

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

თამარ ყირიმლიშვილი-დავითაშვილი

ექსტრემალური ჰიდროდინამიკური პროცესების

ზემოქმედება გარემოზე ჰიდროკვანძის რაიონში

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორ ეფერატი

თბილისი

2011 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

სამშენებლო ფაკულტეტის

ჰიდროინჟინერიის დეპარტამენტის

ჰიდრავლიკის და საინჟინრო ჰიდროეკოლოგიის მიმართულება

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ტმდ., სრ. პროფ. თ. გველესიანი

რეცენზენტები ტმდ., სრული პროფესორი შ გაგოშიძე

ტმდ., სრული პროფესორი გ.ხელიძე

დაცვა შედგება 2011 წლის "- - - - -" - - - - - საათზე საქართველოს
ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს
სხდომაზე, კორპუსი I , აუდიტორია - - - - -
მისამართი : თბილისი 0175, კოსტავას - - - - -

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება ტექნიკური უნივერსიტეტის ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა – უნივერსიტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს სწავლული მდივანი, ტმდ., სრ. პროფ. მ. კუბლაშვილი

ნაშრომის საერთო დახასიათება

პრობლემის აქტუალობა. ჰიდროენერგეტიკისა და სოფლის მეურნეობის განვითარების ამოცანების წარმატებით გადაწყვეტის ერთ-ერთ აუცილებელ და ქმედით საშუალებას სხვადასხვა დანიშნულების ჰიდროკვანძები წარმოადგენენ მათი საიმედო ფუნქციონირების პირობებში. საქართველოში, რომელიც მთა-გორიანი რელიეფით ხასიათდება, ეს ჰიდროკვანძები, განლაგებულია უმეტესწილად, მთის ან მთისწინა რაიონებში, რომლებიც ხშირად, რთული გეოლოგიური პირობებით განირჩევიან, რაც გამოიხატება კერძოდ, ინტენსიური მეწყერული პროცესებით მთის ფერდობებზე.

ამასთან დაკავშირებით, სამელიორაციო ჰიდროკვანძების დაგეგმარებისა და ექსპლუატაციის დროს, მათი საიმედო ფუნქციონირებისა და მიმდებარე რაიონის ეკოლოგიური უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მიზნით, აუცილებელია, გათვალისწინებული იყოს აღნიშნული პირობებისათვის დამახასიათებელი სპეციფიკური ფაქტორების ზემოქმედება.

ერთ-ერთ ასეთ მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს ჰიდროკვანძის წყალსაცავის სანაპირო ფერდობიდან ამა თუ იმ მიზეზით, მეწყერის წყალში ჩამონგრევის შედეგად წყლის ზედაპირზე აღმრული ინტენსიური ტალღური პროცესი. საკმარისად მაღალი ტალღების გენერაციის შემთხვევაში, შეიძლება მოხდეს მათი გადადინება კაშხალზე, რაც თავის მხრივ, გამოიწვევს კაშხლის ნაწილობრივ ან მთლიან წარეცხვას (თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ საირიგაციო დანიშნულების ჰიდროკვანძების კაშხლები, როგორც წესი აიგება ადგილობრივი მასალისაგან, რომელიც ინტენსიური წარეცხვის თვისებით ხასიათდება). ამ დროს ქვედა ბიეფში გავრცელების შედეგად აღნიშნული ტალღები შენობა-ნაგებობების, საირიგაციო და სატრანსპორტო სისტემებისა და სხვ. დანგრევის მიზეზი ხდება, ზოგჯერ კი, განაპირობებენ ადამიანთა მსხვერპლს (ამის მაგალითებია, იტალიაში ვაიონტის წყალსაცავში, 1963 წ. და ნორვეგიაში ლიონის ტბაში, 1936 წ. მეწყერით წარმოქმნილი ტალღების კატასტროფული შედეგები) და სხვ.

ამჟამად, მთის რეგიონებში განლაგებული დიდი ჰიდროენერგეტიკული დანიშნულების ჰიდროკვანძების პირობებისათვის, მეწყერით გენერირებული ტალღების პროგნოზირების საკითხები საკმაოდ კარგად არის დამუშავებული, მთელი რიგი თეორიული, აგრეთვე ექსპერიმენტალური კვლევების შედეგად. ამის მიუხედავად, შედარებით მცირე ზომის წყალსაცავების შემთხვევაში, რაც დამახასიათებელია

საირიგაციო დანიშნულების წყალსაცავებისათვის, ზოგიერთი აქტუალური საკითხი არასაკმარისად არის შესწავლილი.

კერძოდ, საირიგაციო დანიშნულების წყალსაცავებში სანაპირო ფერდობზე წარმოქმნილი მეწყერული კერები ჩვეულებრივ, უფრო ახლოს არიან (აბსოლუტურ მასშტაბში) განლაგებული კაშხლიდან, ვიდრე დიდი (ჰიდროენერგეტიკული ან კომპლექსური დანიშნულების) წყალსაცავების შემთხვევაში. ამიტომ, მათემატიკური მოდელირებისას საირიგაციო წყალსაცავში კაშხალთან მოსული მეწყერული ტალღის (ანუ იმპულსური ტალღის) ამპლიტუდის ზუსტი განსაზღვრის საჭიროება მოითხოვს წყალში მეწყერის შემოსვლის პროცესის დეტალურ ანალიზსა და შესაბამისი ტალღური მოძრაობის შეძლებისდაგვარად, ადეკვატურად ასახავს. კერძოდ, აღნიშნული მოთხოვნა სათანადოდ უნდა აისახოს, როგორც მეწყერული ტანის მოძრაობის მათემატიკურ მოდელში, ასევე განსახილველი ტალღების პარამეტრების განმსაზღვრელ შესაბამის საანგარიშო დამოკიდებულებებში.

კვლევის ობიექტი. შესწავლის ძირითადი ობიექტია ტალღები სხვადასხვა დანიშნულების წყალსაცავებში, კაშხალი და სანაპირო ფერდობები, სადაც წყლის დონემ შეიძლება აიწიოს არასასურველ ნიშნულამდე მეწყერის წყალში ჩამონგრევის შედეგად.

ნაშრომის მიზანია. მეცნიერულად დასაბუთებული მეთოდის დამუშავება, რომლის საფუძველზე შესაძლებელია განხორციელდეს წყალსაცავებში მეწყერით წარმოქმნილი ბრტყელი იმპულსური ტალღების ძირითადი პარამეტრების (სიმაღლე, პერიოდი) ოპერატიული პროგნოზირება, რაც საფუძველი იქნება ჰიდროკვანძის საიმედო ფუნქციონირებისა და მის ბიეფში ეკოლოგიური უსაფრთხოების პირობების უზრუნველყოფისათვის.

დასახული მიზნის მისაღწევად დასმულია შემდეგი ამოცანები:

- საანგარიშო დამოკიდებულებების მიღება იმ შემთხვევებისათვის, როდესაც მეწყერული ტანის შემოსვლა წყალსაცავში ხდება არა მთელ სიღრმეზე, არამედ წყლის თავისუფალ ზედაპირთან ახლოს მდებარე ზონაში;
- წყალსაცავის სანაპირო ფერდობზე მეწყერის მოძრაობის ამოცანის მათემატიკური ფორმულირება, წყალში მისი შემოსვლის პროცესში წარმოქმნილი ამომგდები ძალის ცვლილების გათვალისწინებით.
- წყალსაცავში ტალღური პროცესის ინტენსივობაზე იმ გავლენის დადგენა, რომელსაც ახდენს მეწყერული მასის წყალსაცავში ჩამონგრევის სხვადასხვა ხასიათი, შესაბამისი კომპიუტერული გაანგარიშებების შედეგების ანალიზის საფუძველზე;

- წყალსაცავში მეწყერით გენერირებული ბრტყელი ტალღის სიგრძის განსაზღვრა, გაანგარიშებათა შედეგად მიღებული ტალღური პროფილების დამუშავების საშუალებით;
- კაშხალთან მოსული ტალღის მაქსიმალური ამპლიტუდის პროგნოზირება ტალღის კაშხალზე, როგორც გადაღვრის შემთხვევაში, ასევე გადაღვრის გარეშე მეწყერული პროცესის სხვადასხვა ხანგრძლივობისა და წყალსაცავის ზომების გათვალისწინებით.

