

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ზაალ ბუკია

ჰიდროდინამიკური დატვირთვა კომპლური ტიპის

წყალმიმღებ ნაგებობებზე მიწისძვრის დროს

სადოქტორო პროგრამა - მშენებლობა

შიფრი 0732.1.1

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0160, საქართველო

2021

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
სამშენებლო ფაკულტეტზე
ჰიდროინჟინერიის დეპარტამენტში

ხელმძღვანელი: **მირიან ყალაბეგიშვილი** ტ მ დ, პროფესორი.

რეცენზენტები: **გურამ გაბრიჩიძე**, ტმდ, საქართველოს მეცნიერებათა
აკადემიის წევრ-კორესპოდენტი
დავით ჯანყარაშვილი, ტ მ დ, პროფესორი

დაცვა შედგება 2021წლის 18 ივნისს

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის
სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე

კორპუსი I , აუდიტორია

მისამართი: 0171, თბილისი, კოსტავას 68.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ავტორეფერატის – სამშენებლო ფაკულტეტის ვებგვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი:

ტ მ დ, პროფესორი

დემურ ტაბატაძე

შესავალი

სამეცნიერო თემის აქტუალურობა: საშუალო და მაღალდაწნევიან ჰიდროკვანძებში, მით უფრო, როდესაც წყლის დონე წყალსაცავში განიცდის ცვალებადობას ფართო საზღვრებში, ხშირ შემთხვევაში წყლის აღება ხორციელდება კომპურა ტიპის წყალმიმღების გამოყენებით.

კომპურა ტიპის წყალმიმღებები წყალსაცავში ცალკე მდგომი ნაგებობა, რომლის მთელ პერიმეტრზე ან მის ნაწილზე განლაგებულია წყალმიმღები ხვრეტები. ამ ტიპის ნაგებობებს იყენებენ იმ შემთხვევაში, როდესაც სანაპირო წყალმიმღების მოწყობა, არახელსაყრელი ტოპოგრაფიული პირობების გამო, დაკავშირებულია დიდი მოცულების სამუშაოთა შესრულებასთან და მიუღებელია.

კომპურა ტიპის წყალმიმღები ნაგებობების საინტერესო მაგალითები გვხვდება კულიჯში (ა.შ.შ. არიზონის შტატი), ეგიუზონში (საფრანგეთი), სელულა (აშშ სამხრეთ კაროლინა), შვარცენბახში (გერმანია), გიზელდონში (ჩრდილო კავკასია, ოსეთი), ბოლდერში, ფიზერში, ნევასში (მექსიკა); ლაგინტონში კომპურა ტიპის, დევის ბრიჯის მოწყობილობაში (აშშ, ვერმონტის შტატი), ლიკს რიკერის მოწყობილობაში (აშშ კენტუკი).

კომპურა ტიპის წყალმიმღები ნაგებობების დაპროექტებისას ერთ-ერთი რთული და მნიშვნელოვანი ამოცანაა - ჰიდროდინამიკური (სეისმური) დატვირთვებისა და მათი ზემოქმედებით ნაგებობებში განვითარებული ძაბვების განსაზღვრა.

აღნიშნული ამოცანის გადაწყვეტა მოცემული აქვთ ძირითადად ს. შულმანს, ი. შეინინს, პ. კულმაჩს. წარმოდგენილ ნაშრომში ძირითადად გამოყენებულია ჰიდროტექნიკის დარგში ცნობილი მეცნიერის აკადემიკოს სერგეი შულმანის მირ შემოთავაზებული ერთ-ერთი მეთოდით.

სეისმურად აქტიურ რეგიონებში ჰიდროტექნიკური მშენებლობის განვითარება საჭიროებს გაანგარიშების ისეთი მეთოდების შემუშავებას, რომლებიც უზრუნველყოფენ ჰიდროტექნიკური ნაგებობების სიმტკიცეს,

მდგრადობას, ეკონომიურობას და საიმედოობას სეისმური და ჰიდროდინამიკური დატვირთვების ზემოქმედებისას.

სამოქალაქო მშენებლობებისგან განსხვავებით, ჰიდრონაგებობების სეისმომდეგობაზე გაანგარიშების განსაკუთრებულობა დაკავშირებულია მთელ რიგ სირთულეებთან, აუცილებელია წყლის მასის ზემოქმედების გათვალისწინება, რომელიც თავის მხრივ (ჰიდროსტატიკური წნევის გარდა) იწვევს სადაწნეო წახნაგზე ჰიდროდინამიკურ დატვირთვას. ნაგებობის საკუთარი რხევების სიხშირისა და ფორმის ცვლილებებს, რაც საბოლოო ჯამში ძლიერ ზეგავლენას ახდენს ნაგებობის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე.

ჰიდრონაგებობების გაანგარიშება სეისმომდეგობის დინამიკური თეორიის არსებული მეთოდებით დაფუძნებულია ჰიდროდინამიკისა და ნაგებობის დინამიკური განტოლებების ერთობლივ განხილვასთან ე.ი. ჰიდროდრეკადობის ამოცანების ამოხსნასთან. აღნიშნული კი სერიოზულ მათემატიკურ პრობლემებთან არის დაკავშირებული, რადგან ჰიდროტექნიკური ნაგებობები მნიშვნელოვნად განსხვავდება კონსტრუქციული გადაწყვეტებით, გამოსაყენებელი მასალებით და მუშაობის პირობებით. ამგვარი ამოცანების ამოხსნა დაკავშირებულია სერიოზულ მათემატიკურ სიძნელებებთან.

მიუხედავად იმისა, რომ ხსენებულ საკითხთან დაკავშირებით თეორიული კვლევების გარდა მიმდინარეობს ასევე ექსპერიმენტული კვლევები.

საქართველო, წარმოადგენს სეისმურად აქტიურ რეგიონს. შესაბამისად, ჰიდრონაგებობის და მათ შორის კომპურა ტიპის წყალმიმღებების სეისმომდეგობაზე გაანგარიშება კვლავ დიდ ყურადღებას იმსახურებს. საქართველოში ამჟამად ექსპლუატაციაშია ჟინვალის, სიონის და ლაჯანურის ჰიდროკვანძების კომპურა ტიპის წყალმიმღები ნაგებობები. დაპროექტებულია ნამახვანჰესის და თემამის ჰიდროკვანძების კომპურა ტიპის წყალმიმღებები.

ყოველივე ნათლად წარმოაჩენს საკითხის აქტუალობას და მნიშვნელობას.

