილულია წყლის გაცხელება მზის ბატარეებისა და შესაბამისად მოცულობითი აკუმულირებადი ელექტროწყალგამაცხელებლების საშუალებით და ცხელი წყლის თბური ტუმბოებით. შესწავლილია წყლის გაცხელების პირობები სავენტილაციო გამონაბოლქვებიდან თბური ენერგიის უტილიზაციით, დამუშავებულია ბინის ვენტილაციისა და ცხელი წყალმომარაბების ერთიანი სისტემა.

**საკვანძო სიტყვები:** თბური ენერგია, ცხელი წყალი, მზის თბომომარაბება, თბური ტუმბო, ვენტილაცია, ენერგოეფექტურობა, განახლებადი ენერგია, განაწილებული გენერაცია.

შაპ 693.54

გეტონის დეფორმაციის ბამოპლაზა პოლიბრაზიული ინტერვერომეტრის მეთოდი).

გ. დალაქიშვილი, ქ. ხაზალია, ც. გიორგაძე, ო. საჯაია, გ. თურმანიძე // პიდ-როინჯინერია, № 1-2(27-28), 2019, გვ. 112-118.

**რეზიუმე:** თანამედროვე კაშხალმშენებლობაში მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება ბეტონის სამუშაოების ინტენსიურიკაციას, რაც დამატებით მოთხოვნებს უყენებს პროექტანტებს ნაგებობის კონსტრუქციული ელემენტების (სექციები, ბლოკები) პარამეტრების (მოცულობის) გაზრდის თვალსაზრისით, გამსხვილებული ბლოკები ართულებს ბეტონის მასივის თერმორეგულირების პროცესს და ზრდის ტემპერატურული ბზარწარმოქმნის რისკს. ამდენად, მნიშვნელოვანია ბეტონის გამყარების ადრეულ სტადიაზე შეკლებისა და ბზარმედეგობის პროცესის შესწავლა. გამოსაპვლევია ის ფაქტორები და დინამიკა, რომელთა გათვალისწინება აუცილებელია ბეტონის სამუშაოთა ტექნიკური პირობების შესამუშავებლად და შემდგომში პრაქტიკაში დასანერგად, შეკლებისა და ბზარმედეგობის პროცესის მინიმუმამდე დასაფვანად ჰოლოგრაფიული ინტერფერომეტრის მეთოდის გამოყენებით.

**საკვანძო სიტყვები:** ჰოლოგრაფია; ინტერფერომეტრია; ბეტონი; ბზარმედეგობა; ლაზერი; დეფორმაცია; დიაგნოსტიკა; შეკლება.

# SUMMARIES

UDC 628.3

THE CALCULATION OF WATER PIPES IS MAINLY ABOUT THERMAL PROPERTIES AND ISSUES OF HEAT TRANSFER. THE THERMAL RESOURCES OF WATER ARE DETERMINED BY ITS TEMPERATURE.

**L. Klimiashvili, K. Gordeziani, G. Soselia, A. Bagration-Davitashvili** // Hydroengineering, №1-2(27-28), 2019, c. 6-14.

**Summary:** The temperature of ground-water sources is almost always stable and fluctuations in its temperature vary within 5<sup>0</sup>-10<sup>0</sup>C. To the transport of water pipe over the surface of the earth, must be used the pipe, which is capable of maximizing the heat transfer by the environment. The following calculation formulas allow you to determine the temperature of the water in the pipe-line compared to the movement of flows, given the simple conditions during the thermal calculation.

**Key words:** water heat resources; temperature of sources; friction; water flow; temperature; heat transfer; thermal resistance; changeability of temperature in pipes.

UDC 628.4

CALCULATION OF SANITARY PROTECTION ZONES.

**L. Klimiashvili, K. Gordeziani, A. Bagration-Davitashvili, G. Soselia** // Hydroengineering, №1-2(27-28), 2019, c. 15-20.