ნაშრომის სამეცნიერო სიახლე მდგომარეობს შემდეგში:

- მიღებულია ანალიზური გამოსახულებები და მათ საფუძველზე ჩატარებულია სისტემური კომპიუტერული გაანგარიშებათა ციკლი, რის საფუძველზე ხდება იმ გავლენის დადგენა, რომელსაც ახდენს მეწყერის წყალში შემოსვლის ხასიათი წარმოქმნილ ტალღების ინტენსივობაზე;
- მიღებულია ანალიზური დამოკიდებულება მეწყერით გამოწვეული ბრტყელი ტალღის სიგრძის სწრაფი პროგნოზირების მიზნით;
- მიღებულია ფორმულა, რომლის საშუალებით შესაძლებელია კაშხალთან წყლის დონის აწევის მაქსიმალური სიდიდის სწრაფი პროგნოზი.
- დამუშავებულია მეთოდი, რომლის საფუძველზე განისაზღვრება მეწყერული ტალღის სიმაღლე კაშხლის კვეთში მისი გადაღვრის შემთხვევაში.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება. მთიან რეგიონებში განლაგებული ჰიდროენერგეტიკული და საირიგაციო დანიშნულების წყალსაცავების ფერდობებზე პოტენციური მეწყერის აქტივიზაციის დროს (რაც შეიძლება გამოწვეული იყოს უხვი წვიმებით, წყალმოვარდნით, მიწისძვრით, ტექნოგენური მიზეზებით და ხვ.), აუცილებელია ჩატარდეს აღნიშნული მეწყერის კინემატიკური პარამეტრების სიდიდის ოპერატიული პროგნოზირება, რაც თავის მხრივ საფუძველია იმისათვის რომ კორექტულად შეფასდეს ტალღური პროცესის ინტენსივობა წყალსაცავში და უსაფრთხოების პირობები კაშხლის ფუნქციონირებისათვის (კაშხალზე ტალღის გადაღვრის, კაშხლის წარეცხვის შესაძლებლობა და სხვ.). სწორედ, ამით არის განპირობებული ნაშრომში მიღებული შედეგების პრაქტიკული მნიშვნელობა. კერძოდ, ნაშრომში დამუშავებული მეთოდიკა საშუალებას იძლევა სწრაფად ჩატარდეს, წყალსაცავში მეწყერით წარმოქმნილი მაღალი ტალღების გაანგარიშება, რის საფუძველზე შესაძლებელი ხდება ჰიდროკვანძის ძირითადი ნაგებობების საიმედო ფუნქციონირებისა და მიმდებარე რაიონში უსაფრთხო ეკოლოგიური პირობების პროგნოზირება.

ნაშრომის შედეგების უტყუარობა. ნაშრომის შედეგები ეფუძვნება მექანიკის და ჰიდრომექანიკის ცნობილი კანონების (კინემატიკური ენერგიის, მასის, მოძრაობის შენახვის კანონები) გამოყენებას.

ნაშრომში ჩვენს მიერ წარმოდგენილი კონკრეტული სახის საანგარიშო ფორმულები მიღებულია შესაბამისი სასაზღვრო ამოცანის პროფ.თ.გველესიანის მიერ მიღებული ზოგადი ამონახსნის საფუძველზე. აღნიშნული ამონახსნის უტყუარობა და გამოყენების ფარგლები კარგად არის ცნობილი (იხ. ცნობილი ლიტერატურული წყაროები), ამიტომ ნაშრომში მიღებული ფორმულებით სარგებლობის შესაძლებლობა მოიაზრება აღნიშნული გამოყენების ფარგლებში.

ნაშრომში მიღებული ფორმულები წარმოდგენილია შედარებით ცუდად კრებადი ტრიგონომეტრიული მწკრივების ჯამის სახით. ამიტომ გაანგარიშებათა სიზუსტის უზრუნველყოფის მიზნით ხდებოდა საჭირო რაოდენობის შესაკრებთა რიცხვის აღება, რის დადგენაც წარმოებდა სათანადო პროცედურის ჩატარების საფუძველზე.

ნაშრომის აპრობაცია. საერთაშორისო სიმპოზიუმზე “წყალდიდობები და მათგან ბრძოლის ღონისძიებები და თანამედროვე მეთოდები”, თბილისი, 23-28 სექტემბერი, 2009 წ., აგრეთვე სადოქტორო პროგრამით გათვალისწინებულ ორ სემინარზე (საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი).

პუბლიკაცია. სადისერტაციო ნაშრომის თეორიული და პრაქტიკული ხასიათის კვლევათა შედეგები გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო ნაშრომში.

ნაშრომის სტრუქტურა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლისაგან, 6 თავისაგან, დასკვნებისაგან და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისაგან. ნაშრომი შეიცავს 138 ნაბეჭდ გვერდს, 9 ცხრილსა და 22 ნახაზს. გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა შეიცავს 110 დასახელებას.

ნაშრომის შინაარსი

შესავალში მოცემულია ნაშრომის საერთო დახასიათება: დასაბუთებულია პრობლემის აქტუალობა, სამუშაოს მიზანი და კვლევის ამოცანა, კვლევის ობიექტები, კვლევის მეთოდები, მეცნიერული სიახლე, პრაქტიკული ღირებულება და შედეგების ანალიზი, მეცნიერული დასკვნების და ნაშრომის შედეგების უტყუარობა, ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა.

პირველ თავში განხილულია ტალღური პროცესების შესწავლის ძირითადი მიახლოებითი თეორიები და მათი გამოყენების სფეროები. გრძელი ტალღების ანუ მარჩხი წყლის (მწ) თეორიის მიხედვით სითხის სიჩქარის ვერტიკალური მდგენელი არ მიიღება მხედველობაში და ამგვარად, წყალსადინარის განიკვეთში ნაკადი ხასიათდება კერძოდ, მხოლოდ ერთი (გასაშუალოებული) ჰორიზონტალური სიჩქარით. უფრო ზოგადი თეორიის, მცირე ამპლიტუდის ტალღების (მატ) თეორიის თანახმად, შეიძლება გაანგარიშებულ იქნას ნებისმიერი სიგრძის ტალღები სიჩქარის ყველა მდგენელის გათვალისწინებით. ამ თეორიის საფუძველზე, შეიძლება ამოიხსნას ჰიდროდინამიკის (პოტენციური მოძრაობის) სასაზღვრო ამოცანა და მოიძებნოს სიჩქარის პოტენციალი Φ , რის საშუალებით შესაძლებელი ხდება განისაზღვროს ტალღური პროცესის ყველა პარამეტრი (ტალღის ამპლიტუდა, სიჩქარეები, ჰიდროდინამიკური წნევები).

მეორე თავში წარმოდგენილია წყალსატევების (მათ შორის წყალსაცავების) სანაპირო ფერდობებზე მეწყერული პროცესების კლასიფიკაცია. განხილულია მეწყერული ქანების მექანიკის თავისებურებები და მეწყერის წარმოქმნის ძირითადი მიზეზები, აგრეთვე ცნობილი მეწყერული მოვლენები წყალსაცავებსა და მდინარეების ხეობების ფერდობებზე. გარდა ამისა, წარმოდგენილია ბლოკური ტიპის მეწყერის სანაპირო ფერდობზე მოძრაობის საანგარიშო სქემა.

მესამე თავში მიღებულია კონკრეტული საანგარიშო დამოკიდებულებები (ფორმულები) პროფ. თ. გველესიანის მიერ მიღებული ბრტყელი (ორ-განზომილებიანი) ტალღური სასაზღვრო ამოცანის ზოგადი ანალიზური ამონახსნის საფუძველზე. ამ ამონახსნს აქვს შენდეგი სახე

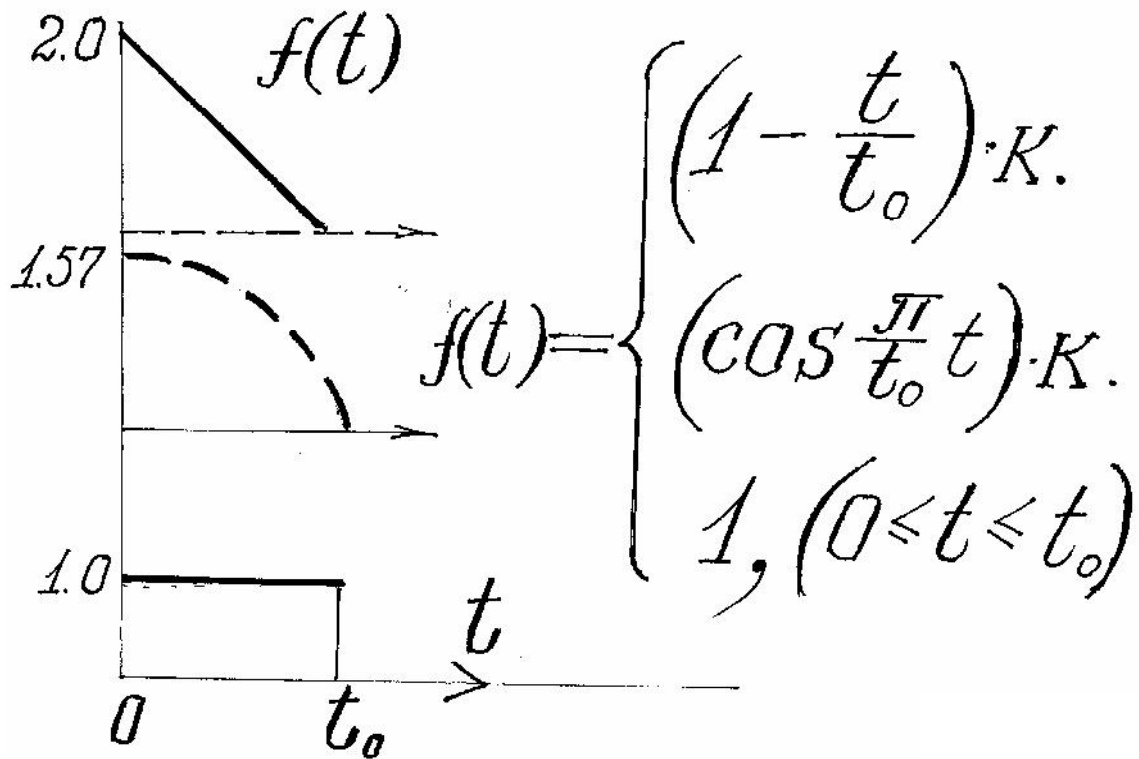
$$\eta(\mathbf{x}, t) = -\frac{1}{l} \int_0^t \int_0^{-h_0} V(\xi, \tau) d\xi d\tau -$$

$$-\frac{2}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos a_n \mathbf{x}}{\operatorname{ch} a_n h} \int_0^t \int_0^{-h_0} V(\xi, \tau) \operatorname{ch} a_n (h + \xi) \cos \gamma_n (t - \tau) d\xi d\tau$$