კვლევის მიზანია დამუშავებულ იქნას:

- კვლევის ალგორითმი და საანგარიშო პროგრამა, რომლის გამოყენებით შესაძლებელი იქნება განისაზღვროს:
 - ჰიდროდინამიკური წნევის განაწილება კომპურა ტიპის წყალმიმღებ ნაგებობაზე სეისმური ზემოქმედების დროს;
 - ჰიდროკვანძში წყალმიმღებ ნაგებობათა განლაგების (მათ შორის კაშხლის არსებობისას), გავლენა მათზე ჰიდროდინამიკური წნევის განაწილებაზე;
 - წყალმიმღებსა და კაშხალს შორის მანძილის კრიტიკული მნიშვნელობის განსაზღვრა;
- კომპურა წყალმიმღების სეისმოდამაბული მდგომარეობა დაცლილი და სავსე წყალსაცავის პირობებში წყლის დინამიკური ზემოქმედების გათვალისწინებით.

კვლევის ობიექტად განიხილული იქნა საქართველოში ნამახვანის შეწყვილებული (ორი ერთმანეთთან ახლოს მდგომი) და თეძამის ცილინდრული ტიპის წყალმიმღები ნაგებობები.

სამეცნიერო სიახლე

- კომპურა ტიპის წყალმიმღებ ნაგებობათა სეისმომედეგობაზე შეფასებისათვის ორ განზომილებიანი ამოცანის ფარგლებში დამუშავებულ იქნა:
 - ❖ ტალღური თეორიის ამონახსნების საფუძველზე, ერთი ან შეწყვილებული (ორი ერთმანეთთან ახლოს მდგომი) ნაგებობისთვის, კაშხლის დაშორების გათვალისწინებით, ნაგებობაზე წყლის ჰიდროდინამიკური ზემოქმედებით განვითარებული დატვირთვების განსაზღვრის მეთოდოლოგია და შესაბამისი საანგარიშო პროგრამა;
 - ❖ სპექტრული თეორიის საფუძველზე, სასრული ელემენტების მეთოდის გამოყენებით, ხსენებულ ნაგებობათა დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის კვლევის მეთოდოლოგია ცარიელი და სავსე წყალსაცავის არსებობისას.

➤ შეფასებულ იქნა წყალმიმღებსა და კაშხალს შორის დაშორების კრიტიკული მნიშვნელობა.

ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა

დამუშავებული მეთოდის საფუძველზე შესაძლებელია შეფასებულ იქნას, სხვადასხვა კონსტრუქციის კოშკურა ტიპის წყალმიმღებ ნაგებობათა სეისმომდეგობა ცარიელი და სავსე წყალსაცავის არსებობისას.

ხსენებული მეთოდის გამოყენებით შეფასებულ იქნა:

- ❖ ნამახვანის შეწყვილებული ცილინდრული ტიპის წყალმიმღები ნაგებობაზე წყლის ჰიდროდინამიკური ზემოქმედებით განვითარებული დატვირთვები, რაც ითვალისწინებს ასევე მათი კაშხლიდან დაშორების გავლენას;
- ❖ თემამის ჰიდროკვანძის წყალმიმღები ნაგებობის სეისმური დაძაბული მდგომარეობა და სიმტკიცის მარაგები წყლის ჰიდროდინამიკური ზემოქმედების გათვალისწინებით.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა

სადისერტაციო ნაშრომი შედგება: შესავლის, ხუთი თავის, (ლიტერატურული მიმოხილვა, კვლევის შედეგები და მათი განსჯა, დასკვნა) და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისაგან. ნაშრომი წარმოდგენილია 112 ნაბეჭდ გვერდზე. იგი შეიცავს 44 ნახაზსა და 2 ცხრილს.

პუბლიკაციები: სადისერტაციო ნაშრომის თემასთან დაკავშირებით დღეისათვის გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო სტატია საქართველოში აკრედიტებულ რეფერირებულ ჟურნალში.

პირველ თავში მოცემულია ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებზე სეისმური და წყლის ჰიდროდინამიკური დატვირთვების განსაზღვრასთან დაკავშირებით არსებული მასალის მიმოხილვა.

როგორც კვლევებმა აჩვენა, წყალმიმღებების კონსტრუქციული ცვლილებები სეისმური ზემოქმედების დროს გავლენას ახდეს კოშკის დამაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე, რაც გამოწვეულია ერთის მხრივ ნაგებობის ინერციული, მეორეს მხრივ კი წყალსაცავიდან განვითარებული წყლის ჰიდროდინამიკური დატვირთვების განვითარებით. ცხადია, აღნიშნული გათვალისწინებული უნდა იქნას წყალმიმღებ ნაგებობათა პროექტირებისას.

ჰიდროდინამიკური წნევის სიდიდე დამოკიდებულია ნაგებობის რხევის პარამეტრებზე და წყალსაცავის კონფიგურაციაზე, განივკვეთის ფორმაზე, წყალსაცავის სიგრძესა და გეგმაში მის მოხაზულობაზე. მთლიანად ან ნაწილობრივ შევსებულ წყალსაცავის არსებობის დროს ფუძის სეისმური ზემოქმედებისას რხევაში მონაწილეობს კაშხალი, წყალმიმღები ნაგებობა და წყლის მასა. როდესაც ცნობილია ჰიდროდინამიკური წნევის სიდიდე და „ნაგებობა-წყალსაცავი“ სისტემის მოძრაობის აჩქარება, შესაძლებელია განისაზღვროს წყლის ინერციული ზემოქმედება და შესაბამისად ჰიდროდინამიკური წნევა.

წყლის ინერციული ეფექტის გარდა, ასევე შეიცვლება სისტემის „ნაგებობა-წყალსაცავი“ რხევის ენერჯის გაბნევის მნიშვნელობები. არსებობს შეთავაზებები ამ გავლენის შეფასებისათვის, მიერთებული ბლანტი სითხის ხახუნის (წინააღმდეგობის) გამოყენებით. ეს პროცესები ასოცირდება წყლის სიბლანტესთან და ტალღის წარმოქმნის შეუქცევად პროცესებთან. ზოგადი, სავარაუდო გაანგარიშებებით, ნაგებობის რხევის დროს ენერჯის დამატებითი დანაკარგები წყალსაცავის მასის გათვალისწინებით, შეიძლება უგულვებლყოფილ და გათვალისწინებულ იქნას მხოლოდ წყლის მიერთებული მასების ინერციული გავლენა ნაგებობაზე.

ნაგებობის წყლის გარემოსთან ურთიერთქმედების გათვალისწინებისას, არსებული თეორიული ამონახსნების უმეტესობაში გაკეთებულია შემდეგი დაშვებები:

- წყალი განიხილება არაბლანტი და უკუმშვადი სითხე;

- მხედველობაში არ მიიღება თავისუფალ ზედაპირზე ტალღების წარმოქმნა, წყლის მოძრაობა განიხილება პოტენციურად (არაგრავალური);
- განიხილება „ნაგებობა-წყალსაცავი“ სისტემის მცირე რხევები თანმიმდევრობითი ჰორიზონტალური ჰარმონიული რხევების დროს.

