

საქართველო

შეზღუდული კანონისმდებლობის საზოგადოება ”ჰიდროლიაგნოსტიკა”

სამეცნიერო-ტექნიკური ანგარიში

**ს უღონის კაშხლის გარღვევით გამოწვეული ტალღის
მათემატიკური მოდელირება
(ხელშეკრულება № 2/11, 17.10.2011წ.)**



თბილისი

2011

საქართველო

შეზღუდული კასუსისმგებლობის საზოგადოება ”ჰიდროლიაგნოსტიკა”

სამეცნიერო-ტექნიკური ანგარიში

გამტკიცებ:

შპს ”ჰიდროლიაგნოსტიკა“-ის დირექტორი,
აკადემიური დოქტორი ი.ნონიევი

ს უღონის კაუსლის გარღვევით გამოწვეული ტაღლის
მათემატიკური მოღელირება
(სელშეკრულება № 2/11, 17.10.2011წ.)

თემის ხელმძღვანელი,
ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფ

თ.გველესიანი

თბილისი

2011

შემსრულებელთა სია

1. გველესიანი თ. ტ.მ.დ, პროფ.
2. ბერძენაშვილი გ. დოქტორანტი
3. ყირიმლიშვილი – დავითაშვილი თ. აკად. დოქტ.
4. ნადარაია გ. აკად. დოქტ.

შინაარსი

	გვ.
შესავალი	5
1. ექსტრემალურ პირობებში ჰიდროკვანდის ბიეფებში წყლის ტალღური პროცესების შესწავლის საინჟინრო მეთოდების მიმოხილვა	7
2. ჰიდროკვანდის ზოგადი დახასიათება	12
3. წყალსაცავის ფორსირებული დამუშავების პირობები	19
4. ხულონის კაშხლის გარღვევით გამოწვეული ტალღის ძვედა ბიეფში ტრანსფორმაციის პროცესის მათემატიკური მოდელირება..	21
4.1. ღია კალაპოტებში სითხის არასტაციონარული მოძრაობის მარჩხი წყლის თეორიული დაწვევები და დიფერენციალური ბანტოლებათა სისტემები	21
4.2. მათემატიკური მოდელირების განხორციელების პირობები	22
4.3. მათემატიკური მოდელის რიცხვითი რეალიზაციის შედეგები. . .	26
დასკვნები	27
ლიტერატურა	30
დანართები	32
დანართი 1. ტოპოგრაფიული მონაცემების ინტერპოლაციური მეთოდით დამუშავების შედეგები (მდინარის კალაპოტის ბანიგკვეთები)	33
დანართი 2. ნაკადის დახასიათებლები	35
დანართი 3. ჯამური მონაცემები (ცხრ.1-ცხრ.3).	36

შესავალი

მთისა და მთისწინა რაიონების მიწის რესურსების დაცვის, მათი პოტენციალის მაქსიმალურად გამოყენებისა და გარემოს ეკოლოგიური წონასწორობის შენარჩუნების პრობლემები უშუალოდ დაკავშირებულია ჰიდროკვანძების ნაგებობათა საიმედო ფუნქციონირების უზრუნველყოფის ამოცანებთან ექსტრემალური პირობების გათვალისწინებით. [1-5]

აღნიშნული ექსტრემალური პირობები გამოხატულებას პოულობს მთიან და მთისწინა სეისმოაქტიურ რაიონებში (რომლებიც საქართველოს მნიშვნელოვან ნაწილს მოიცავენ) ისეთი მსხვილმასშტაბიანი გეოდინამიკური პროცესების სახით, როგორცაა მეწყერები და სეისმოტექტონიკური დისლოკაციები (რომლებიც ვლინდებიან დედამიწის ზედაპირზე, როგორც ე.წ. პირველადი ნარჩენი დეფორმაციები) ამ გეოდინამიკური პროცესების შედეგად წყალსაცავში შეიძლება წარმოიქმნას მაღალი დამანგრეველი ტალღები [1-6].

როგორც ჰიდროტექნიკური მშენებლობის მრავალწლიანი პრაქტიკა გვიჩვენებს, ამ ტალღების ზემოქმედებისას კაშხალზე, კერძოდ მათ გადადინების შედეგად, შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ქვედა ბიეფში, როგორც ფართო ტერიტორიების, მათ შორის სავარგულების დატბორვას, ასევე საირიგაციო, სატრანსპორტო და სხვა სისტემების ნგრევას. ზოგჯერ ამ მოვლენებს თან სდევს ეკოლოგიური კატასტროფა დასახელებული ობიექტების მოსპობისა და ადამიანთა მსხვერპლის სახით (როგორც ეს მოხდა იტალიაში 1963 წ. ვაიონტის წყალსაცავში კატასტროფული მეწყერის ჩამოხვავების შედეგად) [7-9,19, 20].

მსგავსი კატასტროფული მოვლენები შეიძლება მოხდეს ისეთ საგანგებო სიტუაციებში (განსაკუთრებულ პირობებში), როგორცაა ომი ან ტერორისტული აქტი, როდესაც ხდება კაშხლის აფეთქება და მისი ნაწილობრივი ან მთლიანი ნგრევა, რის შედეგად კაშხლის გარღვევით გამოწვეული ტალღა ვრცელდება ქვედა ბიეფში.

ზემოთქმულიდან გამომდინარეობს, თუ რა დიდი სოციალურეკოლოგიური და ტექნიკურეკონომიკური მნიშვნელობა ენიჭება ჰიდროკვანძების, საიმედო მუშაობის უზრუნველყოფა ექსტრემალურ პირობებში და გარემოს ეკოლოგიური წონასწორობის შექმნისდაგვარად, შენარჩუნებას ან ეკოლოგიური საფრთხის შემცირებას, მეცნიერულად დასაბუთებული დონისძიებათა კომპლექსის განხორციელების საფუძველზე.[5,17,19,20]

აქვე უნდა აღინიშნოს ის მნიშვნელოვანი ფაქტი, რომ საქართველოს ჰიდროტექნიკური მშენებლობის ისტორიაში წინამდებარე პროექტი ერთერთი პირველია,

რომელიც არ სრულდება ე.წ. "დახურული", გასაიდუმლოებული თემატიკით, როგორც ეს ყოფილ საბჭოთა კავშირში წარმოებდა, ამდენად, ხდება შესაძლებელი, რომ ინჟინერთა და სპეციალისტთა ფართო წრე ღიად გაეცნოს პროექტის შედეგებს და მომავალში თუ საჭიროა, გამოიყენოს კიდევც.[14]

უნდა აღინიშნოს აგრეთვე ისიც, რომ წინამდებარე პროექტის განხორციელება წარმოებს პროექტის შემსრულებელი მეცნიერ-სპეციალისტთა ჯგუფის მიერ საქართველოში კონკრეტული ობიექტისათვის პირველად დამუშავებული კატასტროფული ნაკადის მოძრაობის გათვლის საკუთარი კომპიუტერული პროგრამის საფუძველზე, რომელიც სათანადოდ აპრობირებულია და ადაპტირებული მთიანი რეგიონის სპეცი-ფიურობის გათვალისწინებით.

წინამდებარე პროექტის მიზანს წარმოადგენს:

1. იმ საკითხების მიმოხილვა, რომლებიც შეეხება ექსტრემალურ პირობებში სამთო წყალსაცავსა და ჰიდროკვანძის ქვედა ბიეფში მაღალი ტალღების წარმოქმნის შესაძლებლობის დადგენის, აგრეთვე ტალღური პროცესების შესწავლის თანამედროვე თეორიულ მიდგომებსა და საანგარიშო მეთოდებს.

2. კაშხლის მთლიანი გარღვევით გამოწვეული ტალღის ქვედა ბიეფში გავრცელების სიჩქარეებისა და შესაძლო დატბორვის ზონებისა და შესაბამისი სიღრმეების გაანგარიშება (იგულისხმება მაქსიმალური ტალღა, რომელიც შეესაბამება ნორმალურ შეტბორვის დონეს - ნშდ).

3. წყალსაცავში წყლის დონის შესაძლებელ ფორსირებულ შემცირების ("დამუშავების") განსაზღვრა და ე.წ. "ოპტიმალური დამუშავების დონის" დადგენა საგანგებო პირობებში კაშხლის მდგრადობის შენარჩუნების მიზნით.

4. წყალსაცავში აღნიშნული ოპტიმალური დამუშავების დონის შემთხვევაში კაშხლის გარღვევით გამოწვეული ტალღის პარამეტრების განსაზღვრა, დატბორვის ზონის შემცირების ოდენობის დადგენა, ნშდ-ის შემთხვევასთან შედარებით

ბუნებრივია, რომ ზემოაღნიშნული ჰიდროდინამიკური გათვლები ჩატარებულია ჰიდროკვანძის ქვედა ბიეფის შესაბამისად დამუშავებული ტოპოგრაფიული მონაცემების (მიწის ზედაპირის ნიშნულები, განივკვეთები, ქანობები და სხვ.) საფუძველზე. ამასთან, უნდა აღინიშნოს, რომ ტოპოგრაფიული მონაცემების კომპიუტერულ პროგრამაში ჩატვირთვისათვის, დამუშავდა ამ მონაცემების სპეციალური ინტერპოლაციური ქვეპროგრამები ორგანოზომილებიანი და სამგანზომილებიანი შემთხვევებისათვის, შესაბამისად განივკვეთებისა და მთლიანი კალაპოტის წარმოსახვის მიზნით.

1. ექსტრემალურ პირობებში ჰიდროკვანძის ბიფურკაციური წყლის ტალღური პროცესების შესწავლის საინჟინრო მეთოდების მიმოხილვა

სხვადასხვა ტიპის წყალსაცავები წყლის ტალღური მოძრაობის მათემატიკური მოდელირების მიზნით გამოიყენება დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემები, რომლებიც ფუნდამენტალურ ჰიდრომექანიკურ კანონებს ასახავენ. ეს არის მოძრაობის უწყვეტონის (მასის შენახვის) და ენერჯის შენახვის (მოძრაობის რაოდენობის შენახვის) არაწრფივი განტოლებების სისტემები. პრაქტიკაში, საინჟინრო ამოცანების ამოხსნისას ჩვეულებრივ, მიმართავენ მიახლოებით თეორიებს, რომლებიც გარკვეული დაშვებებსა და გამარტივებას ეფუძნება. ქვემოთ მოკლედ შეგვხებით მათ [5], [13].