**Summary:** There is reviewed report on Sanitary Protection Zones is reviewed by the Parliament's normative act in the field of environmental protection (Tbilisi 2000), and according to the Water Law of Georgia (Section II, Chapter II, Article 21). According to hydrogeological features of ground-water, which should be considered during analysis of test-filtration results of the works and defining main hydrogeological parameters. The calculation is carried out by E. Minkin, N. Lapshin and A. Oradanovskaia's methodology, based on the sanitary - hydrogeological parameters. Based on the above-mentioned, we consider it appropriate to use the calculation in engineering practice.

**Key words:** sanitary protection zones, test-filtration works, determination of hydrogeological parameters, type of hydrogeological conditions, natural flow of underground waters, water intake.

UDC 691.175.5/.8

539.422.52

ASPECTS OF COMPOSITE MATERIAL.

**L. Klimiashvili, D. Gurgenidze, A. Chikovani** // Hydroengineering, №1-2(27-28), 2019, c. 21-29.

**Summary:** The word composition is derived from English composite, it has the explanation. First of all it marks the "mixture" and "compilation" in the other. Composite material is a mixture consisting of two or more materials. "Composite material" means not only a multi-phase structure, but also a technology of merging the components.

**Key words:** composite; matrix; phase; fiber; polymer; thermoreactive; thermoplastic; structure; anisotropy; preprague; aprt.

UDC 556.537

MODELING AS A METHOD FOR STUDYING EROSION.

**I. Inashvili, A. Bagration-Davitashvili, I. Klimiashvili, V. Khorava** // Hydroengineering, №1-2(27-28), 2019, c. 30-36.

**Summary:** Modeling is one of the main methods of studying the surroundings reality and a tool in scientific and practical human activities. Among the types of physical modeling in erosion, modeling using physically similar models belonging to the category of hydraulic modeling, the principles of which are quite well developed has become widespread. In hydraulic modeling must satisfy the conditions of geometric, kinematic and dynamic similarity. In erosion studies, predominantly functional Math models are common, among which the largest groups are so-called washout models, or erosion losses. Currently, the number of mathematical models of soil erosion losses of various types developed in the world are measured in many dozens and continue to increase. For erosion studies water erosion, as a process, geoinformation technologies are the most effective tools for research and evaluation, forecast and justification of management decisions.

**Key words:** modeling of erosion; physical modeling; hydraulic modeling; Math modeling.

UDC 628.312.1

## STUDY OF THE RELAXATION VELOCITY OF SUSPENDED PARTICLES IN LIQUID FLOW.

**I. Inashvili, I. Denisova** // Hydroengineering, №1-2(27-28), 2019, c. 37-43.

**Summary:** The article deals the motion of particles in liquid flow with the velocity different from the flow velocity. As a result of the study, based on Newton's second law and taking into account the physical characteristics of particles and liquids under laminar conditions, an equation of dependence of the particle relaxation velocity on time have been determined. Also, equation for calculating the distance passed by the particle to achieve the flow velocity have been obtained.

**Key words:** suspended particles; relaxation velocity; laminar flow; flow velocity.

UDC 556.537

## WATER EROSION PROCESSES IN GEORGIA.

**A. Bagration-Davitashvili, I. Inashvili, I. Klimiashvili, V. Khorava** // Hydroengineering, №1-2(27-28), 2019, c. 44-50.

**Summary:** Georgia belongs to the countries, where the erosive processes are widespread and dangerous. According to the intensity of soil-erosive processes, the territory of Georgia can be divided into the 5 districts. In terms of the development of erosive processes, the situation is especially difficult in Upper Imereti, Adjara, Svaneti and other highlands of Georgia. On eroded lands the main damage to soil erosion brings agriculture. From the theoretical and applied points of view there are very interesting the changes in erosion factors associated with existing climate changes, as well as with technogenic impacts on components of the erosion geosystem. Qualitatively new opportunities in research, modeling and technologies to optimize the use of erosion dangerous lands are opened by modern geo-information systems (GIS) used in many spheres of human activity, but are not yet sufficiently used in erosion research.