აღსანიშნავია, რომ წყლის ეფექტის გათვალისწინება იწვევს დინამიური ინერციული დატვირთვის ცვლილებას სისტემაში „ნაგებობა-წყალსაცავი“. კერძოდ, იცვლება ნაგებობის რხევის პერიოდები და ინერციული დატვირთვები. ზოგადად, ნაგებობის დინამიური გაანგარიშება ხორციელდება წყლის მიერთებული მასის გათვალისწინებით.

განხილულია ნაშრომებში დამუშავებულია კვლევის მეთოდოლოგია, რომელიც შეიძლება გამოყენებულია კომპურა ტიპის წყალმიმღები ნაგებობის წინასწარი სეისმური ანალიზისთვის, „ფუძე-კონსტრუქცია-წყალსაცავი“ სისტემის ურთიერთქმედების ჩათვლით. ფორმულირება ასევე ითვალისწინებს ფუძის გავლენის ეფექტს. წყლის ჰიდროდინამიკური წნევა გათვალისწინებულ იქნა მიერთებული მასების საშუალებით, რომლებიც მოცემულია ანალიტიკური ამონახსნების სახით, მარტივად გამოსაყენებლად კონსტრუქციათა ანალიზსა და დაპროექტებაში. რიცხვითი გაანგარიშების შედეგების ანალიზით მიღებული იქნა, რომ ჰიდროდინამიკური ეფექტები მნიშვნელოვანია და იწვევს კომპის დამატებით გადახრას, მომენტებისა და ძვრების და ასევე ფუნდამენტის მობრუნების შემცირებას. კვლევამ აჩვენა, რომ დაბალი სიმაღლის კომპებისათვის საძირკვლის აწევა ნაკლებად სავარაუდოა. პირიქით, თხელი მოქნილი კომპებისათვის სავარაუდოდ, ფუნდამენტის აწევა უფრო მოსალოდნელია, განსაკუთრებით უფრო ხისტი ფუძეების არსებობისას, რომლის დროსაც მომენტები და გადახრები მნიშვნელოვნად იკლებს.

ამავე თავში მოცემულია სეისმომედეგობის გაანგარიშების ძირითადი მეთოდოლოგია.

მეორე თავში მოცემულია კვლევის მეთოდოლოგია და ძირითადი ალგორითმი საკითხის არსი და დაშვებები.

დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად შეიძლება გამოყენებულ იქნას მიმდევრობითი მიახლოების მეთოდი. არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ამოცანის სასაზღვრო პირობების მიახლოებითი დაკმაყოფილება ხდება ლაპლასის და ჰელმჰოლცის ცნობილი განტოლებების ამონახსნების თანდათანობითი შეკრების გზით, რომლებიც აკმაყოფილებს ამ პირობების ნაწილს.

ჰიდროდინამიკური (სეისმური) დატვირთვის გასაანგარიშებლად გამოიყენება შემდეგი დაშვებები:

- 1) სითხე არის იდეალური, ერთგვაროვანი და უკუმშვადი.
- 2) ტალღური მოვლენები თავისუფალ ზედაპირზე არ გაითვალისწინება და ჰიდროდინამიკური წნევის ცვალებადობას განაპირობებს მხოლოდ მიერთებული მასა.
- 3) წყლის დაკავებული მოცულობის გეომეტრიული კონფიგურაციის ცვლილება რხევების დროს მხედველობაში არ მიიღება.

ნაშრომში დასმული თეორიული ამოცანების გადაწყვეტისას გამოყენებული იქნა მათემატიკური ფიზიკის მეთოდები. ბევრი ამოცანების ამოხსნა ხდებოდა კლასიკური მეთოდებით (ცვლადების განცალკეება, კომპლექსური ცვლადების ფუნქცია, ინტეგრალური გარდაქმნა). ჩვენ შემთხვევაში გამოყენებული იქნება თანდათანობითი მიახლოების მეთოდი. აქ შეგვხვდება ტალღური, ლაპლასის ჰელმჰოლცის განტოლებები. ბესელის, ჰენკელის და მაკდონალდის ფუნქციები.

კომპურა წყალმიმღებების დაპროექტებისას სირთულეს წარმოადგენს ჰიდროდინამიკური (სეისმური) დატვირთვებისა და მათგან გამოწვეული ძაბვების განსაზღვრა. ამ ამოცანის გადაწყვეტა მოცემული აქვს რიგ ცნობილ ჰიდროტექნიკოსს, მათ შორის ს. შულმანს და ი. შეინინს. ყველა ავტორს ანგარიშის თავისი მეთოდი გააჩნია. ჩვენ ვხელმძღვანელობთ ს. შულმანის მიმდევრობითი მიახლოების მეთოდით.

მეთოდის არსი მდგომარეობს შემდეგში: ნაგებობის რთული გეომეტრიული კონფიგურაციის გამო, ამოცანის სასაზღვრო პირობების მიახლოებითი დაკმაყოფილება ხდება ლაპლასისა და ჰელმჰოლცის ცნობილი განტოლების ამონახსნების თანდათანობითი შეკრების გზით, რომელთაგანაც ყოველი ამ პირობის ნაწილს აკმაყოფილებს.

სერგეი შულმანის მიერ ამოცანა დასმული იქნა ერთი წყალმიმღებისა და კაშხლის ურთიერთქმედებაზე.

ჩვენ შემთხვევაში განხილული იქნა ორი წყალმიმღების ერთმანეთთან ურთიერთქმედება და მათგან გარკვეულ მანძილზე მდებარე კაშხლის გავლენა წყალმიმღების დამაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე.

ჩვენ მიერ განხილულ იქნა წყალმიმღებისა და კაშხლის განლაგების ორი შემთხვევა.

ზოგადად, კონსტრუქციის ფუძის სეისმური რხევის დროს სითხის მოძრაობის სიჩქარის პოტენციალი აკმაყოფილებს ტალღურ განტოლებას:

$$\nabla^2 = \frac{1}{C_0^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} \quad (1)$$

$$\left. \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right|_{z=0} = \varphi|_{r=h} = \left. \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right|_{r=\infty} \quad (2)$$

$$\left. \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right|_{r=r_0} = [\omega_0(z, \theta, t) + \omega(z, \theta, t)]$$

სადაც, $\omega_0(z, \theta, t)$ - როგორც მთლიანი ხისტი კონსტრუქციის გადაადგილება; $\omega(z, \theta, t)$ - კონსტრუქციის გარსის დრეკადი გადაადგილების რადიალური მდგენელია;

$$\Phi(r, \theta, z, t) = \varphi(r, \theta, z) \exp i\omega t;$$

$$\omega_0(z, \theta, t) = \omega_0(z, \theta) \exp i\omega t \quad (3)$$

$$\omega(z, \theta, t) = \omega(z, \theta) \exp i\omega t$$

წარმოდგენილ პირობებში ტალღური განტოლება (1) გადადის ჰელმჰოლცის განტოლებაში (z, θ, t) ის მიმართ:

$$\nabla^2 \varphi + \frac{\omega^2}{c_0^2} \varphi = 0 \quad (4)$$

შემდეგი სასაზღვრო პირობების არსებობისას:

$$\begin{aligned} - \frac{\partial \varphi}{\partial z} \Big|_{z=0} &= \frac{\partial \varphi}{\partial r} \Big|_{r=\infty} = \varphi \Big|_{z=h} = 0; \\ - \frac{\partial \varphi}{\partial r} \Big|_{r=r_0} &= i\omega[\omega_0(z, \theta) + \omega(z, \theta)]; \end{aligned} \quad (5)$$