1.1. როგორც საინჟინრო პრაქტიკა აჩვენებს, სითხის ტალღურ მოძრაობასთან დაკავშირებული ამოცანების ფართო კლასის განხილვისას, სავსებით მისაღებია დაშვება იმის შესახებ, რომ $\text{rot}\vec{V}=0$ (სადაც V – წყლის სიჩქარის ვექტორია). ეს ნიშნავს იმას, რომ ამ დროს ტალღური რხევებით მოცულ სითხის არეში გრიგალური მოძრაობის მდგენელი ნულის ტოლია. ამ შემთხვევაში სითხის მოძრაობას ეწოდება პოტენციური და მისი დახასიათება შეიძლება სითხის სამგანზომილებიანი მოძრაობის შემთხვევაში გარკვეული $\varphi(x,y,z,t)$ ფუნქციის საფუძველზე, რომელსაც სიჩქარის პოტენციალი ეწოდება [5,13].

ამ შემთხვევაში უწყვეტობის განტოლება შეიძლება წარმოდგენილ იქნას მათემატიკური ფიზიკის ერთ-ერთი ძირითადი განტოლების, ლაპლასის განტოლების სახით[16].

მათემატიკური ფიზიკის აღნიშნული სასაზღვრო ამოცანის ამოხსნის (ანუ ფუნქციის განსაზღვრის) შედეგად შესაძლებელი ხდება შესაბამისი საწყისი და სასაზღვრო პირობების დაცვით, წყლით მოცულ არეში (წყალსაცავში) ყველა ჰიდროდინამიკური პარამეტრის, კერძოდ კი, ტალღის ამპლიტუდის (η) და სიჩქარის კომპონენტების (u,v,w) პოვნა. ასეთ მიდგომას ეფუძნება ე.წ. მცირე ამპლიტუდის ტალღების (მატ/SAW) თეორია.

1.2. მეორე მიახლოებითი თეორიის, მარჩხის წყლის (მწ/SW) თეორიის თანახმად, ტალღის სიმაღლე წყალსატევის სიღრმესთან შედარებით შეიძლება არ იყოს მცირე; გაითვალისწინება აგრეთვე კალაპოტის ფსკერზე მოქმედი ხახუნის ძალები და კალაპოტის ქანობი. მთავარი დაშვება ამ თეორიაში არის ის, რომ ნაკადის სიჩქარეები მისი სიღრმის (ვერტიკალური z ღერძის)

მიხედვით არ იცვლება ანუ მიიღება, რომ სიჩქარის ვერტიკალური მდგენელი ნულის ტოლია. ამგვარად, წნევის განაწილება სითხეში პირდაპირ პროპორციულია სიღრმისა და ემორჩილება ჰიდროსტატიკის კანონს [5], [15].

მიღებული მწ განტოლებები არაწრფივია და მათი ამოხსნის მიზნით საჭიროა რიცხვითი (სასრულსხვაობითი ან სასრული ელემენტების) მეთოდების გამოყენება [1]. ბუნებრივია, რომ ამ დროს შესაძლებელია კალაპოტის ფორმის გათვალისწინება, როგორც განივკვეთში, ასევე გეგმაში (თუ ეს ფორმა არ განიცდის მკვეთრ ცვლილებას).

მარჩხი წყლის თეორიის საფუძველზე შეიძლება განხილულ იქნას, მხოლოდ ერთგანზომილებიანი ან ორგანზომილებიანი (გეგმაში) წყლის მოძრაობის შემთხვევები (ნახ.1).

მარჩხი წყლის ერთგანზომილებიან უწყვეტობისა და მოძრაობის განტოლებათა სისტემას ხშირად, სენვენანის განტოლებებს უწოდებენ[15]. მათი ჩაწერა შეიძლება შემდეგნაირად

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \quad (1.1)$$

$$\frac{1}{g\omega} \left[\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (QU) \right] + \frac{\partial h}{\partial x} = i_0 - \lambda \frac{U |U|}{2gR}, \quad (1.2)$$

სადაც h - არის წყლის ნაკადის სიღრმე;

U - დინების საშუალო სიჩქარე;

i_0 - კალაპოტის ფსკერის ქანობი;

ω - განივკვეთის ფართობი;

Q - ნაკადის ხარჯი $Q = U\omega$

x - განივკვეთის კოორდინატა;

t - დრო;

λ - ჰიდრაულიკური ხახუნის კოეფიციენტი $\lambda = 2g/C^2$

R - ჰიდრაულიკური რადიუსი;

C - შეზის კოეფიციენტი (მანინგის ფორმულის თანახმად ის ტოლია $C=(1/n)R^{1/6}$

სადაც n - კალაპოტის ხორკლიანობის კოეფიციენტი).

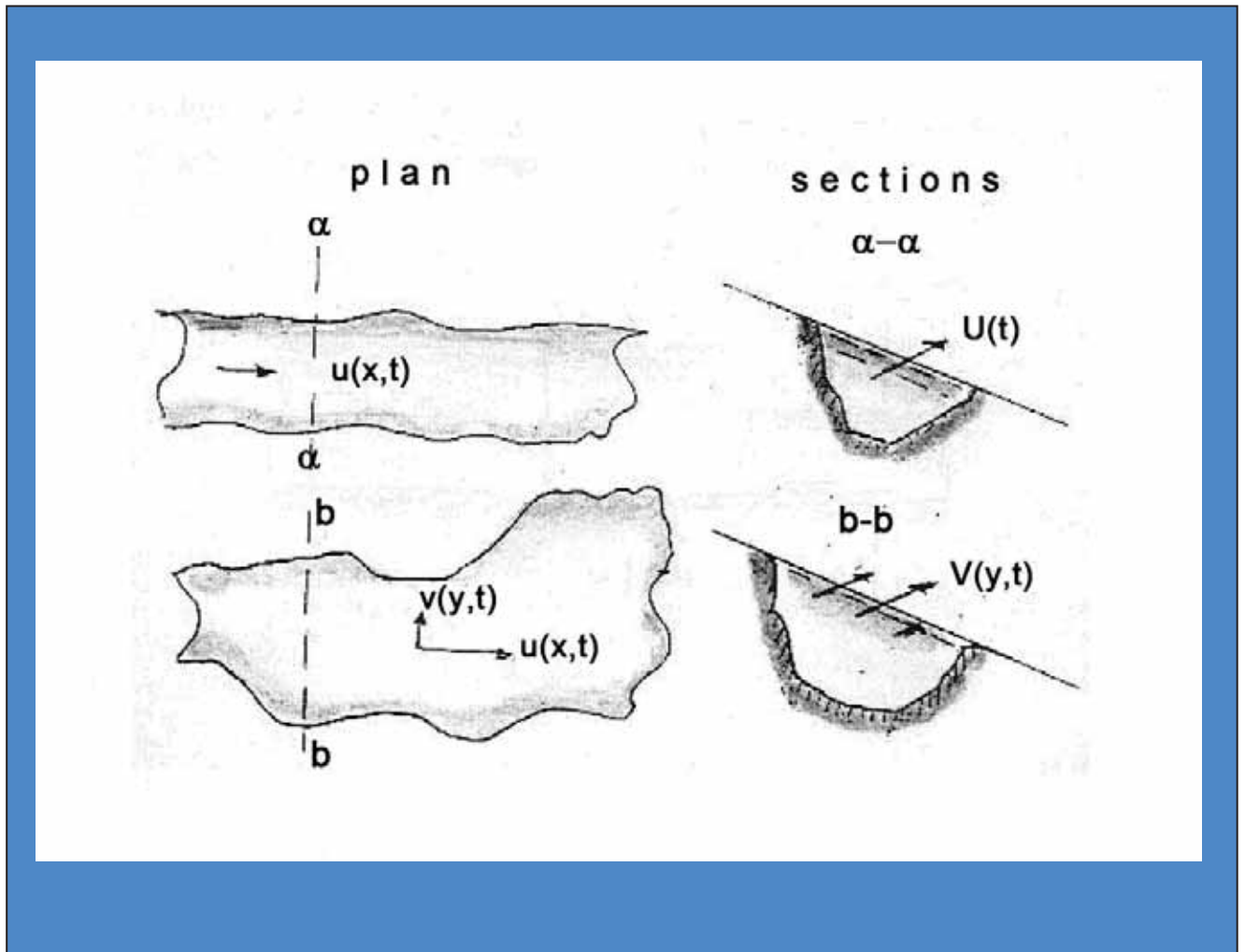


Fig.1. One- and two-dimensional unsteady flow design schemes

ნახ.1 ერთ- და ორგანზომილებიანი არასტაციონარული ნაკადის საანგარიშო სქემა

უნდა აღინიშნოს, რომ ჩვენს მიერ დადგენილ კრიტერიუმების მნიშვნელობათა ფარგლებში [5], მატ თეორიის ანალიზურ გამოსახულებათა საშუალებით მიღებული ანგარიშის შედეგები პრაქტიკულად იდენტურია შესაბამისი მწ მოდელის რიცხვითი რეალიზაციის მონაცემებთან.

1.3. მოკლედ შევეხეთ კიდევ ერთ შედარებით მარტივ თეორიულ მიდგომას. საქმე იმაშია, რომ ზოგიერთი ტიპის ტალღა, კერძოდ, ბორის ტიპის ტალღა[12], [13], რომელსაც გააჩნია პრაქტიკულად ვერტიკალური ფრონტი და ვრცელდება ფორმის

შეუცვლელად, შეიძლება აღწერილ იქნას იმპულსის (ანუ მოძრაობის რაოდენობის) შენახვის კანონის საშუალებით.

ნახ.2 გამოსახულია უმარტივესი სქემა, როდესაც ბორის ტიპის ტალღა სიმაღლით η ვრცელდება h_0 სიღრმის წყალსაცავში, რომლის ქანობია $i_0=0$. ამასთან, იგულისხმება, რომ მოქმედი ძალებია მხოლოდ ნაკვეთურის წონა და ჰიდროდინამიკური წნევა a და b კვეთებში.