**Key words:** water erosion; eroded lands; soil degradation; geo-information technologies.

UDC 556.537

## MODELING OF WASHING-OUT OF NON-CONVERSE SOILS.

**A. Bagration-Davitashvili, I. Inashvili, \*L. Dzienis, V. Khorava** // Hydroengineering, №1-2(27-28), 2019, c. 51-56.

**Summary:** Laboratory data are more often used to predict the onset of channel deformation, mainly due to the difficulty of performing full-scale studies. In addition, the results of field studies

are not always reliable and in terms of accuracy they are not so rarely inferior to laboratory ones based on the theory of similarity.

Comparison of observational speeds for cohesive soils in full-scale and laboratory conditions shows, that the scouring speeds established by the erosion of samples (fragments) of undisturbed addition under laboratory conditions are significantly higher, than those for the same soils recorded in nature.

The Model, that describes relationship between eroding and non-blurring permissible flow rates show good convergence between experimental and of field observations.

**Key words:** non-converse soils; theory of similarity; soil erosion; modeling of soil erosion.

UDC 627.521.1

CAUSES OF DESTRUCTION OF THE DOWNSTREM POOL OF THE RIONI WATER DIVIDING DAM AND THE WAYS OF ITS REHABILITATION.

**Sh. Gagoshidze, I. Kadaria, I. Saghinadze, M. Kodua, I. Mosavlidze** // Hydroengineering, №1-2(27-28), 2019, c. 57-66.

**Summary:** There is investigated the causes of the destruction and erosion of the downstream pool of the water dividing dam erected on the Rioni river near the sea city of Poti in 1959. It is shown, that the destruction was caused not by the quality of construction, but by the errors in hydraulic calculations during the design and implementation of rehabilitation measures. On the basis of the theory of jets and conjugation of pools, the construction of capital rehabilitation of the downstream wall is proposed.

**Key words:** downstream, water-dividing dam, wave, rehabilitation.

UDC 626.02

UNDERWATER CONCRETING.

**A. Akhvlediani, A. Gogoladze, G. Akhvlediani, I. Gogoladze** // Hydroengineering, №1-2(27-28), 2019, c. 67-78.

**Summary:** Underwater concreting is the laying of concrete under water without assembling jumpers and performing of drainage works. Underwater concreting is used in construction, reconstruction and repair of structures, fixing of shells in wells drilled in rocky soils, leveling bases, filling hollow reinforced concrete structures and at the assembling of low piles.

**Key words:** form of work, underwater concreting, injection method, hydro-vibration method

UDC 628.1

ASSESSMENT OF THE SIZE OF WATER-SUPPLY PROVISION.

**M. Natsvlishvili, A. Natsvlishvili** // Hydroengineering, №1-2(27-28), 2019, c. 79-82.

**Summary:** The systems of spraying water were reviewed, which are equipped with water devices, that significantly have different hydraulic characteristic. For uninterrupted functioning of these systems, it is necessary to be assessed the evaluation of failure duration and the selection of water-spraying level.

**Key words:** water supply; water-folding device; unitary flow rate of equipment; hydraulic characteristics; uninterrupted functionality; single disorders; significant levels; duration of failure.

UDC 628.1

ASSESSMENT OF UNILATERAL FLOW RATE OF WATER UTILITY EQUIPMENT.

**M. Natsvlishvili, N. Natsvlishvili** // Hydroengineering, №1-2(27-28), 2019, c. 83-86.

**Summary:** There are considered the objects of water pipe-line systems for the uninterrupted functioning, which is important to select the method of determining the amount of unilateral expenditures of the water surplus equipment installed on the water-supply distribution networks.

**key words:** water-folding devices; unitary flow rate of equipment; hydraulic characteristics; uninterrupted function; single Failures

UDC 627.5

PREVENTION OF POLLUTION OF THE MARINE ENVIRONMENT BY SHIPS.

**A. Sakvarelidze** // Hydroengineering, №1-2(27-28), 2019, c. 87-95.

**Summary:** The International Convention covering prevention of pollution of the marine environment by ships from operational, or accidental causes.