ცვლადთა განცალების მოქმედების შემდეგ (4) და (5) ამოხსნის შედეგად, იძულებითი რხევების შემთხვევისათვის დაბალი სიხშირეების რხევისას, როდესაც $\omega < \omega_1 = \pi c_0 / 2h$, მიიღება სითხის (როგორც აკუსტიკური არისათვის) რხევის საკუთარი სიხშირეები, შემდეგი სახით:

$$\begin{aligned} \varphi(r, \theta, z) &= \sum_{m=1,3,\dots}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} A_{mn} \frac{K_n(v_m \frac{r}{h})}{K'_m(v_m \frac{r_0}{h})} \times \\ &\times \cos \frac{m\pi z}{2h} \cos n \theta \end{aligned} \quad (6)$$

სადაც,

$$\begin{aligned} v_m &= \left[\left(\frac{m\pi}{2} \right)^2 - \left(\frac{\omega h}{c_0} \right)^2 \right]^{1/2} \\ A_{mn} &= \frac{2\omega}{\pi v_m} \int_0^h \int_0^{2\pi} (\omega_0 + \omega) \cos n\theta \cos \frac{m\pi z}{2h} d\theta dz \end{aligned} \quad (7)$$

აქ $-K_n$ - ჰენკელის მოდიფიცირებული ფუნქციაა ან მაკდონალდის n რიგის ფუნქციაა.

(6)-ის ამოხსნით მიიღება ამოცანის ცხვადასხვა კერძო შემთხვევები.

კერძოდ, თუ

- $\omega_0 \neq 0$, $\omega = 0$, მაშინ არსებობს შემთხვევა, როგორც მთლიანი ხისტი კონსტრუქციის რხევა.
- $\omega_0 = 0$, განიხილება გარსული კონსტრუქციის თავისუფალი რხევა.

შესაძლებელია ასევე განხილულ იქნას შემდეგი მახასიათებელი დეფორმაციები:

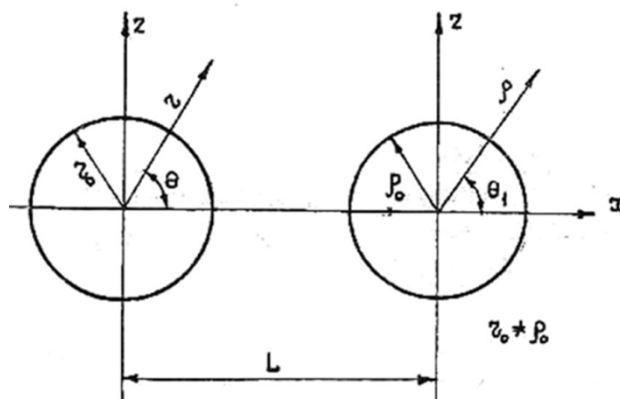
- $n=0$ - გარსული კონსტრუქციის ღერძულ სიმეტრიული რხევა;
- $n=1$ - წრიული კვეთის ღეროს ღუნვითი რხევა;
- $n \geq 2$ - გარსული კონსტრუქციის ღუნვითი რხევა.

თუ წყალს ჩავთვლით, როგორც უკუმშვად სითხეს, ანუ $\omega < \omega_1$, მაშინ

$$\varphi(r, \theta, z) = \sum_{m=1,3,\dots}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} A_{mn} \frac{K_n\left(\frac{m\pi}{2} \frac{r}{h}\right)}{K'_m\left(\frac{m\pi}{2} \frac{r_0}{h}\right)} \times \cos \frac{m\pi z}{2h} \cos n \theta \quad (8)$$

შემთხვევა 2. ორი ერთვაროვანი ცილინდრული წყალმიმღები ნაგებობის სინქრონული რხევა.

ორი ერთვაროვანი ცილინდრული წყალმიმღები ნაგებობა სინქრონულად რხევის შემთხვევაში (ნახ. 1) ზემოხსენებული მიმდევრობითი მიახლოების მეთოდის რეალიზაციის სქემა საჭიროებს მცირედი სახით შეცვლას – უნდა ვიპოვოთ წყლის სიჩქარის პოტენციალი, რომელიც აკმაყოფილებს ლაპლასის განტოლებას და შემდეგ სასაზღვრო პირობებს.



ნახ. 1. ორი ერთვაროვანი ცილინდრული წყალმიმღები კომპის თავისუფალი სინქრონული რხევის სქემა.

კოშკის რხევის მოძრაობის სიჩქარის რადიალური მდგენელი, როცა $z = h$,
 $\theta = 0$, ტოლია v_0 . სიჩქარის პოტენციალის გამოსახულებას, აქვს სახე:

$$\varphi(r, \theta, z) = \sum_{m=1,3,\dots}^{\infty} B_m \frac{K_1(v_m \frac{r}{h})}{K_1'(v_m \frac{r}{h})} \cos \frac{m\pi z}{2h} \cos \theta$$

სადაც,

$$B_m = \frac{4\omega \omega_0 h}{m\pi v_m} \left[(-1)^{\frac{m-1}{2}} - \frac{2}{m\pi} \right]$$

სიჩქარის პოტენციალი აკმაყოფილებს ჰელმჰოლცის განტოლებას

$$\nabla^2 \varphi + \frac{\omega^2}{c_0^2} \varphi = 0$$

შემდეგი სასაზღვრო პირობებით (ნახ.1 როცა $\omega < \omega_1$):

- $\frac{\partial \varphi}{\partial z} \Big|_{z=0} = \frac{\partial \varphi}{\partial r} \Big|_{r=\infty} = \varphi \Big|_{z=h} = 0;$
- $\frac{\partial \varphi}{\partial r} \Big|_{r=r_0} = i\omega [\omega_0(z, \theta) + \omega(z, \theta)];$
- $\frac{\partial \varphi}{\partial r} \Big|_{r=r_0} = \omega \omega_0 \frac{z}{h} \cos \theta.$

საბოლოოდ, ჰიდროდინამიკური წნევა კოშკურა წყალმიმღებების
 კონსტრუქციის ზედაპირზე განსაზღვრება ფორმულით:

$$p^*(r, \theta, z) = \frac{1}{\omega^2 \rho \omega_0 h} \sum_{m=1,3,\dots}^{\infty} B_m \frac{K_1(v_m \frac{r}{h})}{K_1'(v_m \frac{r}{h})}$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0; \tag{9}$$

$$\varphi \Big|_{z=h} = 0; \tag{10}$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial r} \Big|_{r=r_0} = V_0 \cos \Theta; \tag{11}$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \rho} \Big|_{\rho=\rho_0} = V_0 \cos \Theta_1. \tag{12}$$

ამოცანის ამონახსნი იძებნება შემდეგი ჯამის სახით:

$$\varphi = \varphi^{(n)} = \varphi^{(0)} + \sum_{i=1}^n \varphi^{(i)},$$

სადაც $\varphi^{(0)}$ ამონახსნის ნულოვანი მიახლოებაა.