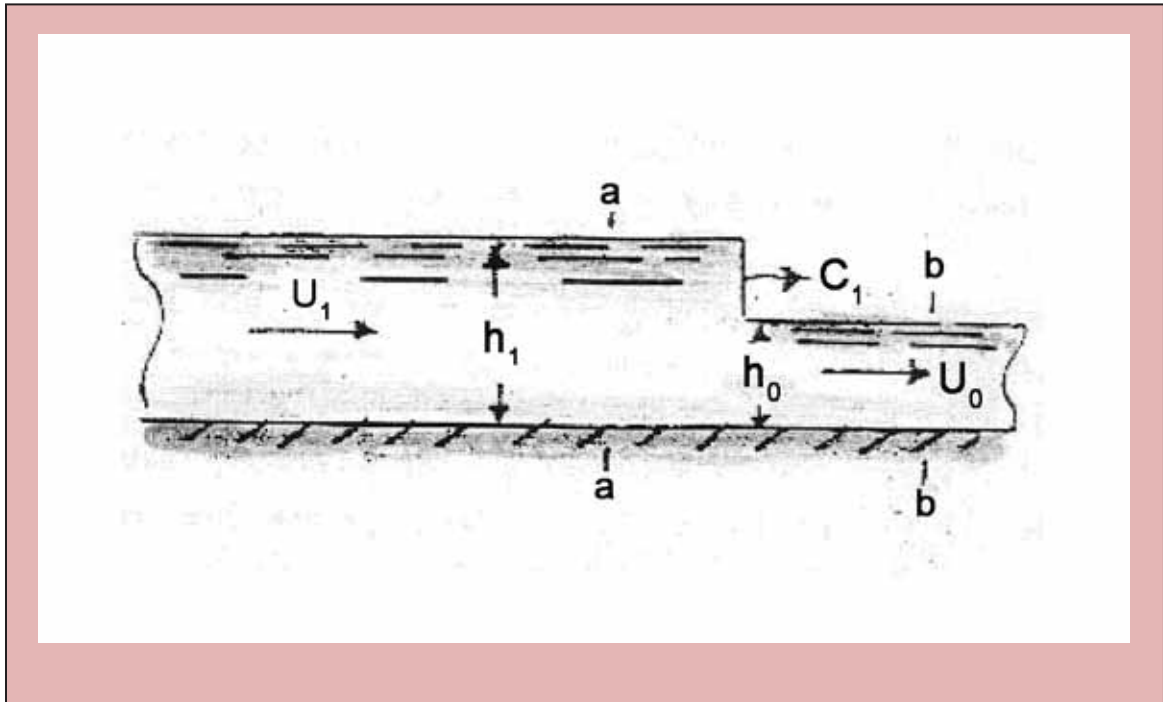


Fig. 2. Design scheme for calculating the bore type wave

ნახ.2 საანგარიშო სქემა ბორის ტიპის ტალღის შემთხვევაში

იმ შემთხვევაში (თუ აღნიშნული წყალსაცავი პრიზმატულია და გააჩნია მუდმივი სწორკუთხა განივკვეთი), მაშინ ტალღის გავრცელების სიჩქარე ტოლია

$$C_1 = \sqrt{\frac{1}{2} g \left(1 + \frac{\eta}{h_0} \right) (2h_0 + \eta)} \quad (1.3)$$

კერძოდ, ამ ფორმულის თანახმად თუ $\eta \ll h_0$, მაშინ $C_1 = \sqrt{gh_0}$, ანუ მივიღებთ ცნობილ ლაგრანჟის ფორმულას, რომლითაც განისაზღვრება გრძელი ტალღების გავრცელების სიჩქარე [13].

უნდა აღინიშნოს, რომ სამთო წყალსაცავებში ექსტრემალურ პირობებში (მიწისძვრები, მეწყერები და სხვ.) გენერირებული ტალღების შესწავლა დაიწყო პირველად ყოფილ საბჭოთა კავშირში 70-იანი წლებში საქართველოს ენერგეტიკისა და ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ინსტიტუტში. ამ ინსტიტუტში ეს კვლევები შემდეგშიც გაგრძელდა, როგორც თეორიულად, ძირითადად, მატ თეორიის გამოყენებით (თემატიკის ხელმძღვანელი თ.გველესიანი), აგრეთვე ექსპერიმენტალურად ინსტიტუტის ჰიდრაულიკურ ლაბორატორიაში (თემატიკის ხელმძღვანელი გ.მამრადე). გამოქვეყნებული იყო ბევრი ნაშრომი, მათ შორის მონოგრაფიები [5,19,20]; შესრულებული იყო ათამდე ტექნიკური ანგარიში (Reports) ყოფილ სსრკ-ს რესპუბლიკებში, მაღალი, მათ შორის უნიკალური კაშხლების და პროექტებისა და ექსპლუატაციის სტადიებზე. კვლევათა შედეგები გამოყენებული იყო აგრეთვე, სახელმწიფო სამშენებლო ნორმატივებში, მათ შორის "სნიპ"-ებში [1-4].

1983-85 წლებში ამავე ინსტიტუტში ჩატარდა, როგორც კონკრეტული ჰიდროკვანძის კაშხლის დარღვევით წარმოქმნილი ტალღის გათვლა (მოსკოვის ჰიდროპროექტში დამუშავებული ჰიდრაულიკური ერთგანზომილებიანი მოდელის საფუძველზე), აგრეთვე ამ ტალღის ექსპერიმენტალური შესწავლა პირველად საბჭოთა კავშირში მსხვილ მასშტაბიან მოდელზე ნატურულ პირობებში (მდ.არაგვის ნოლაკალაპოტის ერთკილომეტრიან უბანზე) [11]. (ხელმძღ. გ.გვაზავა).

ბოლო წლებში თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში გამოყენებით მათემატიკის კათედრაზე დამუშავებულ იქნა მთელი რიგი საანგარიშო ალგორითმი მწ თეორიის საფუძველზე და შესწავლილ იქნა გათვლის პროცესთან დაკავშირებული მათემატიკური ასპექტები (ხელმძღ. ჰ.მელაძე).[5]

ამგვარად, მთიან რეგიონებში განლაგებულ ჰიდროკვანძების ბიეფებში ექსტრემალურ პირობებში გამოწვეული მაღალი ტალღებისა და მათი გარემოზე საშიში ზემოქმედების მეცნიერული შესწავლის გამოცდილება საქართველოში საკმაოდ დიდია და მოიცავს რამდენიმე ათეულ წელს.

2. ჰიდროკვანძის ზოგადი დახასიათება

პროექტით გათვალისწინებული ხუდონის კაშხალი განლაგებული იქნება სვანეთში (დასავლეთ საქართველოში) მდინარე ენგურზე (რომელიც სიგრძით შეადგენს 213კმ) სოფელ ხაიშის ახლოს. ეს უკანასკნელი დაშორებულია თბილისს 405კმ-ით, ხოლო უახლოეს რკინიგზის ხაზს ზუგდიდში – 70კმ-ით (ნახ.3) ხუდონის ჰიდროკვანძის წყალსაცავი არის სეზონური რეგულირების, ხოლო ჰიდროკვანძის დანიშნულებაა – ელექტრული ენერჯის გამომუშავება (ნახ.4)

ჰიდროკვანძის შემადგენლობაშია შემდეგი მთავარი ჰიდროტექნიკური ნაგებობები:

1. ბეტონის კაშხალი (იხ. ქვემოთ)
2. წყალმიმღები. გათვალისწინებულია სამი წყალმიმღები გვირაბის აგება. თითოეული მათგანის დიამეტრია 6მ, ხოლო სიგრძე შეადგენს 57.5მ. წყალმიმღები ფარების ზომებია 5მ×6.20მ.
3. მიმყვანი გვირაბი - წარმოდგენილია სამი გვირაბით, თითოეულის დიამეტრია 6მ, ხოლო სიგრძეები 240მ, 260მ და 280მ ტოლია
4. სადაწნეო მილსადენები – განლაგებული იქნება 3 ხაზი ფოლადის მილსადენებისა. დიამეტრით თითოეული 6მ. მათი მეშვეობით განხორციელებული იქნება მიმყვანი გვირაბების დაკავშირება ელექტრო-სადგურთან. ამ მილების სიგრძე შეადგენს 156მ.
5. სარინი გვირაბი – შედგება სამი ხაზი – გვირაბისაგან, რომელთა დიამეტრია 8მ. სიგრძე კი 145მ ტოლია.
6. მარცხენა სანაპიროსთან მდებარე წყალსაგდები ნაგებობა
7. კაშხლის თხემის (ზედაპირული) წყალსაგდები
8. 2 ფსკერული წყალგასაშვები
9. შთანთქმელი ჭა

ხუდონის კაშხალი წარმოადგენს ბეტონის თაღოვან კაშხალს, მისი პარამეტრებია:

- კაშხლის მაქსიმალური სიმაღლეა 194 მ
- მისი სიგრძე თხემის გასწვრივ არის 534.0მ
- თხემის ნიშნულია 704.0მ
- თხემის სიგანეა 8.1მ
- კაშხლის ძირის სიგანეა 34.2მ

ხუდონის წყალსაცავის ძირითადი პარამეტრებია:

- ნორმალური შეტბორვის დონის (ნშდ) ნიშნული - 700.0
- მკვდარი მოცულობის დონის (მშდ) ნიშნული –630.0