Regulations for the prevention of pollution by oil (entered into force 02/10/ 1983) covers prevention of pollution by oil from operational measures, as well as from accidental discharges; the 1992 amendments to Annex I made it mandatory for new oil tankers to have double hulls.

Regulations for the control of pollution by Noxious Liquid Substances in bulk (entered into force 02/10/ 1983) details the discharge criteria and measures for the control of pollution by noxious liquid substances carried in bulk.

In any case no discharge of residues containing noxious substances is permitted within 12 miles of the nearest land.

Prevention of pollution by harmful substances carried by sea in packaged form (entered into

force 01/07/ 1992) contains general requirements for the issuing of detailed standards on packing, marking, labeling, documentation, stowage, quantity limitation, exception and notification.

Prevention of pollution by sewage from ships (entered into force 27/09/ 2003) contains requirements to control pollution into the sea which is prohibited, except when the ship is in operation.

Prevention of pollution by garbage from ships (entered into force 31/12/ 1988) deals with different types of garbage and the manner, in which they may be disposed of the most important feature of the is the complete ban imposed on the disposal into the sea of all forms of plastics.

Provention of air pollution from ship (entered into force 19/05/ 2005) sets limits on sulphur oxide and nitrogen oxide emissions from ship exhausts and prohibits deliberate emissions of ozone depleting substances.

The chapter adopted in 2011 covers mandatory technical and operational energy efficiency measures aimed at reducing greenhouse gas emissions from ships.

**Key words:** prevention of air pollution; oil tankers; noxious liquid substances; carried in bulk; pollution by sewage; ship; sea; ozone depleting substances.

UDC 627.5

## TRENDS AND PERSPECTIVES FOR THE DEVELOPMENT OF PORTS.

**A. Sakvarelidze //** Hydroengineering, №1-2(27-28), 2019, c. 96-103.

**Summary:** There is discussed the development of ports in retrospect and their future prospects. Analysis of activities of the twenty largest ports of the world and container operators in 2015 showed, that the rate of their overall and container turnover are below the rate of the world economy and trade growth. Reduction in turnover is noted in the seven largest ports of the world (six of which are in China) and six container terminals (two of them are China). The Forecast UNCTAD allows to build a positive forecast regarding the pace of development of the port industry of the world.

According to UNCTAD forecast average global growth (2017÷2022) years) rate of ports turnover 3.2% per year, including containers – 5.0%, and dry cargo – 5.6%.

**Key words:** world economy, international trade, maritime transport, seaport, international maritime transportation, port cargo turnover.

UDC 697.1 (0.753)

SYSTEM FOR EFFECTIVE ENERGY TRANSFER WHILE SUPPLYING BUILDING WITH HOT WATER.

**M. Grdzelishvili, A. Kopaliani** // Hydroengineering, №1-2(27-28), 2019, c. 104-111.

**Summary:** There are reviewed methods and description of supplying a building with hot water using renewable energy. Also, how to prepare hot water with solar batteries, accumulative heaters and fuel pumps.

The conditions for heating water from ventilation exhausts have been studied. The unified ventilation system of the apartment and hot water supply has been processed through the utilization of thermal energy

**Key words:** heat energy; hot water; solar thermal power; heat pump; ventilation; energy efficiency; renewable energy; distributed generator.

UDC 693.54

THE STUDY OF CONCRETE DEFORMATION BY HOLOGRAPHIC INTERFEROMETRY.

**G. Dalakhishvili, K. Khazalia, Ts. Giorgadze, O. Sadjaia, G. Turmanidze** // Hydroengineering, №1-2(27-28), 2019, c. 112-118.

**Summary:** There are reviewed experimental researches in hydroelectric construction, specifically such a long processes, which are shrinkage and cracking. Research was conducted by indestructible method using holographic interferometer. This method allows opportunity to manufacture monitoring and diagnostics in concrete dams. There is given the overview of relevant literature and experimental data.

**Key words:** holography; interferometry; crack resistance; laser; deformation; diagnostics; shrinkage.

# РЕФЕРАТЫ

УДК 628.3

РАСЧЕТ ВОДОПРОВОДНЫХ ТРУБ В ОСНОВНОМ О ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВАХ И ВОПРОСАХ ТЕПЛООТДАЧИ ТЕПЛОВЫЕ РЕСУРСЫ ВОДЫ ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ ЕЕ ТЕМПЕРАТУРОЙ.