ნულოვანი მიახლოებისათვის ვიღებთ ცალკე მდგომი კოშკურა ტიპის წყალმიმღები ნაგებობის ამონახსნს [2], ყოველი წყალმიმღებისათვის ცალ-ცალკე. წყალმიმღებებს აქვს სხვადასხვა რადიუსი $r_o \neq \rho_o$.

$$\begin{aligned} \varphi^{(0)} = & V_o H \sum_{m=1,3,\dots}^{\infty} A_m K_1 \left(\frac{m\pi}{2} \cdot \frac{r_o}{H} \right) \cos \frac{m\pi z}{2H} \cos \Theta + \\ & + V_o H \sum_{m=1,3,\dots}^{\infty} A_m K_1 \left(\frac{m\pi}{2} \cdot \frac{\rho_o}{H} \right) \cos \frac{m\pi z}{2H} \cos \Theta_1, \end{aligned}$$

სადაც K ჰენკელის მოდიფიცირებული ფუნქციაა (ან მაკდონალდის ფუნქცია).

პირველი მიახლოებისათვის აიღება ჯამი:

$$\varphi^{(1)} = \varphi^{(0)} + \varphi_{\varphi y}^{(1)}.$$

სიჩქარის $\varphi_{\varphi y}^{(1)}$ პოტენციალი უნდა აკმაყოფილებდეს ლაპლასის განტოლებას, (1) და (2) სასაზღვრო პირობებს და ასევე შემდეგ პირობებს:

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial \varphi_{\varphi y}^{(1)}}{\partial r} \right|_{r=r_o} &= -\Delta V_r^{(0)}(\Theta, z); \\ \left. \frac{\partial \varphi_{\varphi y}^{(1)}}{\partial \rho} \right|_{\rho=\rho_o} &= -\Delta V_r^{(0)}(\Theta_1, z); \end{aligned}$$

$\varphi_{\varphi y}^{(1)}$ განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$\varphi_{\varphi y}^{(1)} = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1,3,\dots}^{\infty} B_{mn} K_1 \left(\frac{m\pi}{2} \cdot \frac{r_o}{H} \right) \cos \frac{m\pi z}{2H} \cos n\Theta,$$

სადაც,

$$B_{mn} = -\frac{4\omega}{m\pi^2 K_n^1\left(\frac{m\pi r_o}{2H}\right)} \int_0^H \int_0^{2\pi} \Delta V_r^{(0)}(\Theta, z) \cos n\Theta \cos \frac{m\pi z}{2H} d\Theta dz.$$

მეორე მიახლოებისათვის ავიღება ჯამი:

$$\varphi^{(2)} = \varphi^{(1)} + \varphi_{\nu_{ij}l}^{(2)};$$

$\varphi^{(2)}$ უნდა აკმაყოფილებდეს (1), (2) და (4) პირობებს, ხოლო $\varphi_{\nu_{ij}l}^{(2)}$ – (1) და

(2) პირობებს და ლაპლასის განტოლებას

$$\left. \frac{\partial \varphi_{\nu_{ij}l}^{(2)}}{\partial \rho} \right|_{\rho=\rho_0} = -[\Delta V_{\rho}^{(0)} - \Delta V_{\rho}^{(1)}];$$

$\varphi_{\nu_{ij}l}^{(2)}$ განისაზღვრება:

$$\varphi_{\nu_{ij}l}^{(2)} = \sum_{m=1,3,\dots}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} A_{mn} \frac{K_n\left(\frac{m\pi \cdot \rho}{2 \cdot H}\right)}{K_n^1\left(\frac{m\pi \cdot \rho}{2 \cdot H}\right)} \cos \frac{m\pi z}{2H} \cos n\Theta_1,$$

სადაც,

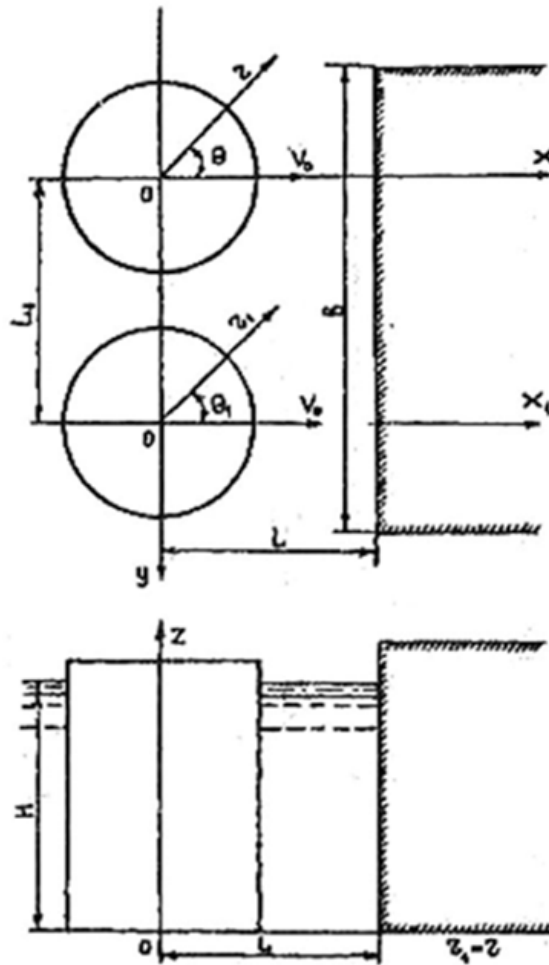
$$A_{mn} = -\frac{4\omega}{m\pi^2} \iint \Delta V_r^{(1)}(\Theta_1, z) \cos n\Theta_1 \cos \frac{m\pi z}{2H} d\Theta_1 dz;$$

$$\omega_m = \frac{m\pi}{2} \cdot \frac{C_o}{H} \quad (m=1,3,\dots)$$

შემთხვევა 3. ორი წყალმიმღების სინქრონული რხევა და კაშხალის არსებობა (ნახ. 2).