სადაც $a_n = \frac{n\pi}{l}$; $n=1, 2, 3, \dots$, სადაც l – წყალსაცავის სიგრძეა, h – მისი სიღრმე, V –

სიჩქარის მახასიათებელი სიდიდეა, h_0 – მეწყერული მასის შემოძინების სიღრმე, $\gamma_n = \sqrt{a_n g \operatorname{th} a_n h}$, : ჩვენს მთავარ მიღებული ფორმულები შეესაბამებიან მეწყერის წყალში შემოსვლის და მასში მოძრაობის სხვადასხვა შემთხვევას. კერძოდ მიიღება რომ $V(\mathbf{z}, t) = V F(\mathbf{z}) f(t)$, სადაც $F(\mathbf{z})=1$, ხოლო $f(t)$ ფუნქცია შეიძლება აპროქსიმირებული იყოს სხვადასხვა ანალიზური გამოსახულების სახით (ნახ. 1.). ვინაიდან $t = t_0$ მომენტი

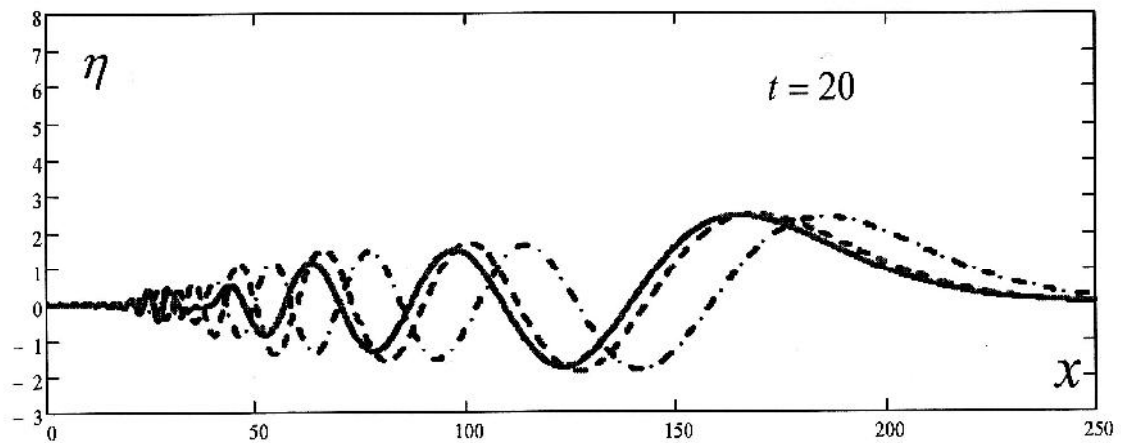
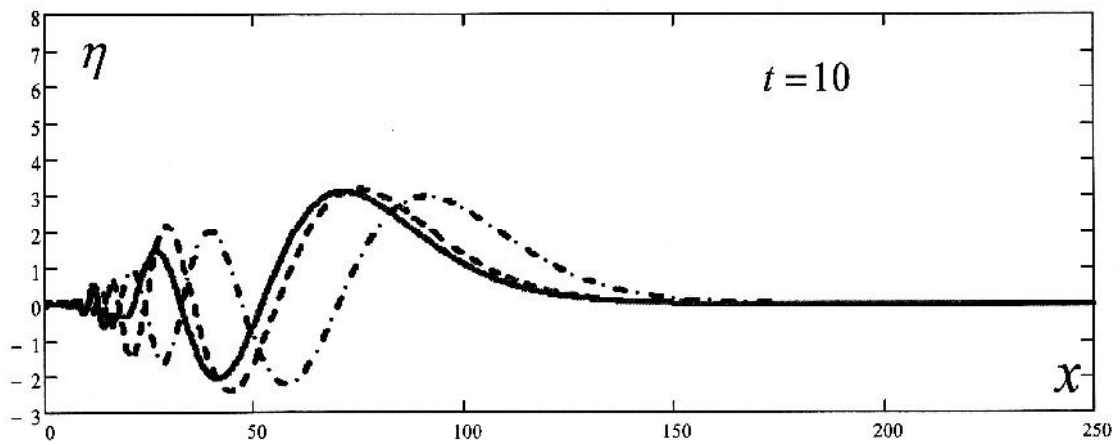
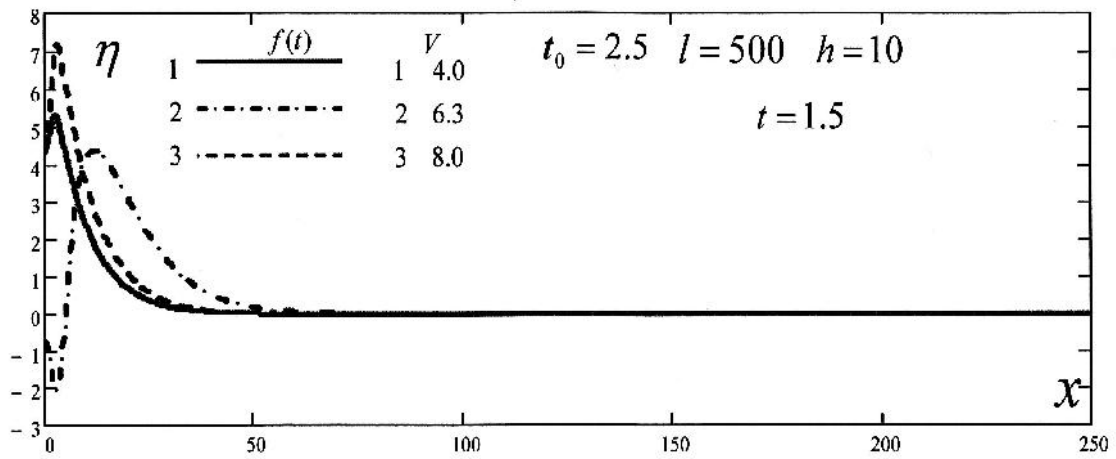
შეესაბამება მეწყერის მოძრაობის (შემოდინების) და წყლის გამოდევნის პროცესის დასასრულს, ამიტომ ამ დროს $f(t) = 0$. (ნახ 1.).



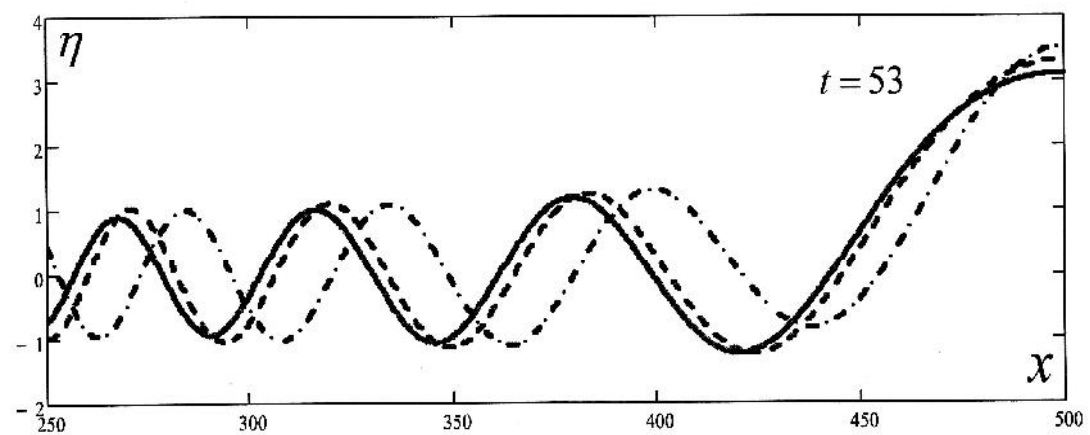
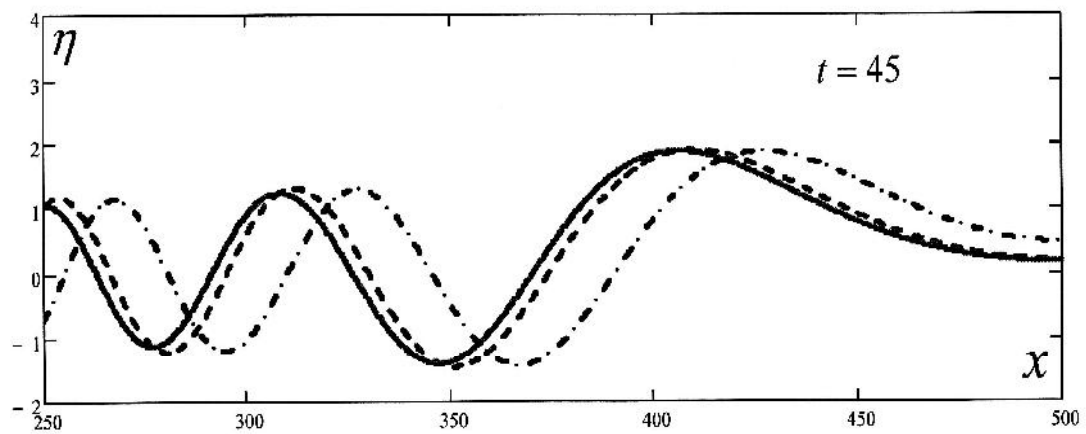
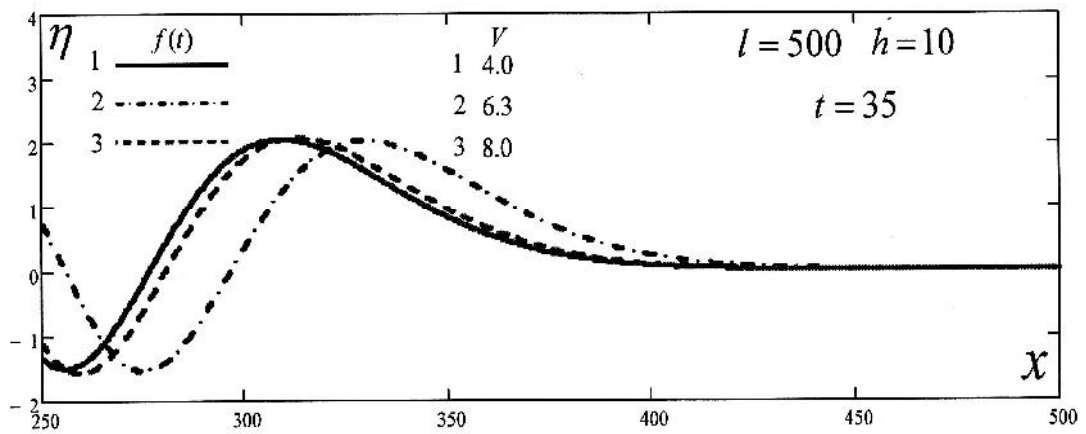
ნახ. 1. მეწყერის სიჩქარის დროში ცვლილების აპროქსიმაციის
სხვადასხვა ფუნქცია