**Климиашвили Л.Д., Гордезиани К.Г., Соселиа Г.А., Багратион-Давиташвили А.Н.**  
// Гидроинженерия, №1-2(27-28), 2019, с. 6-14.

**Резюме:** Температура источников подземных вод почти всегда устойчива, и колебания ее температуры изменяются в пределах 5-10°C. Для транспортировки водопроводной трубы по поверхности земли труба должна использоваться, насколько это возможно, с учетом теплосмены атмосферы воздуха. Приведенные ниже расчетные формулы позволяют определить температуру воды в трубопроводе по сравнению с движением потоков, учитывая простые условия при проведении теплового расчета.

**Ключевые слова:** водно-тепловые ресурсы; поток воды; температура источников; трение; термическое сопротивление; температура; теплопередача.

УДК 628.4

ОТЧЕТ О САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫХ ЗОНАХ.

**Климиашвили Л.Д., Гордезиани К.Г., Багратион-Давиташвили А.Н., Соселиа Г.А.**  
// Гидроинженерия, №1-2(27-28), 2019, с. 15-20.

**Резюме:** Рассмотрен отчет о санитарно -защитных зонах в соответствии с нормативным актом Парламента Грузии в области охраны окружающей среды (Тбилиси, 2000 г.), «Закон Грузии о воде» (Раздел II, Глава II, Статья 21). На основании гидрогеологических особенностей подземных вод, с учетом анализа результатов опытно-фильтрационных работ и определения основных гидрогеологических параметров. Расчет сделан по методике Э. Минкина, Н. Лапшина и А. Орадовской на основании санитарно-гидрогеологических параметров области исследования. Исходя из вышеизложенного, считаем целесообразным использовать представленный расчет в инженерной практике.

**Ключевые слова:** санитарно-защитные зоны, опытно-фильтрационные работы, определение гидрогеологических параметров, типология гидрогеологических условий, естественный сток подземных вод, водоприемник.

УДК 691.175.5/.8

539.422.52

АСПЕКТЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.

**Климиашвили Л.Д., Гургенидзе Д.Г., Чиковани А.Б.** // Гидроинженерия, №1-2(27-28), 2019, с. 21-29.

**Резюме:** Слово «композит» происходит от английского слова composite, которое имеет два перевода. Во-первых, оно означает «смесь», а во-вторых, «составной, сложный». Композиционные материалы представляют собой смесь, состоящую из двух или более материалов. Эти материалы могут представлять собой керамику, полимер или металл. Понятие «композиционный материал» подразумевает не только многофазную структуру, но и определенную технологию смешения компонентов.

**Ключевые слова:** анионотроп; априт; волокно; композит; матрица; полимер; препарат; структуры; терморот; теплопластик; фаза.

УДК 556.537

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ЭРОЗИИ.

**Инашвили И.Д., Багратион-Давиташвили А.Н., Климиашвили И.Л., Хорава В.Д.** // Гидроинженерия, №1-2(27-28), 2019, с. 30-36.

**Резюме:** Моделирование является одним из основных методов изучения окружающей действительности и инструментом научной и практической деятельности человека. Среди типов физического моделирования эрозии моделирование с использованием физически сходных моделей, относящихся к категории гидравлического моделирования, принципы которого достаточно хорошо развиты, получили широкое распространение. В гидравлическом моделировании должны выполняться условия геометрического, кинематического и динамического сходства. В настоящее время число разработанных в мире математических моделей потерь, вызванных эрозией почв различного типа, измеряется многими десятками и продолжает расти. Для исследований водной эрозии как процесса, геоинформационные технологии

являются наиболее эффективным инструментом для исследования и оценки, прогнозирования и обоснования управленческих решений.

**Ключевые слова:** гидравлическое моделирование; математическое моделирование; моделирование эрозии; физическое моделирование.