ამ შემთხვევაში გარკვეულ მანძილზე მდებარე კაშხალი გავლენას ახდენს სინქრონული მერხევი ორი წყალმიმღების დაძაბულ მდგომარეობაზე. ანალოგიურად გვექნება სასაზღვრო პირობები (ნახ. 2, ბ):

$$\left. \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right|_{x=L} = 0; \quad \left. \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right|_{z=0} = 0; \quad \left. \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right|_{r_1=r_o} = V_o \cos \Theta_1; \quad \left. \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right|_{r=r_o} = V_o \cos \Theta; \quad \varphi|_{z=H} = 0;$$



ნახ. 2. კაშხლის სიახლოვეს მყოფი ორი წყალმიმღების სინქრონული რხევის სქემა

ნულოვანი მიახლოებისათვის ვიღებთ ჯამს:

$$\begin{aligned} \varphi^{(0)} = & V_0 H \sum_{m=1,3,\dots}^{\infty} A_m K_1 \left(\frac{m\pi}{2} \cdot \frac{r_0}{H} \right) \cos \frac{m\pi z}{2H} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} + \\ & + V_0 H \sum_{m=1,3,\dots}^{\infty} A_m K_1 \left(\frac{m\pi}{2} \cdot \frac{r_1}{H} \right) \cos \frac{m\pi z}{2H} \frac{x}{\sqrt{x^2 + (y - L_1)^2}}; \end{aligned}$$

$$A_m = \frac{16}{m^2 \pi^2} (-1)^{\frac{m-1}{2}} \left[K_0 \left(\frac{m\pi}{2} \cdot \frac{r_0}{H} \right) + K_2 \left(\frac{m\pi}{2} \cdot \frac{r_0}{H} \right) \right]^{-1/2}$$

პირველი მიახლოებისათვის ვიღებთ ჯამს:

$$\varphi^{(1)} = \varphi^{(0)} + \varphi_{კაშხ}^{(1)},$$

სადაც,

$$\left. \frac{\partial \varphi_{\text{კაბ}}^{(1)}}{\partial x} \right|_{x=L} = -\Delta V_x^{(0)}(y, z); \quad \left. \frac{\partial \varphi^{(0)}}{\partial x} \right|_{x=L} = \Delta V_x^{(0)}(y, z); \quad \left. \frac{\partial \varphi^{(s)}}{\partial r_1} \right|_{r_1=r_o} = V_o \cos \Theta_1 + \Delta V_r^{(0)}(\Theta_1, z).$$

ამონახსნი აიღება ვერტიკალური დრეკადი კედლის რხევის განტოლებიდან.

რიცხვითი ამონახსნის სახით განხილული იქნა ნამახვანჰესის კომპურა ტიპის წყალმიმღები.

განგარიშება ჩატარდა ჩვენ მიერ დამუშავებული ალგორითმით და საანგარიშო პროგრამით (FORTRAN პერსონალური კომპიუტერისთვის).

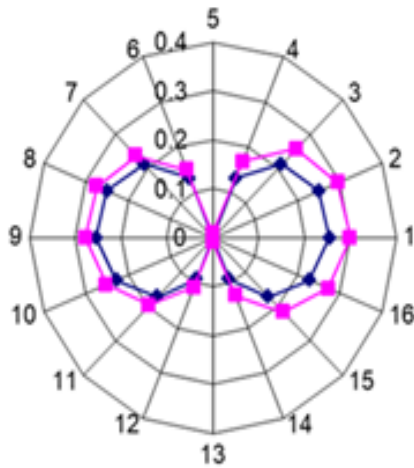
პროგრამა გათვალისწინებულია კომპურა ტიპის წყალმიმღები ნაგებობებისა და კაშხლის ურთიერთზეგავლენის შესაფასებლად, წრფივი დრეკადი რხევების არსებობისას.

ჩატარდა საკონტროლო განგარიშებები სპეციალურად შედგენილი ტესტებით, რომელთა შედეგები კარგად შეესაბამება ეტალონურ ამონახსნებს. განგარიშებისას განხილულ იქნა ვარიანტები, კერძოდ წყალმიმღებების კონფიგურაციის (r_o / H), ურთიერთშორის მანძილის (L_1 / L) და წყალმიმღებებსა და კაშხლის დაშორების (L/H) სხვადასხვა შემთხვევისათვის (ნახ. 3, 4, 5).

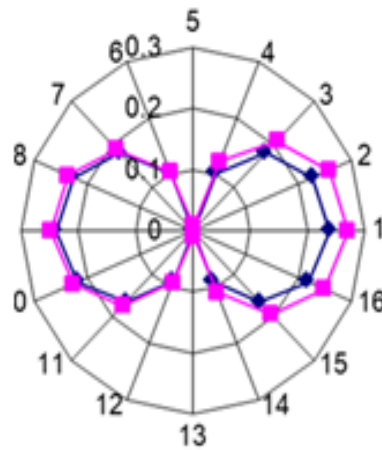
განგარიშებებით მიღებული იქნა, რომ:

- r_o / H ფარდობის შემცირებისას, წყალმიმღებების სიმაღლეზე წნევის ცვლილების კანონზომიერება მით უფრო შორდება პარაბოლური განაწილების ხასიათს. წნევა კომპის სიმაღლეზე პრაქტიკულად ინარჩუნებს მუდმივ მნიშვნელობას და თავისუფალ ზედაპირთან იწყებს შემცირებას. კაშხალსა და წყალმიმღებ ნაგებობებს შორის მანძილის გაზრდით წნევის გავლენა ამ უკანასკნელზე კლებულობს;
- წყალმიმღებ კომპების სიახლოვის ზრდა, მათ ურთიერთგავლენას უფრო ზრდის, ხოლო გარკვეული მანძილით დაშორების შემთხვევაში წნევის ეპიურა ერთი წყალმიმღებისა და კაშხლის ურთიერთქმედების მსგავსია, ე.ი. ურთიერთქმედება ერთმანეთთან არ აღინიშნება.

ორი წყალმიმღების არსებობისას
 $r_0/h=0.25, L/h=1, L_1/L=0.55$

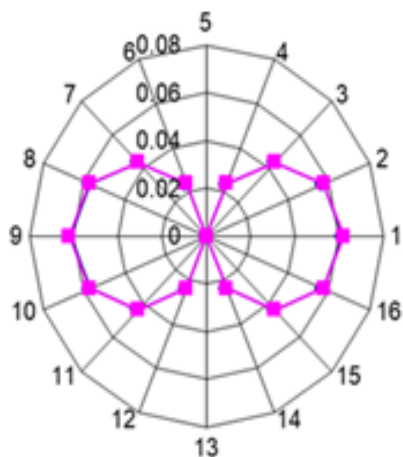


ორი წყალმიმღების არსებობისას
 $r_0/h=0.25, L/h=1, L_1/L=0.75$

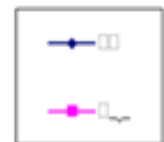
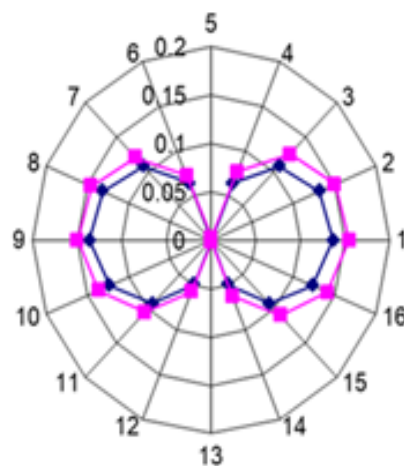


ნახ.3. სიჩქარის პოტენციალი ორი წყალმიმღების არსებობისას. გეომეტრული პარამეტრების 1 და 2 ვარიანტი.