აღნიშნული პროცესის საწყის ფაზაში წყლის გამოდევნის სიჩქარეს ახასიათებს მაქსიმალური მნიშვნელობა იმ შემთხვევაში, როდესაც მეწყერი შემოდის წყალში მაქსიმალური სიჩქარით. ამას ექნება ადგილი, კერძოდ, მაშინ, როდესაც მეწყერი იწყებს მოძრაობას ფერდობზე გარკვეული სიმაღლიდან (ათვის (წყლის თავისუფალ) ზედაპირიდან). ამ შემთხვევაში $f(t)$ ფუნქცია შეიძლება აპროქსიმირებული იყოს სამკუთხედის ან კოსინუსოიდის მონაკვეთის სახით (ნახ. 1)

უფრო უხეშ მიახლოებაში შეიძლება ჩაითვალოს, რომ წყლის გამოდევნის სიჩქარე მეწყერის შედეგად მთელი $0 \leq t \leq t_0$ დროის განმავლობაში უცვლელია.



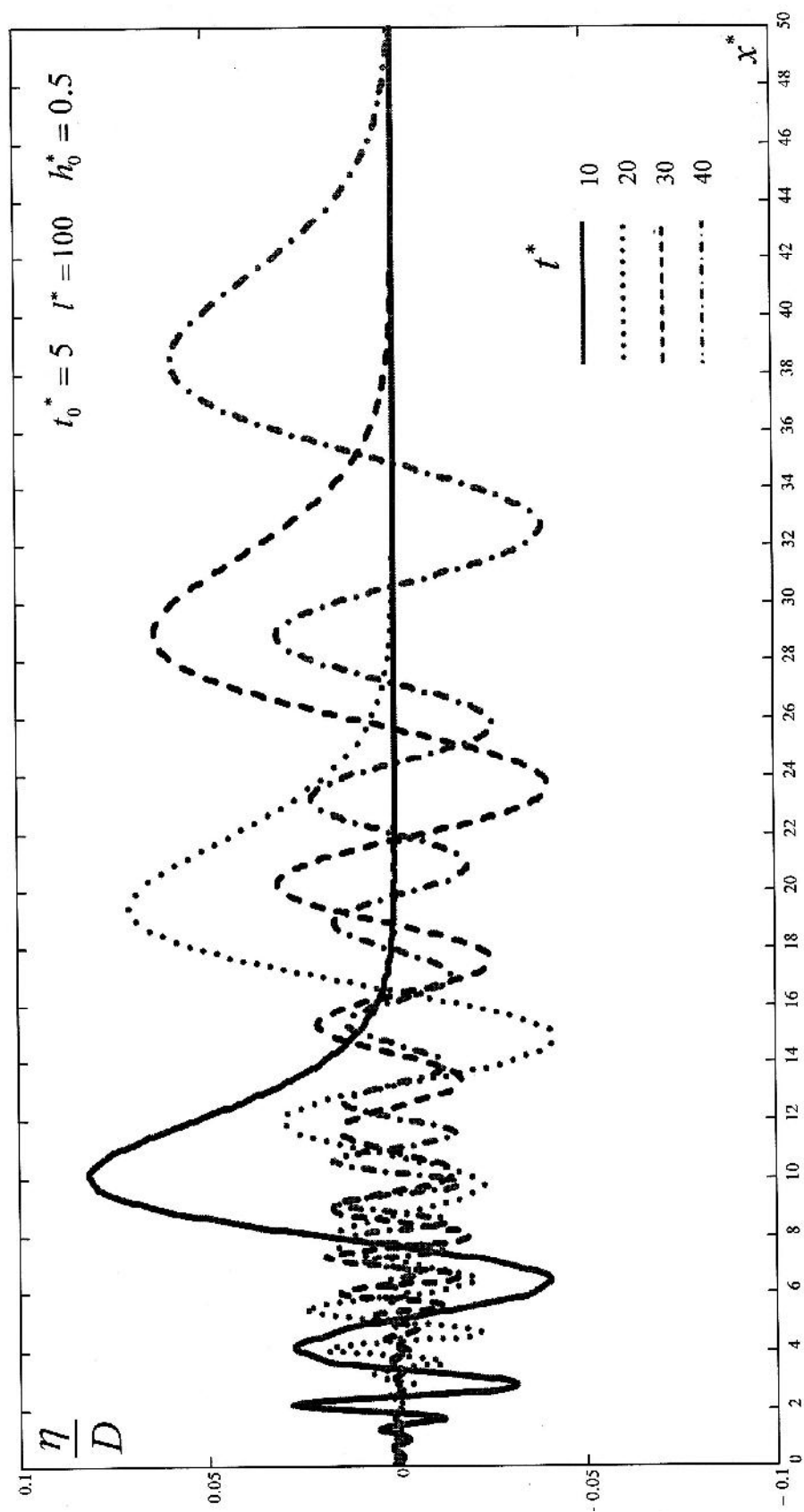
ნახ. 2. ტალღური პროცესები სხვადასხვა დროის მომენტში $f(t)$ ფუნქციის გათვალისწინებით



ნახ. 3. ტალღური პროცესები სხვადასხვა დროის მომენტში $f(t)$ ფუნქციის გათვალისწინებით