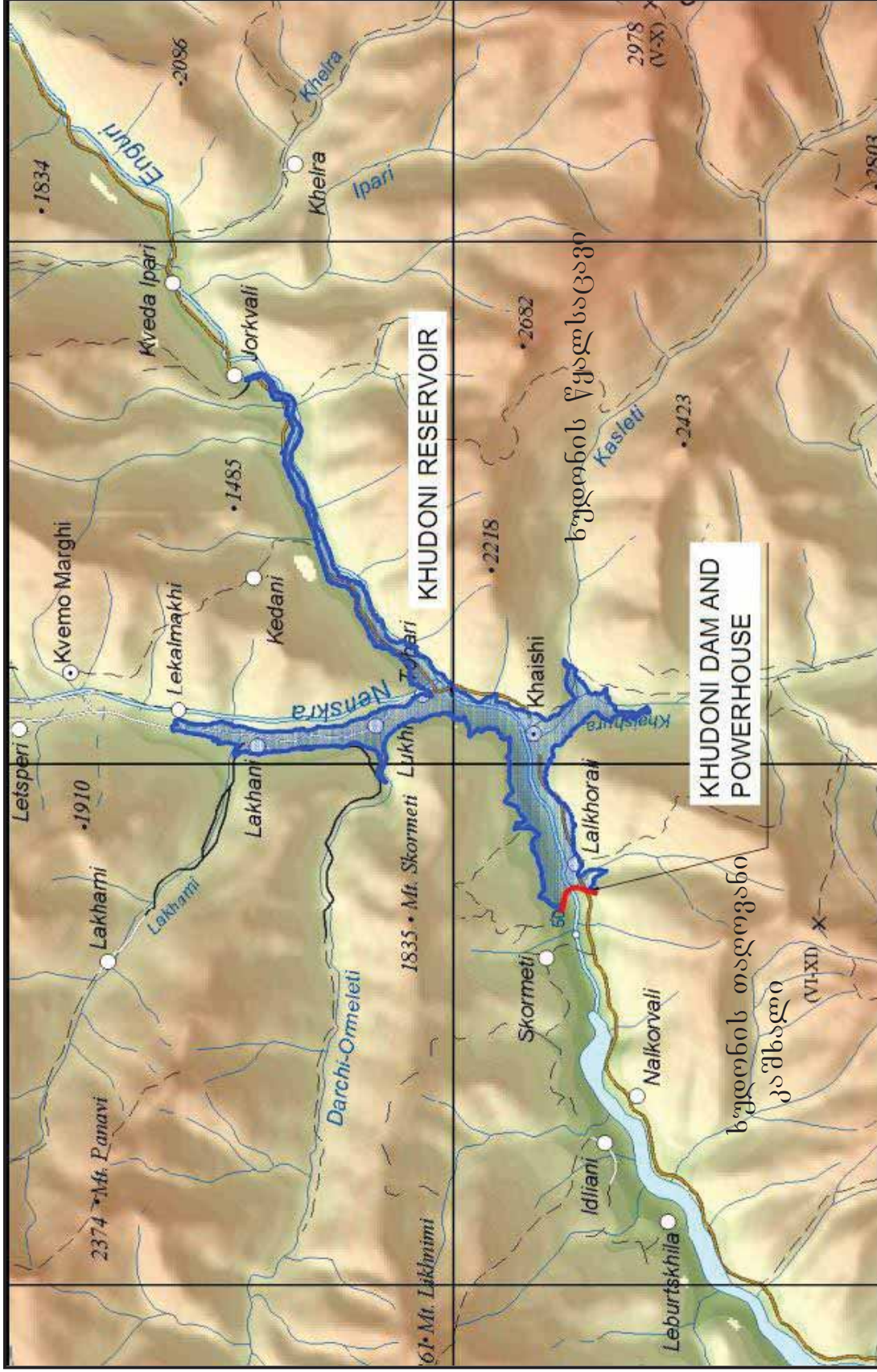


Fig.3 Plan of the Khudoni hydraulic project at the Enguri river
 ნახ.3 მდ. ენგურზე ხუდონის ჰიდროგენების გეგმა

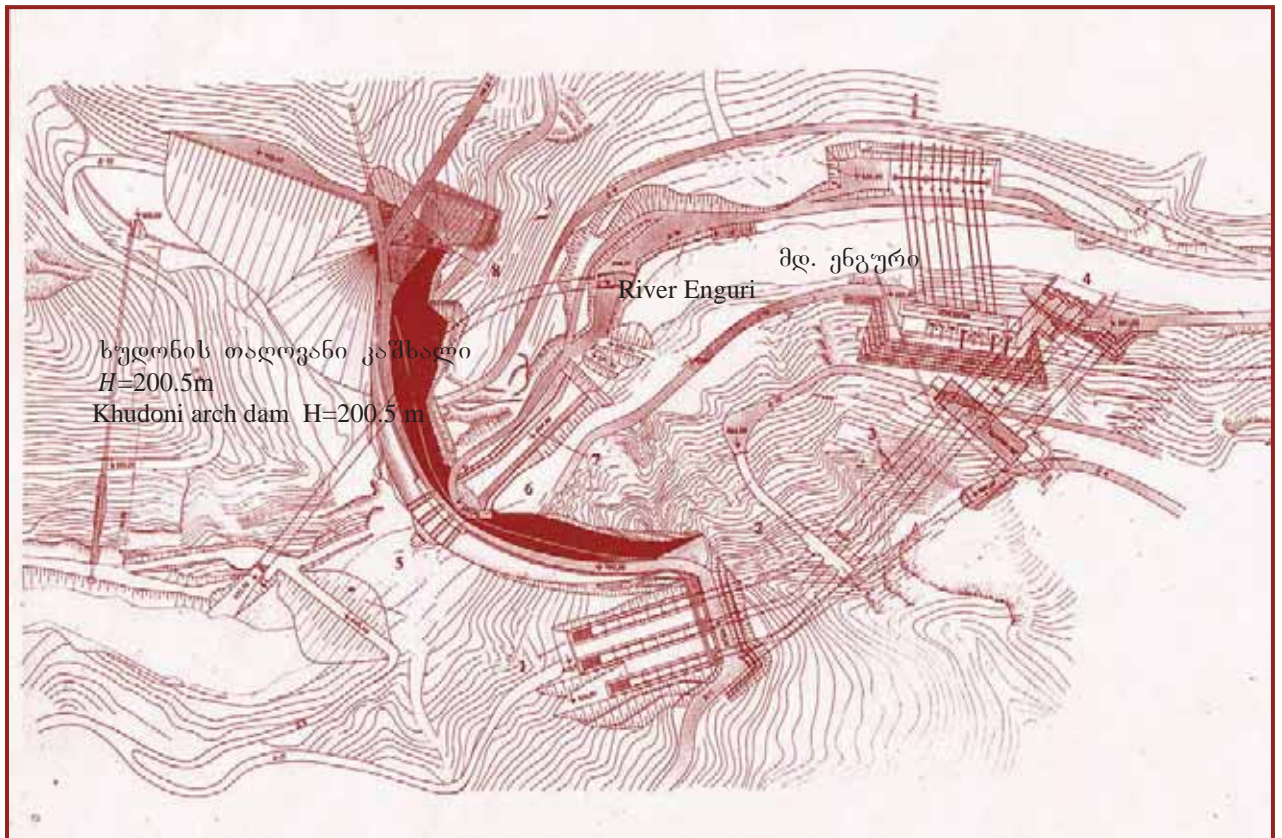


Fig. 4 Plan of Khudoni hydraulic project. The main hydraulic structures: 1- intakes 2- head race tunnels 3- pressure shafts 4- tail race tunnels 5- bottom outlets 6-crest (surface) spillway 7- absorption well (sump) 8-left bank spillway

ნახ.4 სუღონის ჰიდროკვანძის გეგმა. ძირითადი ჰიდროტექნიკური ნაგებობები: 1- წყალმიმღები 2- მიმყვანი გვირაბები 3- სადაწნეო მილსადენები 4- სარინი გვირაბები 5- ფსკერული წყალგასაშვები 6- ზედა-პირული წყალსაგდები 7- შთამნთქმელი ჭა 8- მარცხენა ნაპირის წყალსაგდები.

- წყალსაცავის მოცულობა – 364.5 მლნ.მ³ (ნშდ-ის დროს)
- სასარგებლო მოცულობა 223 მლნ.მ³
- მკვდარი მოცულობა 141.5 მლნ.მ³
- წყალსაცავის სიღრმე 14.2 კმ
- წყალსაცავის ზედაპირის სარკის ფართობი (Ω) 5.2კმ² (ნშდ-ის დროს)

ენგურის კაშხლისა და წყალსაცავის პარამეტრებია:

- ბეტონის თაღოვანი კაშხალი მაქსიმალური სიმაღლით 271.5 მ
- ნორმალური შეტბორვის დონის ნიშნული წყალსაცავში – 510.0
- წყალსაცავის მთლიანი მოცულობა – 1.100100 მლრ.მ³
- სასარგებლო მოცულობა – 676.0 მლნ.მ³
- წყალსაცავის ფსკერის ნიშნული კაშხალთან – 285 მ
- მაქსიმალური სიღრმე 225მ
- წყალსაცავის სიგანე იცვლება 100...200მ-დან 1500...1700მ-მდე (კაშხლის ზონაში).

ხუდონის ჰიდროკვანძის წყალსაცავისათვის ძირითადი მახასიათებელი დამოკიდებულებები წყალსაცავის მოცულობასა და ნიშნულს, აგრეთვე წყალსაცავის ზედაპირის (სარკის) ფართობსა და ნიშნულს შორის წარმოდგენილია ნახ.5-ზე.

აღნიშნული გრაფიკული მონაცემების დამუშავების შედეგად ჩვენ მივიღეთ მიახლოებითი დამოკიდებულებები წყალსაცავის სიღრმეს (h) და მოცულობას (w) შორის შემდეგი სახით

$$W = (0.05h)^{2.68} \tag{2.1}$$

$$h = 19,98 \cdot W^{0.373} \tag{2.2}$$

სადაც w გამოსახულია მლნ.მ³-ში

აგრეთვე , აღნიშნული მონაცემების საშუალებით მიღებულ იქნა შემდეგი ფორმულები:

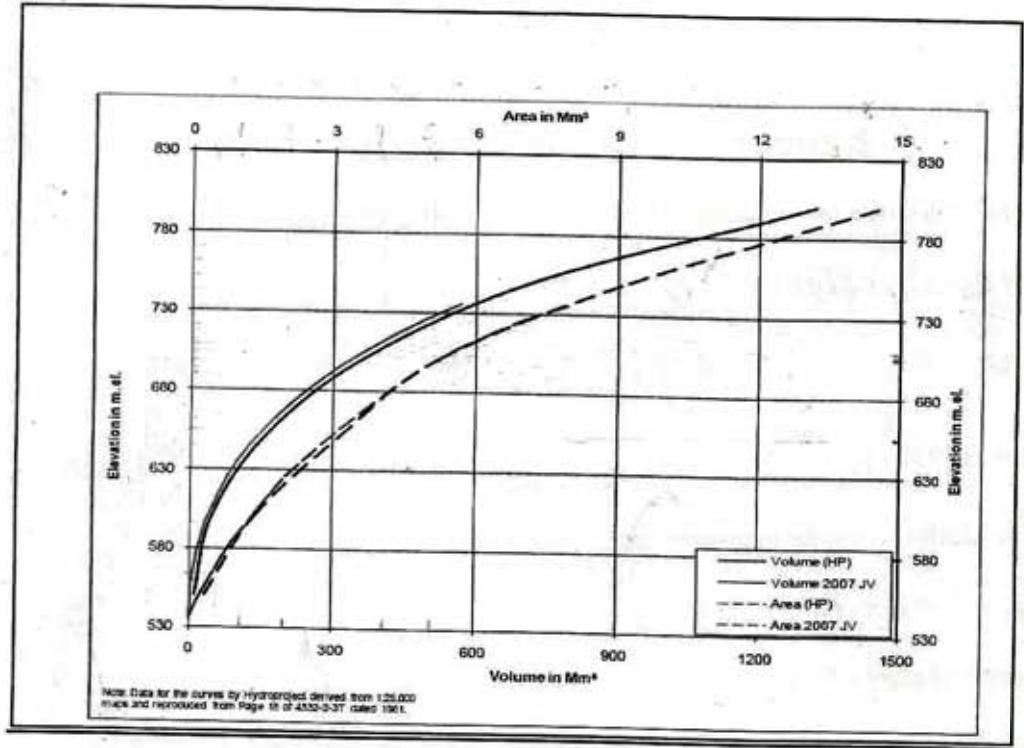


Fig.5 Reservoir volume and water surface curves for the Khudoni dam
ნახ.5 წყალსაცავის მოცულობისა და სარკის ზედაპირის მრუდები

$$\Omega = 5.2 - 0.043(700 - \nabla H) \quad \text{როცა } 630 \leq \nabla H \leq 700 \quad (2.3)$$