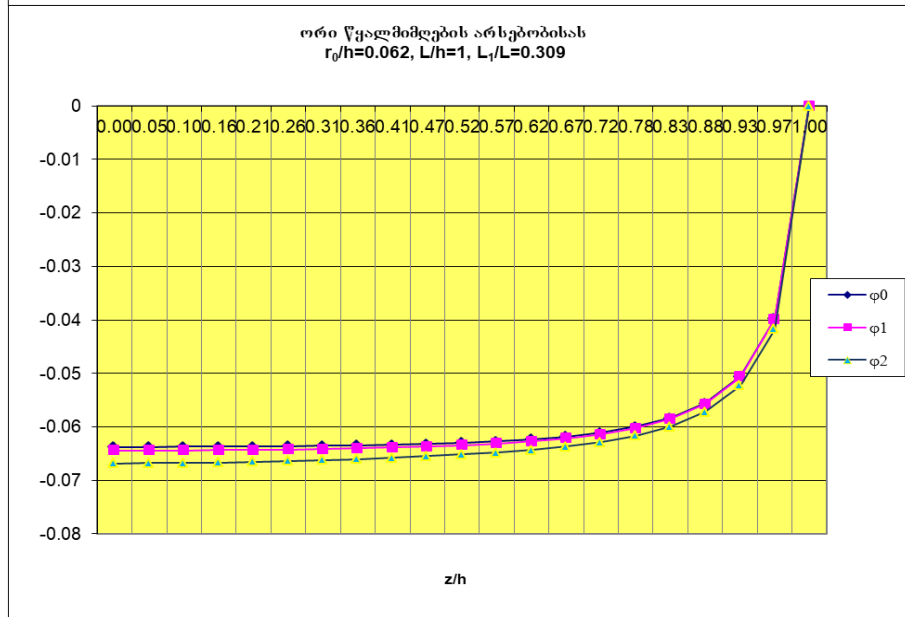
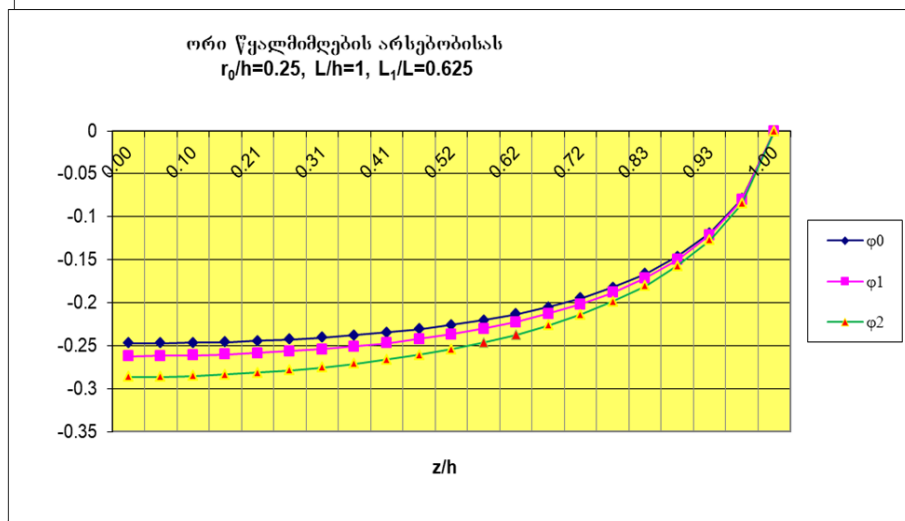
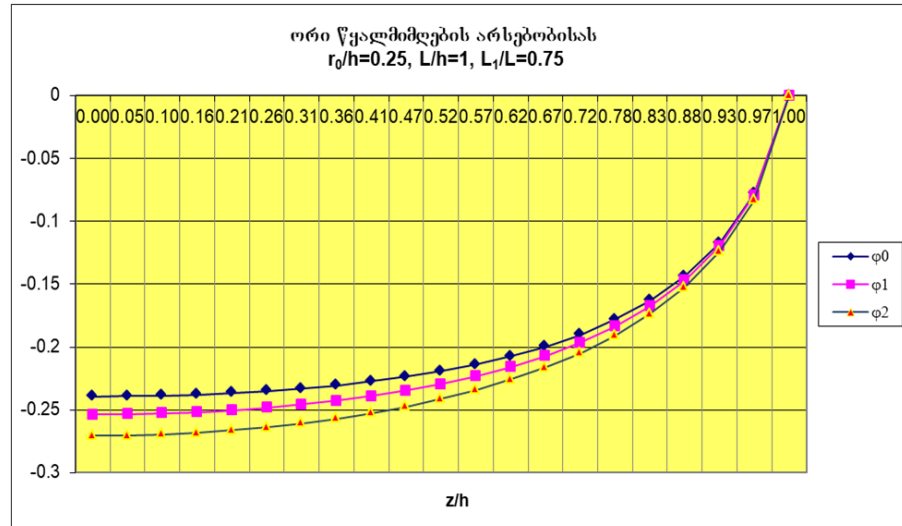
ორი წყალმიმღების არსებობისას
 $r_0/h=0.062, L/h=3, L_1/L=0.309$



ორი წყალმიმღების არსებობისას
 $r_0/h=0.125, L/h=1, L_1/L=0.3125$



ნახ.4. სიჩქარის პოტენციალი გეგმაში ორი წყალმიმღების არსებობისას. გეომეტრული პარამეტრების 3 და 4 ვარიანტი.



ნახ.5 სიჩქარის პოტენციალი სიმაღლეში ორი წყალმიმღების არსებობისას.
 გეომეტრული პარამეტრების 1 და 2 ვარიანტი

მესამე თავში მოცემულია გაანგარიშების ძირითადი ალგორითმი ორ და სამ განზომილებიანი ამოცანის ფარგლებში.