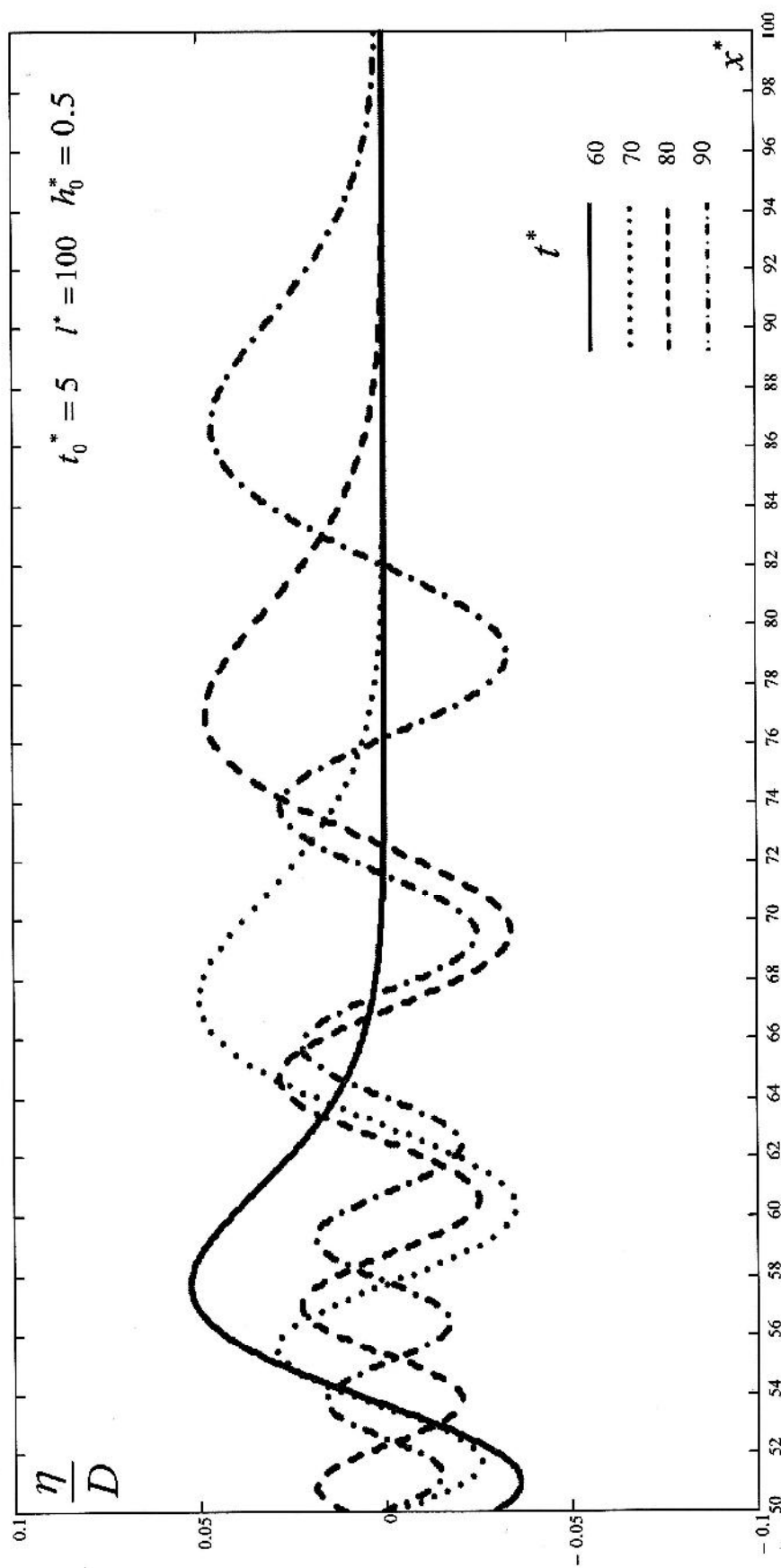
მეოთხე თავში მოცემულია სხვადასხვა ტალღური პროცესის გათვლის შედეგები. დადგენილია, რომ ტალღის ამპლიტუდაზე გავლენას ახდენს როგორც ტალღის წარმომქნელი ფაქტორები, ასევე წყალსაცავის ზომები, გარდა ამისა ტალღა განიცდის ფორმისა და სიგრძის ცვლილებას. როგორც ჩვენი ცხოვრებისეული პრაქტიკა და ინტუიცია გვკარნახობს, ტალღა დასწყისში თავის წარმოქმნის (გენერაციის) ადგილას ანუ ფერდობის ან ბორტის კვეთში (სადაც ხდება მეწყერული მასის შემოდინება) მაქსიმალურ სიდიდეებს აღწევს, მისი პროფილი შევიწროებულია და ფერდობი შედარებით დიდი დახრილობით ხასიათდება. ამ ადგილიდან წყალსაცავში გავრცელებისას, ტალღა თანდათან იშლება, ხოლო მისი ამპლიტუდა მცირდება. კაშხალთან მიახლოებისას კი, თავს იჩენს არეკვლის ფაქტორი, რის გამო ტალღის პროფილი ისევ ვიწროვდება. კაშხალზე ტალღის მიგორვითი მოძრაობის შედეგად, აქ წყლის დონე თანდათანობით იწევს და აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას $\eta_{\max d}$, რის შემდეგ დონე მცირდება, ტალღის კაშხლიდან არეკვლის გამო. ამასთან დაკავშირებით აღვნიშნავთ, რომ თუ ტალღა საკმარისად მაღალია, მისი კასხალთან ზემოქმედების შედეგად შეიძლება მოხდეს მისი გადაღვრა კაშხლის ქიმზე, რაც ადგილობრივი მასალისაგან აგებული კაშხლების შემთხვევაში დაუშვებელია, მისი შესაძლო წარეცხვის გამო.

ამ მსჯელობის დამადასტურებელია ნახ. 2-3 მოყვანილი გაანგარიშებათა შედეგები, რომლებიც ასახავენ მეწყერით გენერირებული ტალღის პროფილს წყალსაცავის სხვადასხვა უბანზე შესაბამის დროის მომენტებში ($t = 1.5, \dots, 53$ წმ). აღნიშნულ ნახაზზე წარმოდგენილი I და h სიდიდეები აღნიშნავენ ცყალსაცავის სიგრძეს და სიღრმეს. მეწყერის შემოდინების პროცესის ხანგრძლივობის ზრდასთან ერთად. მაგალითად, რიდესაც $t_0^* = t_0 \sqrt{g/h} \geq 2.5$ (სადაც g არის თავისუფალი ვარდნის აჩქარება) (ნახ. 4,5,6), საწყის კვეთში ($x = 0$), ტალღის ამპლიტუდა შედარებით ნაკლები ხდება. სამაგიეროდ, მატულობს კაშხალთან წყლის დონის აწევა და სწორედ აქ აღინიშნება ტალღის მაქსიმალური ამპლიტუდა (წყალსაცავის სხვა კვეთებთან (კერძოდ, $x=0$ კვეთთან) შედარებით: როდესაც $t^* = 1$, ტალღის ამპლიტუდა $x=0$ კვეთში თითქმის 2-ჯერ ნაკლებია კაშხალთან ტალღის ამპლიტუდაზე ($\eta_{\max d}$).