აწ

$$\Omega = 5.2 - 0.43(180 - h) \quad \text{როცა } 110 \leq h \leq 180 \quad (2.4)$$

$$\Omega = 2.2 - 0.026(630 - \nabla H) \quad \text{როცა } 550 \leq \nabla H \leq 630$$

აწ

$$\Omega = 2.2 - 0.026(110 - h) \quad \text{როცა } 30 \leq h \leq 110 \quad (2.6)$$

მაგალითად, როდესაც $\nabla H = 700$ (ნორმალური შეტბორვის დონე), წყალსაცავის მაქსიმალური მოცულობა შეადგენს $W_{\max} = 364.5$ მლნ.მ³ და (2.2) ფორმულის საშუალებით ვიღებთ $h = 180.3$ მ. ამავე შემთხვევაში, ფორმულა (2.3) გვაძლევს $\Omega = 5.2$ კმ²

ქვემოთ წარმოდგენილია ცხრილი 1, სადაც მოყვანილია (2.1) და (2.2) ფორმულების საშუალებით მიღებული წყალსაცავის ისეთი ელემენტების მნიშვნელობები, როგორცაა

1. h_{dec} წყალსაცავის დამუშავების სიღრმე, რომელიც განისაზღვრება ასე

$$d_{dec} = (\nabla H)_{max} - \nabla H$$

სადაც $(\nabla H)_{max} = 700.0$ არის ნორმალური შეტბორვის დონის ნიშნული

∇H - წყალსაცავის დონის ნიშნული

2. h - წყალსაცავის სიღრმე კაშხალთან, რომელიც ტოლია

$$h = h_{max} - h_{dec},$$

სადაც h_{max} არის წყალსაცავის მაქსიმალური სიღრმე კაშხალთან ($h_{max} \approx 180$ მ)

3. W/W_{max} - წყალსაცავის დამუშავების ხარისხის ფარდობითი დამახასიათებელი;

W - არის წყალსაცავის მოცულობა წყლის დონის სხვადასხვა ნიშნულისათვის,

$W_{max} = 364.5$ მლნ.მ³- წყალსაცავის მაქსიმალური მოცულობა

წყალსაცავის ელემენტები

ცხრილი 1

#	∇H	h_{dec} 700- ∇H (m)	h 180- h_{dec} (m)	Ω (km ²)	W (Mm ³)	W/W_{max} %
1	635	65	115	2.4	108.6	30.1
2	640	60	120	2.6	121.7	33.7
3	645	55	125	2.8	141.5	39.2
4	650	50	130	3.05	150.9	41.8
5	655	45	135	3.3	166.9	46.2

6	660	40	140	3.48	184.0	50.9
7	665	35	145	3.7	202.2	56.0
8	670	30	150	3.91	221.4	61.3
9	675	25	155	4.12	241.7	67.0
10	680	20	160	4.34	263.2	72.9
11	690	10	170	4.77	309.6	85.8
12	700	0	180	5.0	360.9	100.0

3. წყალსაცავის ფორსირებული დამუშავების პირობები

ხუდონის წყალსაცავი განლაგებულია მთიან რაიონში, ვიწრო ხეობაში. მაღალ ნიშნულებისათვის ხეობის განივკვეთის ფორმას ახასიათებს გაგანიერება, რის გამო ხდება წყალსაცავის მოცულობის მნიშვნელოვანი გაზრდა. წყალსაცავის დამუშავებისას წყლის შედარებით დიდი მოცულობების ჩაგდების შემთხვევაშიც, დაწნევა კაშხალზე იცვლება უმნიშვნელოდ მოცულობებსა და სიღრმეებს შორის აღნიშნული (საერთოდ, სამთო წყალსაცავების დამახასიათებელი) სპეციფიკური დამოკიდებულების გამო.

ხუდონი წყალსაცავის შემთხვევისათვის ნახ.6-ზე წარმოდგენილია h და W/W_{max} სიდიდეებს შორის არსებული გრაფიკული დამოკიდებულება აგებული ცხრ.1 მოყვანილი მონაცემების მიხედვით (სადაც h – სიღრმეებია კაშხალთან, ხოლო W/W_{max} – წყალსაცავის შევსების ხარისხი წყალსაცავის დამუშავების პერიოდში).

როგორც ნახ. 6-დან ჩანს, ფუნქცია $h_d=f(W/W_{max})$ შეიძლება დაყოფილ იქნეს მიახლოებით, სამ a , b და C უბნად და შესაბამის არეებად. არე C შემთხვევაში, აღნიშნული დამოკიდებულება შეიძლება წარმოდგენილი იქნას შემდეგი წრფივი ფუნქციის სახით

$$h=(h)_0+tg\alpha_3(W/W_{max})$$

სადაც α_3 – ამ წრფის დახრის კუთხეა ჰორიზონტთან.

ანალოგიური დამოკიდებულებები გვექნება b და a უბნების შემთხვევაშიც (α_2 და α_1 – შესაბამისი დახრის კუთხეებია).

ამასთან, სრულდება შემდეგი პირობა: $\alpha_3 < \alpha_2 < \alpha_1$.

ეს ნიშნავს იმას, რომ მცირე α_3 კუთხის შემთხვევაში, W/W_{max} სიდიდის მნიშვნელოვანი შემცირებისას (100-დან 50%-მდე), დაწნევა კაშხალზე (ანუ h სიღრმე) შედარებით მცირედ იცვლება. ამის საპირისპიროდ, შედარებით დიდი კუთხის - α_1 შემთხვევაში, W/W_{max} სიდიდის მცირე ცვლილება იწვევს h სიღრმეების მნიშვნელოვან შემცირებას.

მაშასადამე, აღნიშნულ C არისათვის, რომელიც α_3 კუთხით ხასიათდება, წყალსაცავის დამუშავების დონისძიება კაშხლის ნგრევით გამოწვეული დატბორვის ზონის შემცირების მიზნით, არაეფექტურია, ვინაიდან ამ შემთხვევაში ხდება წყლის გადაგდება დიდი რაოდენობით, ხოლო დაწნევის

სიდიდე h (რომელიც განაპირობებს ტალღის საწყის მაქსიმალურ სიმაღლეს და შესაბამისად დატბორვის ინტენსივობას) მცირდება უმნიშვნელოდ.

a არისთვის, რომელიც α_1 კუთხით ხასიათდება, წყალსაცავის დამუშავების პროცედურა აზრს კარგავს, ვინაიდან წყალი წყალსაცავში პრაქტიკულად აღარ რჩება.

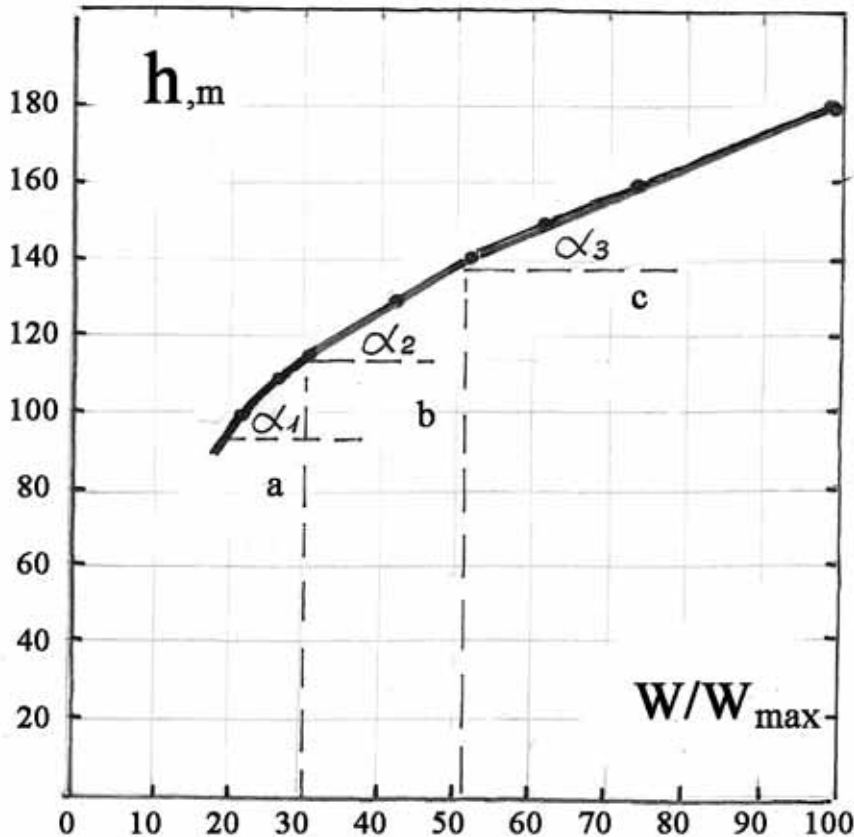


Fig.6 The relationship between the reservoir depth and its relative volume (related to the reservoir optimal drawdown issue)

ნახ.6 დამოკიდებულება წყალსაცავის სიღრმესა და მისი ფარდობით მოცულობას შორის (წყალსაცავის ოპტიმალური დამუშავების საკითხთან დაკავშირებით)

აქედან გამომდინარე, წყალსაცავის დამუშავების "ოპტიმალურ არედ", შეიძლება ჩავთვალოთ b არე. ამ შემთხვევაში, წყალსაცავის შედარებით ნაკლები ინტენსივობით დამუშავებისას (შევსების ხარისხი W/W_{max} იცვლება 50-30%-ის ფარგლებში), დაწნევის სიდიდე კაშხალზე მცირდება უფრო მეტად, ვიდრე C არის შემთხვევაში. ამგვარად, შეიძლება უზრუნველყოფილ იქნეს, როგორც დატბორვის არის შემცირება ($W/W_{max}=100\%$ -იანი შევსების შემთხვევებთან

შედარებით), ასევე კაშხლის მდგრადობის უზრუნველყოფის მიზნით წყალსაცავში წყლის საჭირო მინიმალური მარაგის შენარჩუნება.

აღნიშნული ფაქტორის გათვალისწინებით ხუდონის კაშხლის ნგრევის შემთხვევაში, დატბორვის ზონის შემცირებისა და რეალური ეფექტის უზრუნველყოფის მიზნით შესაძლებლად მივიჩნევთ, რომ საგანგებო პირობებში წყალსაცავის დამუშავება მოხდეს დაახლოებით $\nabla H=635.0$ ნიშნულამდე. ამ შემთხვევაში წყლის მოცულობა წყალსაცავში შეადგენს $W=108.6$ მლნ.მ³, ხოლო დამუშავების სიღრმეა $h_{dec}=65.0$ მ (ცხრ.1). ამასთან მკვდარი მოცულობის დიდი ნაწილი შენარჩუნებული იქნება კაშხლის მდგრადობის უზრუნველსაყოფად.