УДК 628.312.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ РЕЛАКСАЦИИ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ В ПОТОКЕ ЖИДКОСТИ.

**Инашвили И.Д., Денисова И.А.** // Гидроинженерия, №1-2(27-28), 2019, с. 37-43.

**Резюме:** В статье описывается движение частиц в потоке жидкости со скоростью, отличающейся от скорости потока. В результате проведенного исследования, основываясь на втором законе Ньютона и учитывая физические характеристики частиц и жидкости в условиях ламинарного режима, было получено уравнение зависимости скорости релаксации частиц от времени. Также получено уравнение для расчета пути, пройденного частицей до достижения скорости потока.

**Ключевые слова:** взвешенные частицы; ламинарный режим; скорость релаксации; скорость потока.

УДК 556.537

## ПРОЦЕССЫ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ В ГРУЗИИ.

**Багратион-Давиташвили А.Н., Инашвили И.Д., Климиашвили И.Л., Хорава В.Д.** // Гидроинженерия, №1-2(27-28), 2019, с. 44-50.

**Резюме:** Водная эрозия является одной из основных экологических и экономических проблем, которые определяют национальную безопасность многих стран. Грузия относится к странам, где эрозионные процессы широко распространены и опасны. По интенсивности почвенно-эрэзионных процессов территорию Грузии можно разделить на 5 районов. С точки зрения развития эрозионных процессов ситуация особенно сложна в Верхней Имеретии, Аджарии, Сванетии и других высокогорных районах Грузии. На эродированных землях основной ущерб эрозии почвы наносит сельское хозяйство. С теоретической и прикладной точек зрения очень интересны изменения факторов эрозии, связанные с существующими изменениями климата, а также с техногенным воздействием на компоненты эрозионной геосистемы. Качественно новые возможности в исследованиях, моделировании и технологиях оптимизации использования опасных для эрозии земель открываются современными

геоинформационными системами (ГИС), используемыми во многих сферах человеческой деятельности, но еще недостаточно используются в исследованиях эрозии.

**Ключевые слова:** водная эрозия; геоинформационные технологии; деградация почв; эродированные земли.

УДК 556.537

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗМЫВА НЕСВЯЗНЫХ ГРУНТОВ.

**Багратион-Давиташвили А.Н., Инашвили И.Д., Дзиенис \*Л., Хорава В.Д.** // Гидроинженерия, №1-2(27-28), 2019, с. 51-56.

**Резюме:** Для прогноза начала деформации русел чаще используют лабораторные данные, в основном из-за трудности выполнения натурных исследований. Кроме того, результаты натурных исследований не всегда надежны, а по точности не так редко уступают лабораторным, проведенным на основе теории подобия.

Сопоставление данных наблюдений размывающих скоростей для связных грунтов в натурных и лабораторных условиях показывает, что размывающие скорости, установленные размывом образцов (фрагментов) ненарушенного сложения, в лабораторных условиях существенно превосходят размывающие для этих же грунтов, зафиксированные в условиях натуры.

Модель, которая описывает взаимосвязь между эродирующими и неразмытыми допустимыми скоростями потока, показывает хорошую сходимость между экспериментальными и полевыми наблюдениями.

**Ключевые слова:** моделирование эрозии почвы; несвязанные почвы; теория подобия; эрозия почвы.

УДК 627.521.1

#### ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ НИЖНЕГО БЬЕФА ПЛОТИНЫ РИОНСКОГО ВОДОДЕЛИТЕЛЬНОГО ГИДРОУЗЛА И ПУТИ ЕГО РЕАБИЛИТАЦИИ.

**Гагошидзе Ш.Н., Кадария Ю.Р., Сагинадзе И.С., Кодуа М.А., Мосавлидзе И.Г.** // Гидроинженерия, №1-2(27-28), 2019, с. 57-66.