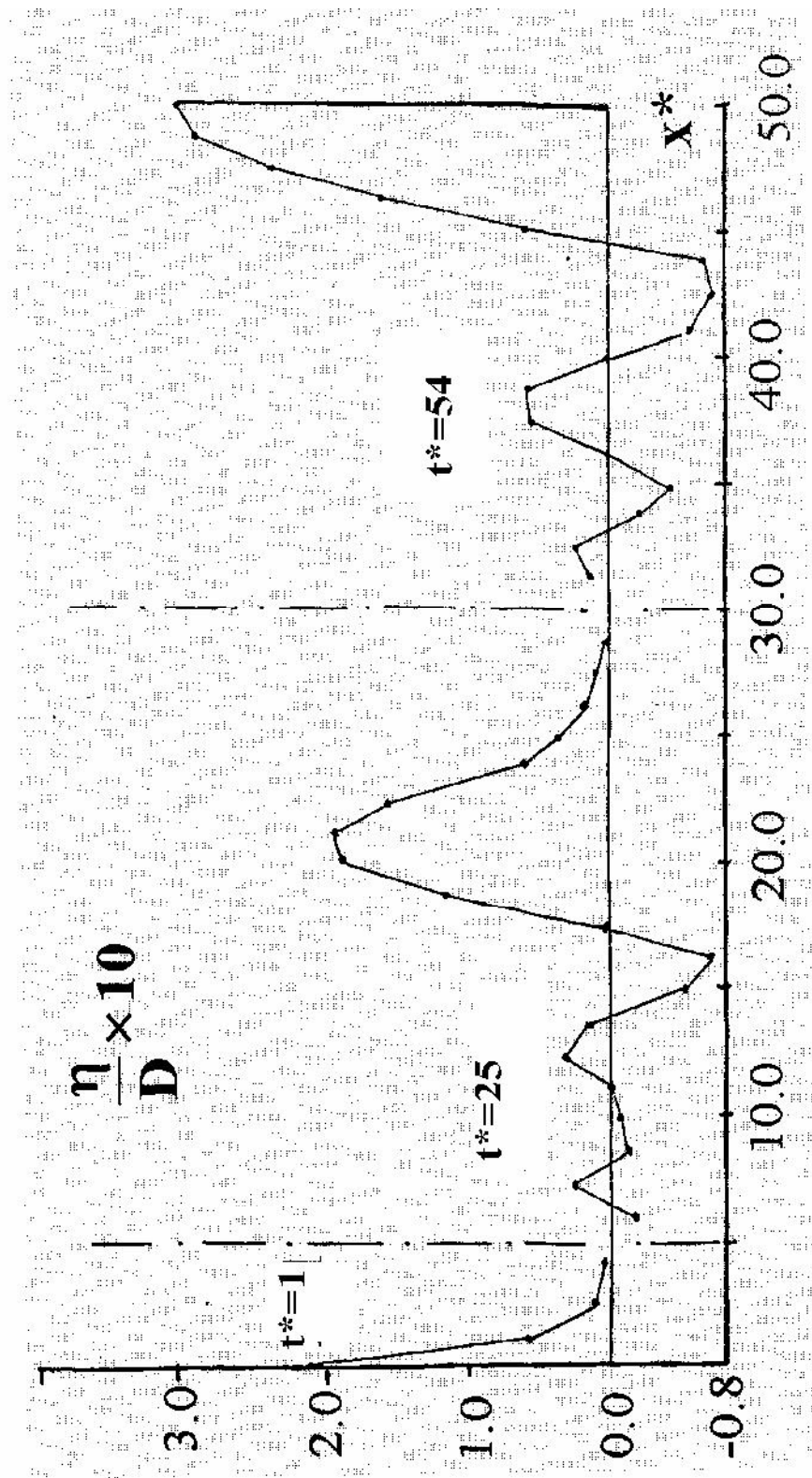


ნახ. 4 .მეწვერული ტალღის ფარდობითი მნიშვნელობის შემცირება x^* სიდიდის მიმართ

დროის სხვადასხვა მომენტისთვის



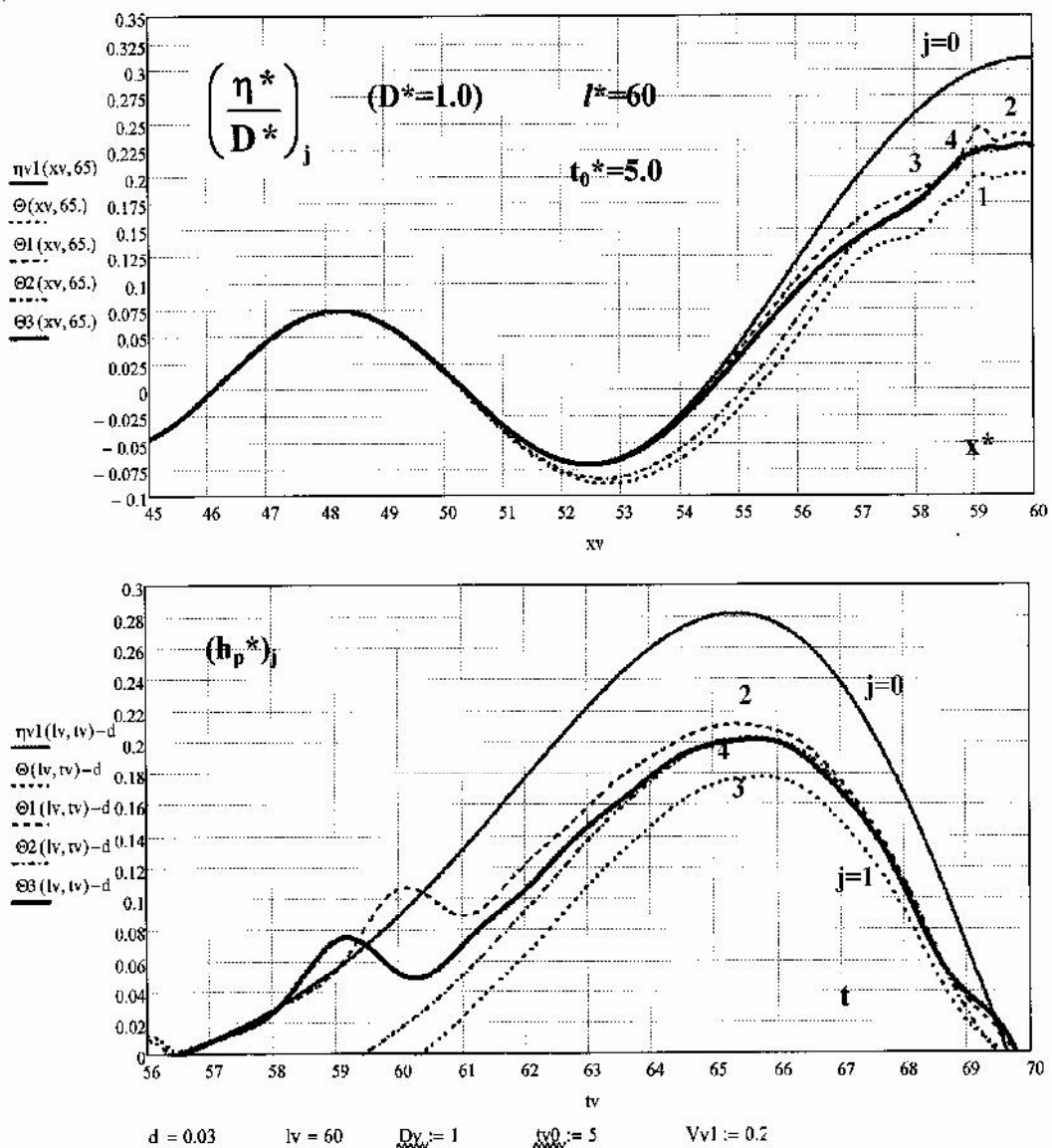
ნახ. 5. მეწყერული ტალღის ფარდობითი მნიშვნელობის უემცირება x^* სიდიდის მიმართ
 დროის სხვადასხვა მომენტისთვის



ნახ. 6. ბრტყელი მეწერული ტალღის პროფილები წყალსაცავის სხვადასხვა x^* უბანზე შესაბამისი

მნიშვნელობისთვის ($t^* = 1; 25; 54$); $l^* = 50$; $D = 10$ მ; $t_0^* = 50$)

მეხუთე თავში დამუშავებულია მეწყერული ტალღის კაშხლის ქიმზე გადაღვრის პროგნოზირების ორი მეთოდი. პირველი (უფრო მარტივი) მეთოდი გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც ტალღის ამპლიტუდა (η^*) მნიშვნელოვნად მეტია კაშხლის ქიმის ნიშნულსა და წყალსაცავის საანგარიშო დონეს შორის არსებულ მანძილზე ანუ ე.წ. "მარაგის" სიდიდეზე (d); როდესაც $\eta^* < d$, მაშინ ტალღის კაშხალზე გადაღვრის მოდელირება წარმოებს, პროფ. თ.გველესიანის მიერ შემოთავაზებული, თანდათან მიახლოების (იტერაციული) მეთოდის გამოყენებით, რაც შესაძლებლობას იძლევა განისაზღვროს გადაღვრის ყველა პარამეტრი.



ნახ. 7. ტალღის გადაღვრის პროცესის საანგარიშო პარამეტრები (η^* , h_p^*) სხვადასხვა იტერაციის ბიჯის დროს

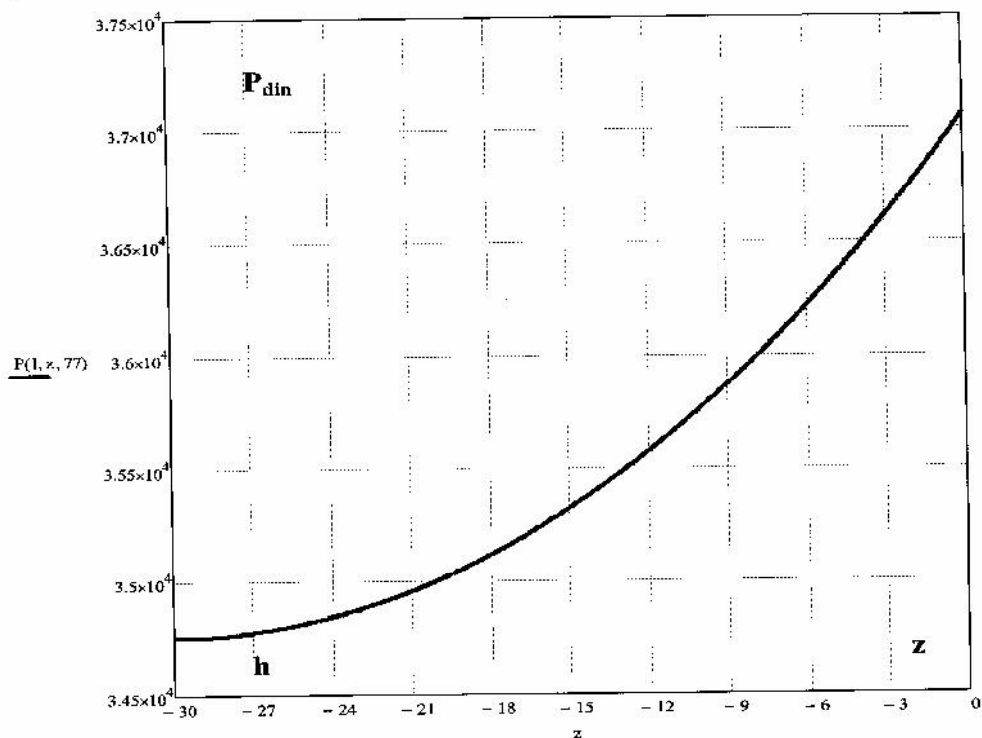
ნახ. 7. -ზე აღნიშნული პარამეტრები ტოლია:

$\eta^* = \eta/h$, η - ტალღის მაქსიმალური ამპლიტუდაა კაშხლის კვეთში;