4. ხუდონის კაშხლის ბარჯვევით გამოწვეული ტალღის ძვედა ბიეფში ტრანსფორმაციის პროცესის მათემატიკური მოდელირება

4.1. ღია კალაპოტებში სითხის არასტაციონარული მოძრაობის მარჩხი წყლის თეორიული დაშვებები და დიფერენციალური განტოლებათა სისტემები

ძირითადი ცნებები და წინამძღვრები, რომლებიც გამოიყენება მდინარეების მათემატიკური მოდელირებისას გამოხატულებას პოულობენ ღია კალაპოტებში სითხის არასტაციონარული დინების განტოლებათა სახით. ეს განტოლებები წარმოადგენენ რთული ჰიდროდინამიკური პროცესების გამარტივებულ მოდელებს და გამოსახავენ ამ პროცესებზე ყველაზე უფრო მნიშვნელოვანი ფაქტორების გავლენას, ამასთან უგულებელყოფენ მეორეხარისხის ფაქტორების მოქმედებას.

ზემოთ აღნიშნული (პ.1) მწ თეორიის საფუძველზე არასტაციონარული დინების განტოლებების მიღებისას გამოიყენება შემდეგი დაშვებები:

1. დინება ერთგანზომილებიანი ე.ი. სიჩქარე განივკვეთში მუდმივია (იხ.პ.1) და წყლის დონე განივი მიმართულებით ჰორიზონტალურია;
2. დენის წირების სიმრუდე მცირეა ანუ დინება მდოვრედ ცვლადია და ვერტიკალური აჩქარებები უმნიშვნელოა, შესაბამისად, წნევები ჰიდროსტატიკურია

3. კალაპოტის საზღვრებზე ხახუნის, აგრეთვე ტურბულენტობის გავლენა შეიძლება გათვალისწინებულ იქნეს ანალოგიურად იმისა, როგორც ეს წარმოებს დინების სტაციონარული (დამყარებული) რეჟიმის შემთხვევაში;

4. კალაპოტის ფსკერის საშუალო ქანობი შედარებით მცირეა და შესაბამისად, ფსკერისა და ჰორიზონტალს შორის არსებული კუთხის (α) კოსინუსი შეიძლება მიღებული იქნეს ერთის ტოლია. აღვნიშნოთ, რომ სხვადასხვა ტიპის დინების შესწავლისას შეიძლება განხილულ იქნეს ისეთი კალაპოტები, რომელთა განივკვეთებს ახასიათებს ნებისმიერი და ცვლადი ფორმა დინების გასწვრივი დერძის მიმართ, მაგრამ განივკვეთის ასეთი ცვლილება არ უნდა იყოს მკვეთრი, რაც განპირობებულია ზემოაღნიშნული დენის წირების მცირე სიმრუდის მოთხოვნით.

4.2. მათემატიკური მოდელირების ბანსორცხელების პირობები

დიფერენციალური ფორმით წარმოდგენილ უწყვეტობის (მასის შენახვის) და მოძრაობის რაოდენობის შენახვის განტოლებათა სისტემას, ის შეეძლება მიღებულ იქნეს როგორც (1.1) და (1.2) სახით, ასევე $u(x,t)$ და $h(x,t)$ ცვლადების მიმართ ჩაწერილ შემდეგი განტოლებების საშუალებით[15]

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\omega}{b} \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{u}{b} \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \right)_{h=\text{const}} = 0; \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g(i_f - i_0) = 0. \end{cases} \quad (5.1)$$

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა (1.1-1.2) (ან (5.1)), წარმოადგენს მათემატიკურ მოდელს, რომელიც აღწერს ღია კალაპოტებში წყლის არასტაციონარულ დინებას.

წინამდებარე პროექტში აღნიშნული სისტემის ამოხსნის დროს ეს განტოლებები განიხილება შესაბამის საწყის და სასაზღვრო პირობებთან ერთობლივად. ეს პირობები შემდეგნაირადაა წარმოდგენილი:

I საწყისი პირობის დროს, როდესაც $t=0$, მოცემულია, რომ

$h=h_1(x)$, როდესაც x იცვლება $0 \leq X \leq l_0$ შუალედში;

II სასაზღვრო პირობის დროს, როდესაც $x=0$, მოცემულია, რომ $q=q(t)$

სადაც l_0 – არის ზონკარის წყალსაცავის სიგრძე (ანუ მანძილი $x=0$ კვეთიდან $x=l_0$ კვეთამდე);

$h_1(x)$ – სიღრმეები ხუდონი წყალსაცავის ოთხ კვეთში (1-1, 2-2, 3-3, 4-4) (სადაც 4-4 კაშხლის კვეთია);

$q(t)$ – წყალსაცავის საწყის კვეთში ($x=0$) ანუ მდინარის შესართავის კვეთში, მდინარე ენგურის ხარჯი. საანგარიშო ხარჯია $q=2500$ მ³/წმ (რაც შეესაბამება 0.001% უზრუნველყოფის მაქსიმალურ ხარჯს)

წყალსაცავის მოცულობა მიახლოებით შეიძლება განისაზღვროს ზემოთ მიღებული $h = f_1(W)$ და $h = f_2(Q)$ დამოკიდებულებების საფუძველზე.

რაც შეეხება ამ პროექტს, წყალსაცავის მოცულობის გაანგარიშება თითოეულ სიღრმისათვის (წყლის დონისათვის) წარმოებდა სპეციალურად დამუშავებული კომპიუტერული ქვეპროგრამის საშუალებით, რაც უზრუნველყოფდა წყალსაცავის მოცულობის განსაზღვრის სიზუსტეს.

კაშხლის ნგრევით წარმოქმნილი ტალღის ქვედა ბიეფში გავრცელების პროცესის მათემატიკური მოდელირების მიზნით გარდა წყალსაცავის მოცულობისა, საჭიროა გვქონდეს აგრეთვე, მდ. ენგურის კალაპოტის განივკვეთები ტალღის გავრცელების მთელ ტრასაზე.

წინამდებარე ნაშრომში მიღებულ ტალღის გავრცელების კომპიუტერულ პროგრამაში არსებული ტოპოგრაფიული მონაცემების ჩატვირთვის (გამოყენების) მიზნით, შედგენილ იქნა ამ მონაცემების ინტერპოლაციური დამუშავების სპეციალური ქვე-პროგრამები.

ეს ქვეპროგრამები საშუალებას იძლევა თითოეული განივკვეთისათვის არსებული მონაცემების კომპიუტერულ-ინტერპოლაციური წესით დამუშავების შედეგად და ამ გზით მიღებული რამდენიმე ასეულიდან რამდენიმე ათასეული წერტილის მონაცემების ბაზაზე, გრაფიკულად გამოვსახოთ მდინარის კალაპოტის თითოეული განივკვეთი იმ ფორმით, რომელიც მაქსიმალურად უახლოვდება ბუნებრივს და თითქმის მისი იდენტური ხდება. შესაბამისი კომპიუტერული დამუშავების შედეგად განხორციელებულია აგრეთვე, სივრცეში ამ განივკვეთების დაკავშირების პროცედურა ანუ მდინარის მთლიანი კალაპოტის გრაფიკული აპროქსიმაცია ტალღის გავრცელების მთელ სიგრძეზე (ნახ.7). ტოპოგრაფიული მონაცემების აღნიშნული კომპიუტერული დამუშავების ახალი მეთოდის გამოყენება ემსახურება, განსახილველი პროცესის

მათემატიკური მოდელირების, ძველ მეთოდთან შედარებით უფრო მაღალი სიზუსტით განხორციელებას.

პროექტში გამოყენებული სასრულ სხვაობითი მეთოდის გამოყენებისას მიღებული საანგარიშო სქემის შესახებ მოკლედ აღვნიშნოთ შემდეგი. როგორც ცნობილია [15], „ცხადი სხვაობითი სქემების“ გამოყენებისას ჰიდრაულიკური ცვლილების განსაზღვრა რომელიმე დროის დონეზე, საერთოდ წარმოებს იმ მონაცემების საფუძველზე, რომლებიც ცნობილია დროის წინა დონეზე (წინა წერტილებში). ლაქსივენდროფის სქემის თანახმად, გამოთვლები წარმოებს ე.წ. ორ-ბიჯიანი სქემით [15]. ამ შემთხვევაში პირველ საანგარიშო ბიჯზე წარმოებს საძიებელი ფუნქციის F_j^n -ის შუალედური მნიშვნელობის განსაზღვრა $j+(1/2)$ და $n+(1/2)$ წერტილებში, ხოლო მეორე ბიჯზე ფუნქციის ამ შუალედური მნიშვნელობის საშუალებით F_j^{n+1} ფუნქციის პონა დროის ახალი $(n+1)$ დონისათვის. ზემოაღნიშნულის თანახმად, გათვლების პრო-ცედურა ასე შეიძლება წარმოვიდგინოთ

$$F_j^n \xrightarrow{\text{I ბიჯი } (\Delta t/2)} F_{j+\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} \xrightarrow{\text{II ბიჯი } (\Delta t/2)} F_j^{n+1}$$

წინამდებარე პროექტში განხორციელდა აღნიშნული ლაქსივენდროფის საანგარიშო სქემის მოდიფიკაცია, სახელდობრ ჩვენ ვსარგებლობდით შემდეგი სქემით

$$F_j^n \xrightarrow{\text{I ბიჯი } (\Delta t)} F_{j+\frac{1}{2}}^{n+1} \xrightarrow{\text{II ბიჯი } (\Delta t)} F_j^{n+2}$$

ამ შემთხვევაში მიღებული F_j^{n+2} ფუნქციის საფუძველზე ხდებოდა საანგარიშება F_j^{n+1} ფუნქციის, რომელიც შეესაბამებოდა დროის წინა დონეს, შემდეგი გამოსახულების საშუალებით

$$F_j^{n+1} = \frac{F_j^n + F_j^{n+2}}{2}$$

წინამდებარე პროექტის შესრულებისას დამკვეთთან შეთანხმებით მიღებულ იქნა საგანგებო სიტუაციაში ხუდონის ბეტონის თაღოვანი კაშხლის თანდათანობითი და ნაწილობრივი ნგრევის (იხ.ნახ.8) შემდეგი სქემა:

საწყის მომენტში წყალსაცავის 100%-ანი შევსებისას (ანუ ნშპ დროს) კაშხლის შუა ნაწილში მთელ მის სიმაღლეზე წარმოიქმნება გარღვევა, რომლის სიგანე შეადგენს L_d კაშხლის თხემის სიგრძის დაახლოებით 20%; 7.5 წუთის შემდეგ

კაშხლის გარღვევის სიგანე იზრდება $0.3l_d$, ხოლო მომდევნო 7.5 წუთში აღწევს $0.4l_d$ შემდეგ წყალსაცავის დაცლის მთელი ხნის განმავლობაში გარღვევის სიგანე მუდმივი რჩება.