**Резюме:** В работе исследуются причины разрушения и размыва нижнего бьефа водоразделительной плотины, построенной на реке Риони около морского города Поти в 1959 году. Показано, что эти разрушения были вызваны не качеством строительства, а ошибками, допущенными в гидравлических расчетах при проектировании и реализации реабилитацион-

ных мероприятий. На основе теории струй и сопряжения бьефов предлагается конструкция капитальной реабилитации нижнего бьефа этого сооружения.

**Ключевые слова:** водораздельный гидроузел; волна; нижний бьеф; реабилитация.

УДК 626.02

ПОДВОДНОЕ БЕТОНИРОВАНИЕ.

**Ахвlediani А.В., Гоголадзе А.Ш., Ахвlediani Г.А., Гоголадзе И.А.** // Гидроинженерия, №1-2(27-28), 2019, с. 67-78.

**Резюме:** В работе представлены современные методы подводного бетонирования в процессе гидроинженерного строительства. Представлены схемы подводного бетонирования; бетонирование способом вертикально перемещающейся трубы восходящим раствором, укладка бетонной смеси кюбелями; втрамбовывание бетонной смеси, укладка бетона в мешках, инъекционные и гидровибрационные методы.

В работе также рассматривается, каким требованиям должна удовлетворять бетонная смесь для подводного бетонирования и какова при этом последовательность выполнения работ.

**Ключевые слова:** гидровибрационный метод; инъекционный метод; опалубка; подводное бетонирование.

УДК 628.1

К ОЦЕНКЕ ВЕЛИЧИНЫ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОДАЧИ ВОДЫ.

**Нацвлишвили М.Н., Нацвлишвили Н.В.** // Гидроинженерия, №1-2(27-28), 2019, с. 79-82.

**Резюме:** Рассмотрены внутренние системы подачи воды, оборудованные приборами разбора воды значительно различающимися гидравлическими характеристиками. Для бесперебойного функционирования этих систем необходимо произвести оценку длительности отказов и выбор уровня обеспеченности подачи воды.

**Ключевые слова:** бесперебойное функционирование; гидравлические характеристики; единичные расходы приборов; обеспеченность подачи воды; одноразовые отказы; продолжительность отказов; приборы разбора воды; уровни значимости.

УДК 628.1

ОЦЕНКА ЕДИНИЧНЫХ РАСХОДОВ ВОДОРАЗБОРНЫХ ПРИБОРОВ.

**Нацвлишвили М.А., Нацвлишвили А.А.** // Гидроинженерия, №1-2(27-28), 2019, с. 83-86.

**Резюме:** Рассмотрены системы водопроводов объектов для бесперебойного функционирования которых имеет большое значение выбор способа определения величин единичных расходов водоразборных приборов, установленных на участках распределительных сетей водопроводов.

**Ключевые слова:** бесперебойное функционирование; гидравлические характеристики; единичные расходы приборов; одноразовые отказы; приборы разбора воды.

УДК 627.5

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ С СУДОВ.

**Сакварелидзе А.В.** // Гидроинженерия, №1-2(27-28), 2019, с. 87-95.

**Резюме:** Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов включает правила, направленные на предотвращение и минимизацию загрязнения с судов как случайного загрязнения, так и загрязнения от обычных операций.

Правила предотвращения загрязнения нефтью (вступило в силу 02.10.1983г.) охватывает предотвращение загрязнения нефтью от эксплуатационных мер, а также от случайных сбросов. Поправки 1992 г. сделали обязательными, чтобы новые нефтяные танкеры имели двойные корпуса и ввести график постоянного ввода в эксплуатацию.

Правила контроля за загрязнениями вредными жидкими веществами (вступили в силу 02.10.1983г.) детализируют критерий сброса и меры по контролю загрязнениями ядовитыми веществами, перевозимыми навалом.

В любом случае не допускается сброс остатков, содержащих вредные вещества в 12 милях от ближайшей земли.

Правила предотвращения загрязнения вредными веществами морем в упакованной форме (вступили в силу 01.07.1991г.) содержат общие требования к выпуску подобных стандартов на упаковку, маркировку, документацию, размещение, количественные ограничения, исключения и уведомления (правила вступили в силу 27.09.2003г.), содержат требования по контролю загрязнения моря сточными водами. Сброс сточных вод в море запрещён, за исключением случаев, когда на судне эксплуатируется утверждённая станция очистки сточных вод.