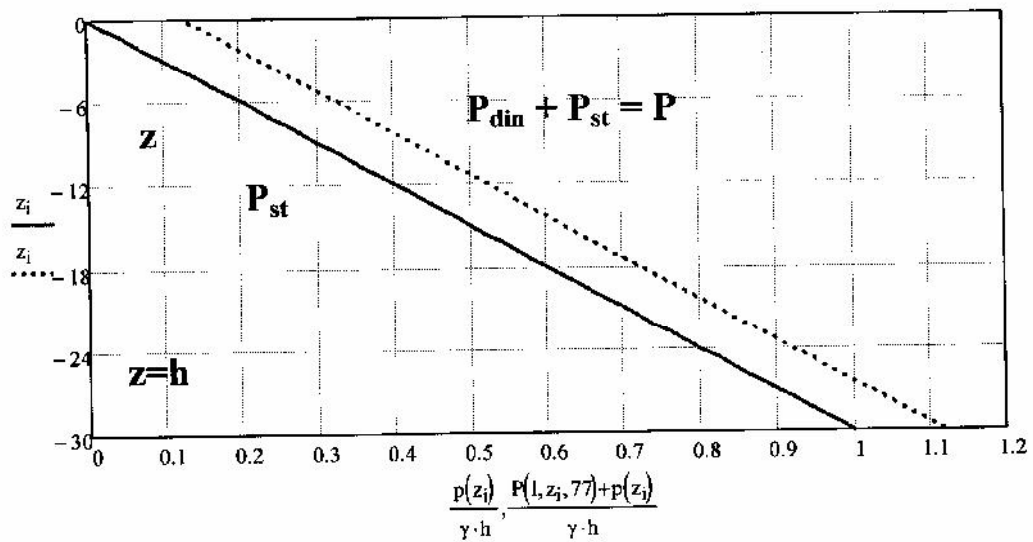
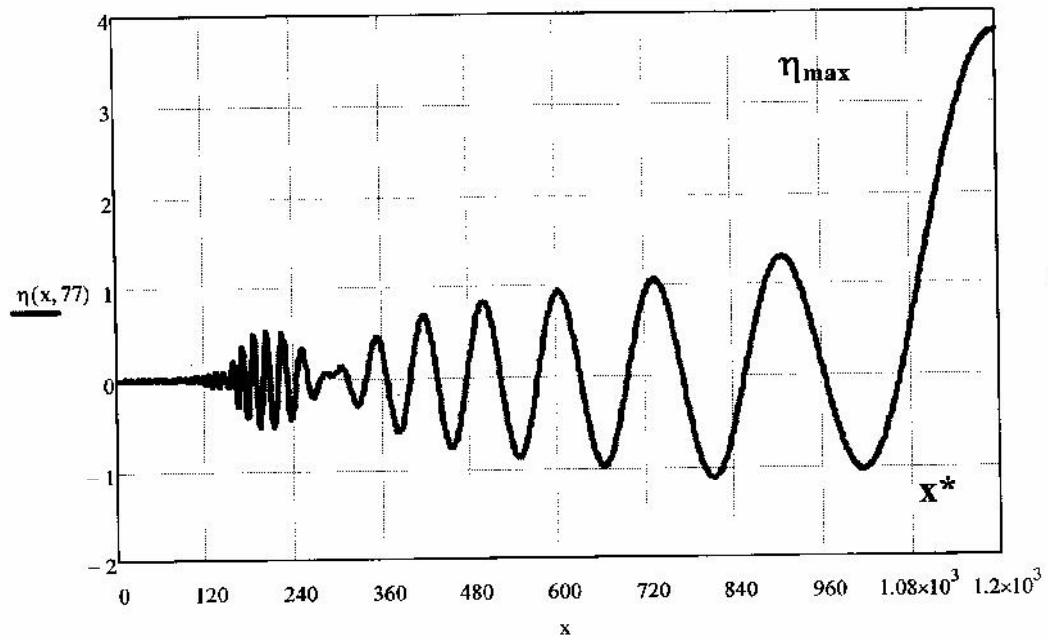
$D^* = D/h$, D - არის მეწყერული მასის გასაშუალოებული სიგანე მისი წყალსაცავში ჩამონგრევის შედეგად; , $I^* = I/h$, I - არის მანძილი მეწყერისა და წყალსაცავის კვეთებს შორის; $h_p^* = h_p/h$, $h_p = \eta - d$, ანუ ტალღის კაშხალზე გადაღვრის სისქის სიმაღლე, j - იტერაციის ნუმერაცია ($j=4$ საბოლოო იტერაციის ნომერია).

მეექვსე თავში განისაზღვრება მეწყერით გამოწვეული ტალღის ჰიდროდინამიკური ზემოქმედება კაშხალზე საანგარიშო პარამეტრების სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.

ქვემოთ წარმოდგენილი გრაფიკული მასალა (ნახ. 8-9) საშუალებას გვაძლევს დავასკვნათ: ა) დინამიკური წნევა, რომელიც კაშხალზე მოქმედებს წყალსაცავის სიღრმის ზრდასთან ერთად მცირდება (პარაბოლური კანონის მიხედვით); ბ) დინამიკური წნევა იზრდება კაშხალთან ტალღის აგორების სიმაღლის პროპორციულად; გ) დინამიკური და სტატიკური წნევების ფარდობის მნიშვნელობა მატულობს წყალსაცავის სიღრმის შემცირებასთან ერთად.



ნახ. 8. მეწყერული ტალღით გამოწვეული ჰიდროდინამიკური წნევის გადანაწილება კაშხალზე



ნახ. 9. a) მეწყერით წარმოქმნილი ტალღის პროფილი
 ($\eta_{\max}$ - ტალღის მაქსიმალური აგორების (დონის აწევის) სიმაღლე
 b) ტალღის საერთო ფარდობითი დატვირთვა კაშხალზე (P^*) და შესაბამისი
 ჰიდროსტატიკური შემადგენელი, $t_a = 77 \dots$

ნახ. 9-ზე წარმოდგენილია სტატიკური $P_{st}^* = \frac{P_{st}}{\gamma h}$ და დინამიკური $P_{din}^* = \frac{P_{din}}{\gamma h}$

წნევების ფარდობითი მნიშვნელობები.

ძირითადი დასკვნები და რეკომენდაციები

სადისერტაციო ნაშრომში წარმოდგენილი კვლევების საფუძველზე გაკეთებულია შემდეგი დასკვნები;

1. სხვადასხვა დანიშნულების ჰიდროკვანძების წყალსაცავებში მეწყერით გენერირებულმა ტალღებმა შეიძლება საფრთხე შეუქმნას კაშხლის ნორმალურ ფუნქციონირებას და გახდეს მიმდინარე რაიონის ეკოლოგიური წონასწორობის დარღვევის მიზეზი.

2. მიღებული კონკრეტული სახის ანალიზური გამოსახულებები პროფ. თ.გველესიანის მიერ ზოგადი სახით ფორმულირებული ბრტყელი სასაზღვრო ამოცანის ამონახსნის საფუძველზე, რომელიც შეეხება წყალსაცავში ამა თუ იმ მიზეზით (მათ შორის მეწყერით) წარმოქმნილი ე.წ. იმპულსური ტალღების გენერაციის პრობლემას.

3. აღნიშნული ფორმულების საშუალებით ჩატარებულია კომპიუტერული გათვლები, მათი შედეგების ანალიზის, შედეგად განსაზღვრული ამა თუ იმ საანგარიშო (წინასწარ ზუსტად უცნობი) პარამეტრების მნიშვნელობების გავლენა ტალღის ამპლიტუდაზე და მისი პროფილის ფორმაზე. ჩვენებია, კერძოდ, რომ იმ შემთხვევაში, როდესაც მეწყერის ჩამოქცევა ხდება ფერდობზე წყლის დონიდან გარკვეულ სიმაღლიდან, გენერირებული ტალღების ინტენსივობა მეტია სხვა შემთხვევებთან შედარებით (მაგალითად, მაშინ როცა მეწყერული მასის შემოდიდება ხდება წყალსაცავის მთელ სიღრმეზე).

4. კომპიუტერულ გაანგარიშებათა შედეგად დადგენილია მეწყერული ტანის წყალში შემოსვლის სიჩქარის დროში ცვლილების ფუნქციის გავლენა ტალღურ პროცესის ინტენსივობაზე. ამასთან დაკავშირებით, ბრტყელი მაქსიმალური ტალღების ამპლიტუდების გაანგარიშების მიზნით, ნაშრომში მოცემულია სათანადო რეკომენდაციები საანგარიშო დამოკიდებულებებში აღნიშნული ფაქტორის გათვალისწინებისათვის.

5. გაანგარიშებათა მონაცემების საშუალებით აგებულია წყალსაცავში ბრტყელი მეწყერული ტალღის პროფილები. მათი დამუშავების საფუძველზე მიღებულია საანგარიშო დამოკიდებულება წყალსაცავში ტალღის სიგრძის განსაზღვრის მიზნით მეწყერული პროცესის ხანგრძლივობის მახასიათებელი პარამეტრის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის. წყალსაცავში მეწყერული ტალღის ძირითადი პარამეტრების -

სიმაღლის და სიგრძის ცოდნა, საშუალებას იძლევა ქარის ტალღებისათვის არსებული ნორმატული რეკომენდაციების შესაბამისად, შეფასებული იქნას მიახლოებით ამ ტალღის სხვადასხვა დახრილობის სანაპირო ან მიწის კაშხლის ფერდობზე მიგორვით მოძრაობის დონის აწევის სიმაღლე. თუმცა, საჭიროა აღინიშნოს, რომ სირთულის გამო საკითხი საჭიროებს შემდგომ სპეციალურ კვლევას.

6. მიღებული ანალიზური საანგარიშო დამოკიდებულების საფუძველზე ჩატარებულია კომპიუტერული გათვლების ციკლი ბრტყელი მეწყერული ტალღის კაშხალთან მაქსიმალური ამპლიტუდის განსაზღვრის მიზნით, აღნიშნულ დამოკიდებულებაში შემავალი პარამეტრების მნიშვნელობათა ფართო დიაპაზონში ვარიაციების პირობებში. მიღებული მონაცემების ანალიზის შედეგად დამუშავებული იქნა აპროქსიმაციული (მარტივი სახის) “საინჟინრო” ფორმულა კაშხალთან წყლის დონის შესაძლო მაქსიმალური აწევის სიმაღლის ოპერატიული პროგნოზირებისათვის, წყალსაცავისა და მეწყერის სხვადასხვა ზომის და მეწყერული პროცესის ხანგრძლივობის გათვალისწინებით.