50% და 30% შევსების დროს მიღებული საანგარიშო სქემის მიხედვით გარღვევის სიგანე დასაწყისიდანვე აღწევდა $0.4l_d$ და შემდეგ ცვლილებას არ განიცდიდა.



ნახ. 7. კალაპოტის აპროქსიმაცია ორ კვეთს შორის კომპიუტერული ინტერპოლაციის მეთოდით ალგეთის ჰიდროკვანძის მაგალითზე [14]

Fig. 7. Approximation the river channel between two cross-section used the computational interpolation method for Algeti hydro-works [14]

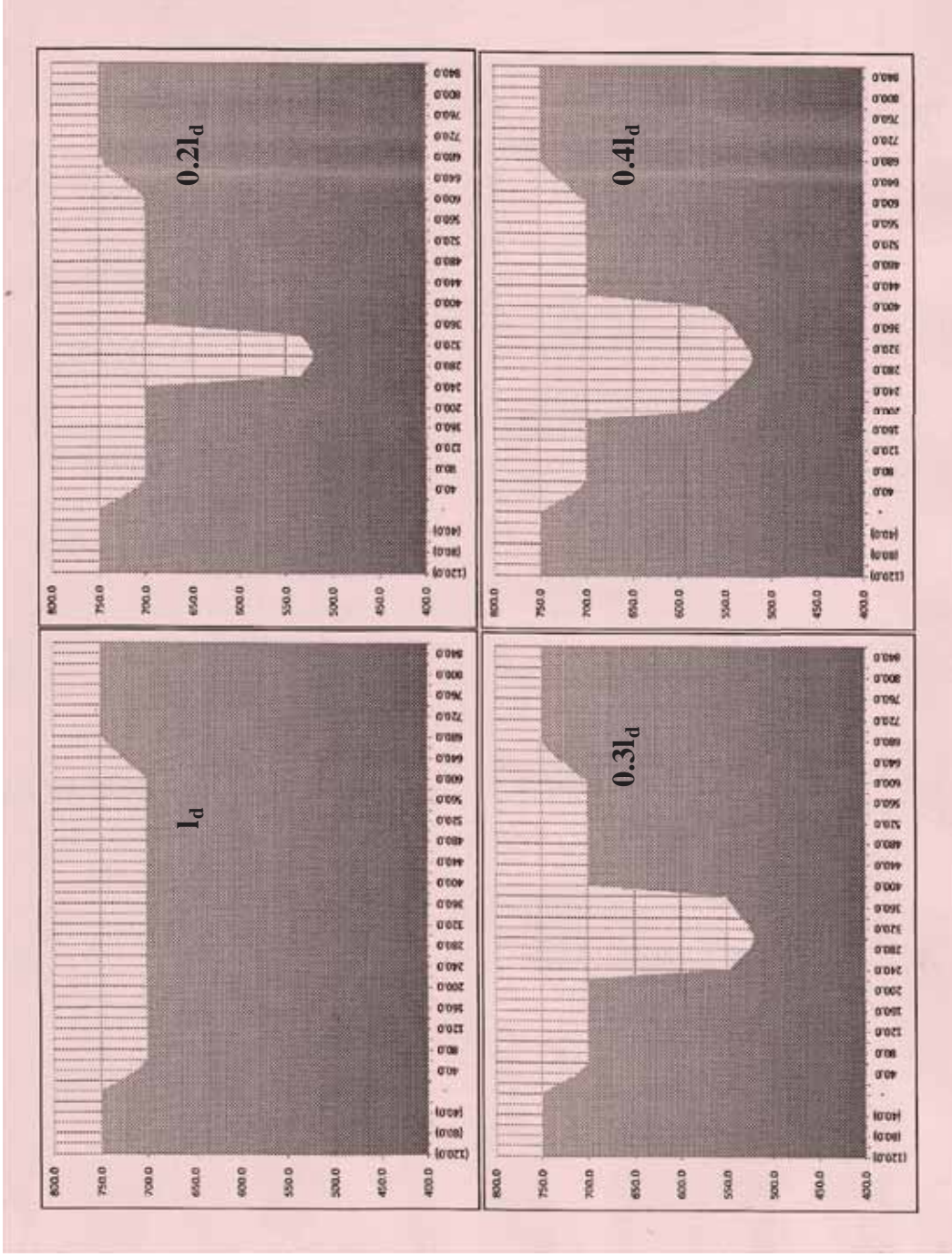


Fig.8 The design scheme of the break formation in the Khudoni dam

ნახ.8 საანგარიშო სქემა გარღვევის წარმოქმნის ხუდონის კაშხალში

4.3. მათემატიკური მოდელის რიცხვითი რეალიზაციის შედეგები

ხუდონი კაშხლის ნგრევით გამოწვეული ტალღის ჰიდროკანძის ქვედა ბიეფში გავრცელების პროცესის მათემატიკური მოდელირების შედეგები დაწვრილებით არის წარმოდგენილი ქვემოთ მოყვანილი გრაფიკული მასალისა და შესაბამისი ცხრილების სახით. გრაფიკული მასალა შეეხება მდინარე ენგურის სხვადასხვა კვეთში (იხ. დანართი 1) ტალღის პარამეტრების ცვლილებას დისკრეტული დროისა და სივრცის (x – კოორდინატთა ღერძის) მიხედვით.

ტალღის ქვედა ბიეფში შემოქმედების შედეგები თითოეულ კვეთში ხასიათდება ისეთი პარამეტრებით როგორცაა:

1. h – ტალღის სიმაღლე (ან დატბორვის სიღრმე);
2. u – ტალღის სიჩქარე (მუდმივი სიდიდეა თითოეულ განივკვეთში დროის მოცემულ მომენტში);
3. $q=ud$ – ნაკადის ხარჯი;
4. $\zeta(x)$ – ტალღის პროფილი;
5. B დატბორვის ზონის სიგანე (ნაკადის ზედაპირის დონის ნიშნულზე).

დანართში 2 მოყვანილია ყველა კვეთისათვის აღნიშნული პარამეტრების მახასიათებელი გრაფიკები, სახელდობრ $h=f_1(t), u=f_2(t), q=f_3(t), B=f(t)$, დამოკიდებულებების გრაფიკები, აგრეთვე $\zeta=f(x)$ ტალღის პროფილები მდინარის კალაპოტის გასწვრივ სხვადასხვა დროის მომენტისათვის. ყველა ეს მონაცემი მიღებულია წყალსაცავის შევსების (ანუ დამუშავების) სამი შემთხვევისათვის, როდესაც $W/W_{max}=100\%, 50\%$ და 30% .

დანართში 3 გამოყენებული აღნიშვნები წარმოადგენენ:

- h_{max} – დატბორვის მაქსიმალურ სიღრმეს (ტალღის მაქსიმალურ სიმაღლეს);
- t_{max} – ტალღის თხემის მოცემულ კვეთში მოსვლის დროის მომენტს;
- t_{st} – ტალღის ფრონტის მოსვლის მომენტს;
- t_{end} – ტალღის ბოლო ნაწილის (კუდის) მოსვლის მომენტს;
- t_{pr} – დროის იმ პერიოდს, რომელიც სჭირდება ტალღას, რომ მთლიანად გაიაროს კვეთში.

$B_{100\%}$ და $B_{30\%}$ დატბორვის ზონის სიგანე წყალსაცავის 100% და 30% შევსებისას

ცხრილ 3.2-ში (დანართი 3) მოყვანილი მონაცემები შეესაბამება კაშხლის ნგრევით განპირობებული ნაკადის (ტალღის) პარამეტრების მაქსიმალურ მნიშვნელობებს.

ამავე დანართ 3-ში (ცხრ. 3.4) მოყვანილია აგრეთვე, მონაცემები (პროცენტული გამოხატულებით), რომლებიც ახასიათებენ შეტბორვის ხარისხის შემცირებას წყალსაცავის 30%-იანი შევსებისას (100% შევსებასთან შედარებით).

დასკვნები

1. განხილულია ის თეორიული მიდგომები და დაშვებები, რომლებიც გამოიყენება ტალღური მოძრაობის შემსწავლელ თეორიებში, კერძოდ წრფივ, მცირე ამპლიტუდის ტალღების (მატ) და არაწრფივ მარჩხი წყლის (მწ) თეორიებში. მატ თეორიის საფუძველზე შეიძლება შესწავლილ იქნას ჰიდროდინამიკური (ტალღური) პროცესები ჰიდროკვანძის ზედა ბიეფში (წყალსაცავში). ხოლო მწ თეორიის საფუძველზე – ქვედა ბიეფში, კერძოდ კაშხლის ნგრევით განპირობებული მაღალი ტალღის გავრცელების პროცესი.

2. კაშხლის ზედა ქიმთან მიმდებარე უბნის ნგრევის შედეგად იქმნება გარკვეული დროის განმავლობაში, კაშხლის ინტენსიური წარეცხვის (გრუნტის კაშხლების შემთხვევაში), მთლიანად ნგრევისა და ქვედა ბიეფში მაღალი ტალღის გავრცელების საფრთხე. უფრო კატასტროფული შედეგებია მოსალოდნელი კაშხლის მყისიერი, მთელ სიმაღლეზე გარღვევის შემთხვევაში, ამიტომ, ამ დროს წარმოქმნილი დამანგრეველი ტალღის პარამეტრებისა და მისი ზემოქმედების მათემატიკური პროგნოზირება უმნიშვნელოვანეს სოციალურ და ეკოლოგიურ ამოცანას წარმოადგენს.