Правила предотвращения загрязнения мусором с судов (вступили в силу 31.12.1988г.) имеют дело с различным видом мусора и указывают расстояние от земли и способ, которым они могут быть утилизированы. Наиболее важной особенностью является полный запрет на сброс в море всех видов пластмасс.

Правила предотвращения загрязнения воздуха с судов (вступили в силу 16.06.2005г.) устанавливают ограничения на выбросы оксида серы и оксида азота от выхлопных газов и запрещают преднамеренные выбросы озоноразрушающих веществ.

Глава, принятая в 2011 году, охватывает обязательные технические и эксплуатационные меры по повышению энергоэффективности, направленные на сокращение выбросов парниковых газов с судов.

**Ключевые слова:** вредные вещества; загрязнение нефтью; море; озоноразрушающие вещества; полный запрет; правила предотвращения; сточные воды; судно; танкеры.

УДК 627.5

ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОРТОВ МИРА.

**Сакварелидзе А.В.** // Гидроинженерия, №1-2(27-28), 2019, с. 96-103.

**Резюме:** В статье изучено развитие морских портов в ретроспективе и их дальнейшие перспективы. Анализ деятельности 20 крупнейших портов мира и контейнерных операторов в 2015 г. показал: темпы общего грузооборота и контейнерооборота ниже темпов роста мировой экономики и торговли. Сокращение грузооборота отмечается в семи крупнейших портах мира (шесть из них расположены в Китае) и шести контейнерных терминалах (два из них китайские).

Прогноз ИНСТАД позволяет строить положительный прогноз в отношении темпов развития портовой отрасли мира.

По прогнозу ИНСТАД среднемировые темпы роста грузооборота портов в 2017÷2022г.г. будут 3,2% в году. Рост перевозок ожидается во всех секторах, в том числе: рост контейнерных перевозок 5,0%, а сухих массовых грузов - 5,6%.

**Ключевые слова:** грузооборот порта; международные морские перевозки; мировая экономика; мировая торговля; морской порт; морской транспорт.

УДК 697.1 (0.753)

СИСТЕМЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ.

**Грдзелишвили М.В, Копалиани А.Дж.** // Гидроинженерия, №1-2(27-28), 2019, с. 104-111.

**Резюме:** В статье рассматривается горячее водоснабжение зданий на базе возобновляемой энергии. Рассмотрено приготовление горячей воды солнечными батареями и соответственно объемно-аккумулирующими водонагревателями и тепловыми насосами. Изучены условия нагрева воды с утилизацией тепла вентиляционных выхлопов, разработана единая система вентиляции и горячего водоснабжения.

**Ключевые слова:** вентиляция; возобновляемая энергия; горячая вода; распределенная генерация; солнечная тепловая энергия; тепловая энергия; тепловой насос; энергоэффективность.

УДК693.54

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ БЕТОНА МЕТОДОМ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ.

**Далакишвили Г.Л, Хазалия К.Р, Гиоргадзе І.В., Саджаиа О.С., Турманидзе Г.З.** // Гидроинженерия, №1-2(27-28), 2019, с. 112-118.

**Резюме:** Возвведение бетонных плотин – наиболее дорогостоящие и трудоемкие процессы в гидротехническом строительстве. Рассмотрена возможность мониторинга и диагностики в бетонных плотинах при изучении усадки и трещинообразования бетона методом голограммической интерферометрии. Дан обзор соответствующей литературы и приведены экспериментальные данные.

**Ключевые слова:** голография; деформация; диагностика; интерферометрия; лазер; трещиностойкость; усадка.

რედაქტორები: ნ. ქაფიანიძე, დ. ქურიძე, მ. პრეობრაჟენსკაია  
კომპიუტერული უზრუნველყოფა ე. ქარჩავასი

გადაეცა წარმოებას 15.10.2018 სელმოწერილია დასაბეჭდად 23.12.2018  
ქაღალდის ზომა 60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 9.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77