7. წყალსაცავის ფერდობზე თუ არსებობს ან საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევები შედეგად გამოვლენილია პოტენციური მეწყერის კერა, მაშინ უნდა ჩატარდეს ამ მეწყერით წარმოქმნილი ტალღის მაქსიმალური ამპლიტუდის გაანგარიშება კაშხლის კვეთში. იმ შემთხვევაში, თუ დადგენილი იქნება, რომ მეწყერული ტალღა იმდენად მაღალია, რომ შეიძლება მოხდეს გადაღვრა კაშხლის ქიმზე, ამის საწინააღმდეგოდ უნდა ჩატარდეს სათანადო ღონისძიებები ეკოლოგიური კატასტროფის თავიდან აცილების მიზნით. ამ ღონისძიებების ერთ-ერთ ეფექტურ საშუალებას წარმოადგენს მიწის სამუშაოები პოტენციური მეწყერის გარკვეული ნაწილის მოშორების მიზნით, რის შედეგად ტალღა უკვე ვერ შეძლებს კაშხალზე გადაღვრას აღნიშნული მიწის სამუშაოთა მოცულობის დადგენა შესაძლებელი ხდება ნაშრომში მიღებული საანგარიშო დამოკიდებულებების გამოყენებით, როგორც კომპიუტერული, ასევე აღნიშნული აპროქსიმაციული ფორმულის საშუალებით ჩატარებული გათვლების საფუძველზე.

8. იმ შემთხვევაში, როდესაც მეწყერული ტალღის მაქსიმალური ამპლიტუდა ნაკლებია ვიდრე წყალსაცავში არსებული საანგარიშო დონესა და კაშხლის ქიმის ნიშნულს შორის მანძილი (მარაგი), ტალღის გადაღვრა კაშხალზე შესაძლებელია მოხდის ტალღის კაშხალზე აგორვის (დონის აწევის) შედეგად. ვინაიდან ამ აგორვის სიმაღლე წინასწარ უცნობია, მისი განსაზღვრის მიზნით გამოყენებულია გაანგარიშებათა თანდათან მიახლოების (იტერაციის) მეთოდი, რის შედეგად

დამუშავებულია მეწყერული ტალღის კაშხალზე გადაღვრის პროცესის მათემატიკური პროგნოზი. ამ პროცესმა შეიძლება განაპირობოს კერძოდ, მიწის კაშხლის წარეცხვა, რასაც თან სდევს კატასტროფული შედეგები ქვედა ბიეფში.

9. განისაზღვრება მეწყერული ტალღით გამოწვეული ზემოქმედება როგორც ჰიდროდინამიკური დატვირთვის (წევის) განაწილება (სიღრმის მიხედვით) ბეტონის კაშხლის სადაწნეო ზედაპირზე, კერძო შემთხვევისათვის, როდესაც მეწყერის წყალში ჩამონგრევის ადგილი შედარებით ახლო მანძილით არის დაშორებული კაშხლის კვეთიდან.

SUMMARY

Problem actuality. For diverse waterworks facilities, to ensure their reliable and steady operation, are essential to effectively solving hydro-power engineering problems as well as those related to agriculture. In Georgia which is characterized by a mountainous terrain, waterworks facilities are mostly situated either in a hilly area or at foothills being often distinguished by severe geological conditions, as witnessed, in particular, by intensive landslide processes over mountain slopes.

In this connection, when designing and operating waterworks facilities, in order to ensure secure functioning and ecological safety in the adjacent area, proper allowance must be made for the impact of the specific factors characteristic of mountainous regions.

One of a number of those important factors is intensive wave process generated on water surface due to landslide falling into water in its downhill motion for one reason or other, from waterworks facility water-storage reservoir shore slope. When the waves are high enough, there can take place dam overflowing, causing in turn, either partial or overall wash-out at dam (given that the dams for irrigation waterworks facilities are made, as a rule, of locally available natural material featuring a tendency for intensive wash-out). Propagating downstream, the said waves can cause the destruction of structures, irrigation and transportation systems etc., and also, on occasion, may result in casualties (disastrous impact of landslide waves generated in Viont water-storage reservoir in Italy, 1963 and in Lion Lake in Norway, 1936 are a good case in point) etc.

The issues concerning landslide-generated wave prediction for large hydraulic power waterworks facilities situated in mountainous regions have been worked out well enough based on a number of both theoretical and experimental studies. However, in the case of relatively small water-storage reservoirs, some currently central problems have not been adequately explored.

The objective and challenge of the research. Mathematical simulation and proper computational techniques is to be worked out in the determination of the parameters of landslide-generated high-wave (including wave amplitude and dam hydrodynamic pressure) in a relatively small water-storage reservoir as well as dam overflow process.

The (scientific) innovation of the present study is as follows:

- some analytical expressions have been obtained to be used in a series of systematic computerized calculations allowing a link to be established between the pattern of the landslide falling into the water and the intensity of the waves generated;
- An approximate analytical relationship has been developed in an effort to ensure fast prediction for the wavelength of landslide-generated plane waves;
- The generalized schemes has been obtained enabling to promptly determine maximum rise in water level at the dam.
- A techniques has been elaborated to be employed in the prediction of maximum wave dam overflowing process parameters, as well as wave-induced dam loading.

Practical value of the research. Potential landslide starting downhill motion over the slopes of either hydraulic power storage reservoirs or irrigation reservoirs (which can result from heavy rains, inundation, earthquakes, technogenic reasons etc.) located in mountainous regions calls for effective prediction of landslide-generated wave parameters, which in turn provides a way for the wave process intensity in water-storage reservoir to be properly assessed and the security of the adjacent area to be ensured (dam overflowing, dam wash-out possibility etc.)

The first chapter is dedicated to major approximate theories of wave process research and their fields of application. The theory of long waves or shallow water waves (SW) theory ignores the vertical component of water velocity, the current in waterway cross-section thus being characterized, in particular, by just one mean horizontal velocity. According to another theory, one that is more general, specifically the small amplitude wave (SAW) theory, it is possible for waves of any length to be calculated, with allowance made for all velocity components. On the basis of that theory the boundary problem of hydrodynamics (potential motion) can be solved and velocity potential ϕ can be determined, which makes it possible to define all parameters of wave process (wave amplitude, velocities, hydrodynamic pressures).

The second chapter is concerned with the classification of landslide processes observed on basin shore slopes (including water-storage reservoir slopes.) Consideration is being given to the peculiarities of landslide rocks as well as to the main reasons of landslide initiation. Certain reported cases of landslide occurrence in water-storage reservoirs and river ravine slopes have also been discussed. Furthermore, a pattern of calculation and design scheme have been presented for block-type landslide motion over the reservoir shore slope.

Using the general analytical solution obtained by of professor T. Gvelesiani's of plane (two-dimensional) wave boundary problem as a building-block, some concrete mathematical relationships

have been obtained and duly presented in the third chapter. The formulae mentioned above involve various cases of landslide plunging into water and its motion in water.

The fourth chapter offers the results of calculations carried out for various wave processes. Wave amplitude has been found to be influenced by both wave-generating factors and water-storage reservoir dimensions; further still, the wave experiences changes in shape and length.

The fifth chapter deals with two methods to be employed for the prediction of landslide-induced dam overflowing. The first one (the simpler method) is used with wave maximum amplitude (η^m) being far greater than the freeboard (d) (i.e. height between a dam crest level and water-storage reservoir reference level), when $\eta^m < d$, the simulation of dam overflowing is to be carried out, according to professor Gvelesiani's suggestion, following the method of progressive approximation (iteration method), which makes it possible to determine all overflowing process parameters.

The sixth chapter is dedicated to the evaluation of landslide-generated wave hydrodynamic impact on the dam for a variety of design parameters values.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია

შემდეგ ნაშრომებში

1. თ. გველესიანი, თ. ყირიმლიშვილი-დავითაშვილი. გ. ბერძენაშვილი. მათემატიკური ფორმულირების საკითხი წყალქვეშ მოძრავი მეწყერის ან სელური ნაკადის ჰიდროდინამიკური ზემოქმედების განსაზღვრის დროს. “ენერგია” . თბილისი 2008. №2(46) გვ 75-77.
2. Т. Л. Гвелесиани, З. И. Цихелашвили, Т. Т. Киримлишвили-Давиташвили. **О разработке методики вероятностной оценки особой гидродинамической (волновой) нагрузки на плотину.** “Гидроинженерия”. Тбилиси. 2008. №2(6). Стр. 69-74.
3. Гвелесиани Т. Л. Цихелашвили З. И. Киримлишвили-Давиташвили Т. Т. . Чурчелаური Б.Г. Метревели Г.А. **Статистическая оценка характеризующих параметров экстремального вольнового процесса в створе плотины.** Научно-технический журнал “ Строительство” Тбилиси. 2009. №2(13). Стр. 106-112.
4. Z. Tsikhelashvili, T. Gvelesiani, T. Kirimlishvili-Davitashvili. **ON PROBABILISTIC APPROACH TO FORECAST FLOODS GENERATED BY EXTREM WAVES IN DOWNSTREAMS.** Internacional Simposium on Floods and Modern Methods of Control Measures. Dedicated to the 80” anniversary of the GWMI , 23-28 september 2009 Tbilisi, Georgia
5. თ. ყირიმლიშვილი-დავითაშვილი. კაშხალზე მეწყერით გამოწვეული მაღალი ტალღის გადაღვრის პარამეტრები. „ მშენებლობა” თბილისი 2011. №3(22) (იბეჭდება).