3. ჩვენს მიერ მიღებულია მარჩხი წყლის (მწ) არაწრფივი თეორიის საფუძველზე ღია კალაპოტებში არასტაციონარული ერთგანზომილებიანი დინების დიფერენციალური განტოლებების სისტემის დისკრეტული ამონახსნი (სასრულ-სხვაობითი მეთოდის საშუალებით), კაშხლის ნგრევით წარმოქმნილი ტალღის ქვედა ბიეფში გავრცელების გაანგარიშების მიზნით. ამასთან, განხორციელდა ლაქსივენდროფის ცხადი სხვაობითი სქემის მოდიფიკაცია, რამაც უზრუნველყო გაანგარიშების პროცესში ცდომილებათა დაგროვების მინიმუმამდე დაყვანა და მიღებული შედეგების პრაქტიკული სიზუსტე. ეს კერძოდ, დადასტურებულ იქნა აღნიშნული სქემის საფუძველზე ჩატარებული

თეორიული გაანგარიშებათა შედეგებისა და არსებული ექსპერიმენტალური მონაცემების შედარების საფუძველზე [5], გარდა ამისა, პროექტში გაანგარიშებებით მიღებული ნაკადის ხარჯის დროში ცვლილების დამოკიდებულების ($q=f(t)$) ანალიზმა აჩვენა, რომ ამ დამოკიდებულების დროში ინტეგრების (წყალსაცავის მთლიანად დაცლის ხანგრძლივობის ინტერვალში) შედეგად მიიღება კაშხლის ნგრევის მომენტში წყალსაცავში არსებული წყლის მოცულობის მნიშვნელობა, რაც აგრეთვე, მეტყველებს პროექტში განხორციელებული მათემატიკური მოდელირების კორექტულობაზე და რიცხვითი რეალიზაციის შედეგების საკმარის სიზუსტეზე.

4. მდინარე ენგურის კალაპოტის მახასიათებელი ტოპოგრაფიული მონაცემების ტალღის ტრანსფორმაციის კომპიუტერულ პროგრამაში ჩატვირთვის მიზნით, შედგენილ იქნა ამ მონაცემების ინტერპოლაციური დამუშავების სპეციალური ქვეპროგრამები. ამის შედეგად, წყალსაცავისა და კალაპოტის ყველა განივკვეთი გამოსახული იქნა იმ ფორმით, რომელიც მაქსიმალურად უახლოვდება ბუნებრივს, (თითქმის მისი იდენტური ხდება). განხორციელებულია აგრეთვე, სივრცეში ამ განივკვეთების დაკავშირების კომპიუტერული პროცედურა ანუ მდინარის მთლიანი კალაპოტის გრაფიკული აპროქსიმაცია ტალღის გავრცელების მთელ სივრცეზე. (ნახ. 7).

პროექტში ტოპოგრაფიული მონაცემების დამუშავების აღნიშნული ახალი მეთოდის გამოყენება ემსახურება განსახილველი პროცესის მათემატიკური მოდელირების განხორციელებას, ძველ მეთოდთან შედარებით, უფრო დიდი სიზუსტით.

5. პროექტში, ტალღური ნაკადის გავრცელების დეტალური მათემატიკური პროგნოზირების მიზნით, წარმოდგენილია თითოეული კვეთისათვის ამ ნაკადის ყველა პარამეტრის (h – ნაკადის სიღრმე; u – სიჩქარე; q – ხარჯი; ζ ტალღის პროფილი; B – დატბორვის ზონის სიგანე) t - დროზე და x – გრძივ კოორდინატზე დამოკიდებულების გრაფიკები. გათვლები ჩატარებულია კაშხლის ნგრევის მომენტში წყალსაცავში არსებული წყლის შევსების (ან წყალსაცავის დამუშავების) ოდენობის სამი შემთხვევისათვის: 100%, 50% და 30%. უკანასკნელი შემთხვევა პასუხობს წყალსაცავში წყლის შევსების "ოპტიმალურ" დონეს, ვინაიდან ამ დროს ქვედა ბიეფში დატბორვის ხარისხი საგრძნობად მცირდება, ხოლო წყალსაცავში რჩევა კაშხლის მდგრადობის შენარჩუნების მიზნებისათვის საჭირო მინიმალური წყლის რაოდენობა. წყალსაცავის 30%-ანი დამუშავებისას დატბორვის ზონა მცირდება საშუალოდ 30%-ით. რაც შეეხება წყალსაცავის 50%

დამუშავებას, მისი პრაქტიკული მნიშვნელობა დატბორვის ზონის შემცირების თვალსაზრისით, მცირეა.

6. ხუდონის კაშხლის რღვევის გამო წარმოქმნილი კატასტროფული ნაკადის ენგურის წყალსაცავში შემოდინების შედეგად მასში წარმოიქმნება ისეთი მსხვილმასშტაბიანი, ინტენსიური ჰიდროდინამიკური პროცესები როგორცაა- წყლის შეტბორვა, ტალღური რყევები, ტალღების არეკვლები, უკუდინებები, ტალღების პერიოდული გადაღვრა კაშხლის თხემზე. პირველი-ყველაზე ინტენსიური გადაღვრა და ამ დროს გადაღვრილი წყლის მოცულობა შეადგენს დაახლოებით 170 მლნ მ³ (წყალსაცავის 100%-იანი შევსებისას). შემდგომი გადაღვრები ნაკლებ ინტენსიურია და ისინი აქ არ განიხილებოდა.

7. ხუდონის კაშხლის რღვევის შედეგად წარმოქმნილი ნაკადის სიმაღლე მასთან ახლომდებარე კვეთებში აღწევს დაახლოებით 70მ, სიხქარეები 40-50მ/წმ. ენგურის კაშხლიდან გადაღვრილი ტალღის პარამეტრების მნიშვნელობები უფრო დაბალია აღნიშნულთან შედარებით, მაგრამ მნიშვნელოვან სიდიდეებს აღწევენ. ტალღა მცირდება მას შემდეგ რაც შემოდის მდ. ენგურის ქვედა წელში განლაგებულ ვრცელ დაბლობზე, რომელიც ერთი მხრიდან შემოსაზღვრულია მცირე სიმაღლის მთების ზოლით, მეორე მხრიდან-ირიგაციული არხით; მესამე მხარეს მას ზღვის სანაპირო ზოლი ესაზღვრება. ეს ტერიტორია შეადგენს დაახლოებით 540კმ². ტალღის გაურცელების შედეგად ის დაიტბორება 0მ წყლის სისქის შრით, რომლის სიმაღლე დაახლოებით 1.5 სთ შემდეგ დაიწყებს კლებას. ამგვარად აქ კატასტროფული შედეგები არ არის მოსალოდნელი.

ლიტერატურა

1. **Construction standards and regulations (SNiP II-7-81). Construction in seismic areas. Design standards. M. Constr. Publishing House, 1982 (in Russian).**
2. **Calculation of seismic loads when designing hydraulic structures. Manual to 5GTS SNiP II-7-81.L.1986 (in Russian).**
3. **Manual for computation of parameters of waves generating in reservoirs in presence of landslide and collapse phenomena. Gosstroiz GSSR. Tbilisi, 1986 (in Russian).**
4. **Manual for determining loads and impacts on hydraulic structures. L.1977 (in Russian).**
5. **Mamradze G.P., Gvelesiani T.L., Jinjikhashvili G.Ia. Forecast of waves in reservoirs under seismic action M. Energoatomizdat, 1991 (in Russian).**
6. **IVK and computer in hydraulic researches. Georgian Scientific-Research Institute of Power Engineering and Hydraulic Structures (GruzNIEGS) Tbilisi, 1986 (in Russian).**
7. **Gvelesiani T.L., Ostroverkh B.N. et al. Prediction of wave formation in mountain reservoirs during landsfalls and landslides. Power technology and Engineering. Spronger New York. vol.23, No12, 1989 (ISSN 1570-145X).**
8. **Gvelesiani T. et al. Analysis of wave processes in reservoirs due to earthquakes. XXXI IAHR Congress. Sep.11-16, Seoul, Korea, 2005. Poster session PE-1.**
9. **Gvelesiani T., Huber A., Koutitas Ch., Matcharadze G. Extreme wave transients in reservoirs, characteristics and interaction with dams. Taylor and Francis Group. London. 2004. (ISBN 9058096327).**
10. **Istorik B.L., Liakhter V.M. Distribution of the abrupt wave in a prismatic channel. Fluid and gas mechanics. №1. 1975 (in Russian).**
11. **Gvazava G.N., Kvaratskhelia L.L., Muzaev I.D. Study of abrupt waves transformation in the hydraulic works down stream. Water resources. Moscow №3, 1981 (in Russian).**
12. **Mishuev A.V. et al. Theoretical analysis of waves reflection at the interaction of an abrupt wave with spill way. Hydraulics of hydraulic structures and hydraulic power plants. Moscow. 1983 (in Russian).**
13. **Stoker J.J. Water waves. New York. 1957.**
14. **Gvelesiani T, Palavandishvili G et al. Forecast of impact in downstreams caused by Algeti and Sioni dams failure. Energy Tbilisi 4(48) 2008 (ISSN 1512-0120) (in Georg.)**
15. **Cunge J.A., Holly F.M., Verwey A. Practical Aspects of Computational river hydraulics. London. 1980.**

- 16. Jeffreys H., Swiries B. Methods of Mathematical Physics. Vo Cambridge Univ. Press. 1966. Korn G.A. and Korn T.M. Mathematical Handbook for scientists and engineers. McGraw-Hill Book Company. New York – Toronto – London. 1961.**
- 17. Mays L.W. Water resources engineering. John Wiley and sons. Inc. 2005.**
- 18. Schemes of water protection measures related to the Algeti and Zonkari reservoirs. “GRUZVODKHOZ” Tbilisi, 1985**
- 19. Gvelesiani T. Theory of wave generation in application to the hydroecological problems. “Universal” Tbilisi, 2009 (in Russian).**
- 20. Gvelesiani T. Mathematical models of transient waves generation in problems of environment. Studio Fresco Publishers. Tel-Aviv, 2010**

დ ა ნ ე ს რ თ ე ბ ი
A P P E N D I C I E S

დასართი 1

APPENDIX 1

**ტოპოგრაფიული მონაცემების ინტერპოლაციური მეთოდით დამუშავების შედეგები
(მდინარის კალაპოტის განივკვეთები)**

**THE RESULTS OF TOPOGRAPHICAL DATA PROCESSING DEVELOPED BY THE INTERPOLATIONAL
METHOD (RIVER CHANNEL CROSS-SECTIONS)**

ცხრილი: 1.1

№	კვეთი	ფსკერის ნიშნული	მანძილი საწყის კვეთიდან (მ)	მანძილი კვეთებს შორის (მ)
1	4	1150.0	4100	4100
2	5	1084.0	8300	4200
3	6	1036.0	11700	3400
4	7	993.0	14400	2700
5	8	947.0	17700	3300
6	9	895.0	21350	3650
7	10	805.0	27500	6150
8	11	760.0	30800	3300
9	12	717.0	34400	3600
10	13	664.0	40200	5800
11	14	627.0	45200	5000
12	15	603.0	48550	3350
13	16	575.0	53350	4800
14	17	568.0	55850	2500
15	18	555.0	60500	4650
16	19	551.6	61850	1350
17	20	543.5	64900	3050

ნაკადის მახასიათებლები

FLOW CHARACTERISTICS

შემაჯამებელი მონაცემები (ცხრილი1-ცხრილი3)

GENERALIZED DATA (TABLE 1-TABLE 3)