წყალმიმღები კოშკი ზოგადად წარმოადგენს სივრცით კონსტრუქციას წრიული ან მართკუთხა განივკვეთით ხოლო სიმაღლეში შესაძლებელია ჰქონდეს მუდმივი ან ცვლადი გეომეტრიული ზომები. ასეთ კონსტრუქციებში, ჩვეულებრივად განივკვეთის ზომები (რადიუსი ან გვერდი) მნიშვნელოვნად მცირეა სიმაღლესთან შედარებით, ფუძის სეისმური რხევისას კონსტრუქცია ძირითადად ვერტიკალურ სიბრტყეში განიცდიან ღუნვის დეფორმაციებს, რომლის დროს განივი კვეთები დეფორმაციის გარეშე განიცდიან მობრუნებას. ამ დროს კონსტრუქციის კორპუსში ჩნდება დამატებითი ვერტიკალური ნორმალური ძაბვები. საინჟინრო თვალსაზრისით წყალმიმღები კოშკის სეისმოდაცემული მდგომარეობის შესაწავლა უპირატესად მიზნად ისახავს ხსენებული ძაბვების ექსტრემალური მნიშვნელობების განსაზღვრას.

წყალმიმღების სივრცითი კონსტრუქციის შესწავლა ზოგადად წარმოადგენს სამ განზომილებიან ამოცანას. ცხადია, გაანგარიშების თვალსაზრისით უფრო მოხერხებულია საკითხის განხილვა ორ განზომილებიანი ამოცანების ფარგლებში. ნაშრომში წარმოდგენილია სქემა, რომელიც განიხილავს წყალმიმღები კოშკის შესაბამისი სიმაღლის, ექვივალენტური დინამიკური პარამეტრების მქონე მართკუთხა კვეთის პრიზმული კონსტრუქციას.

ცილინდრული კონსტრუქციის შემთხვევაში რგოლური კვეთის შეცვლა ექვივალენტური მართკუთხა კვეთის მქონე პრიზმული კონსტრუქციით, შესაძლებელია მოხდეს დაყვანილი მექანიკური პარამეტრების გამოყენებით, რომლის დროს უნდა სრულდებოდეს პირობა (ნახ.6):

$$E_0 I_0 = E_R I_R$$

სადაც, I_0 და I_R - ინერციის მომენტებია ცილინდრული კონსტრუქციის რგოლური და ექვივალენტური პრიზმულ კონსტრუქციის მართკუთხა კვეთებისათვის შესაბამისად;

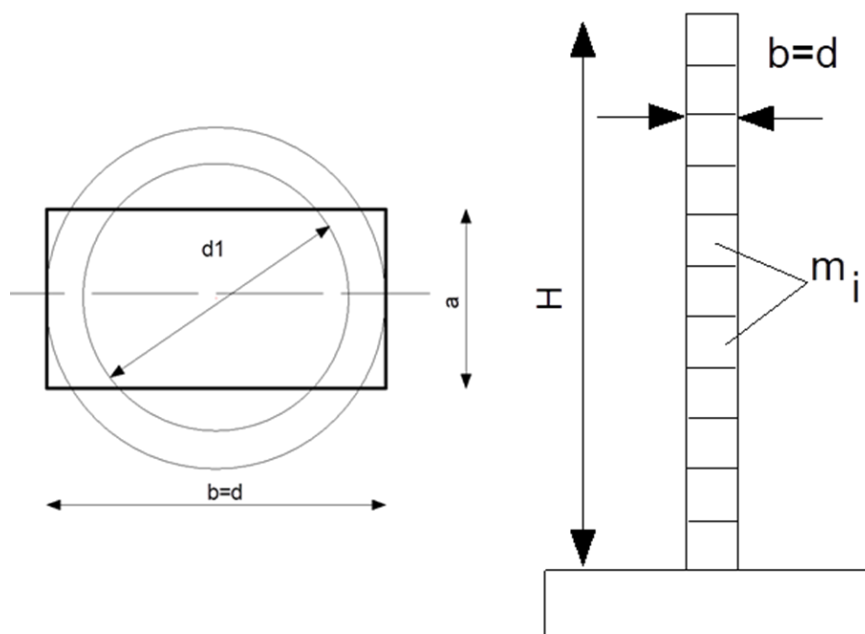
E_0 - ცილინდრული კონსტრუქციის მასალის დრეკადობის მოდულია;

E_R - პრიზმული ძელის დაყვანილი დრეკადობის მოდულია ღუნვის დეფორმაციისათვის.

საბოლოოდ, სრული ვერტიკალური ნორმალური ძაბვები პრიზმულ კონსტრუქციაში საექსპლუატაციო დატვირთვების სტატიკური და დინამიკური ზემოქმედების გათვალისწინებით შესაძლებელია მიღებული იქნას სუპერპოზიციის პრინციპის თანახმად:

$$\sigma_s = \sigma_{y,d} + \sigma_{y,s}$$

აქ, $\sigma_{y,d}$ და $\sigma_{y,s}$ - ვერტიკალური ნორმალური ძაბვებია პრიზმულ კონსტრუქციაში განვითარებული დინამიკური და სტატიკური ზემოქმედებით შესაბამისად.

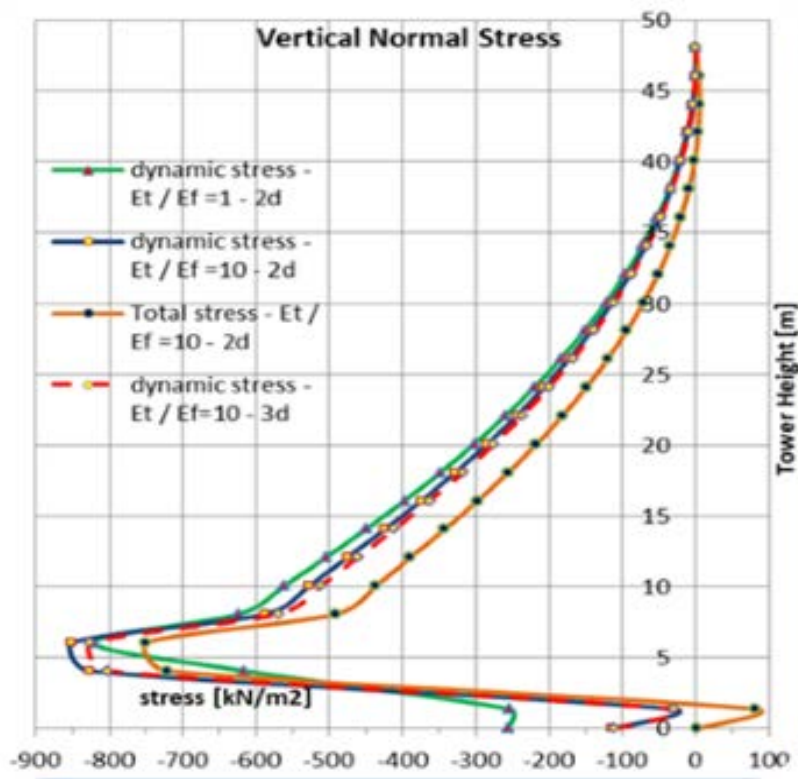


ნახ. 6 წრიული კვეთის კოშკურა წყალმიმღების ექვივალენტური მართკუთხა კვეთის პრიზმული ძელი.

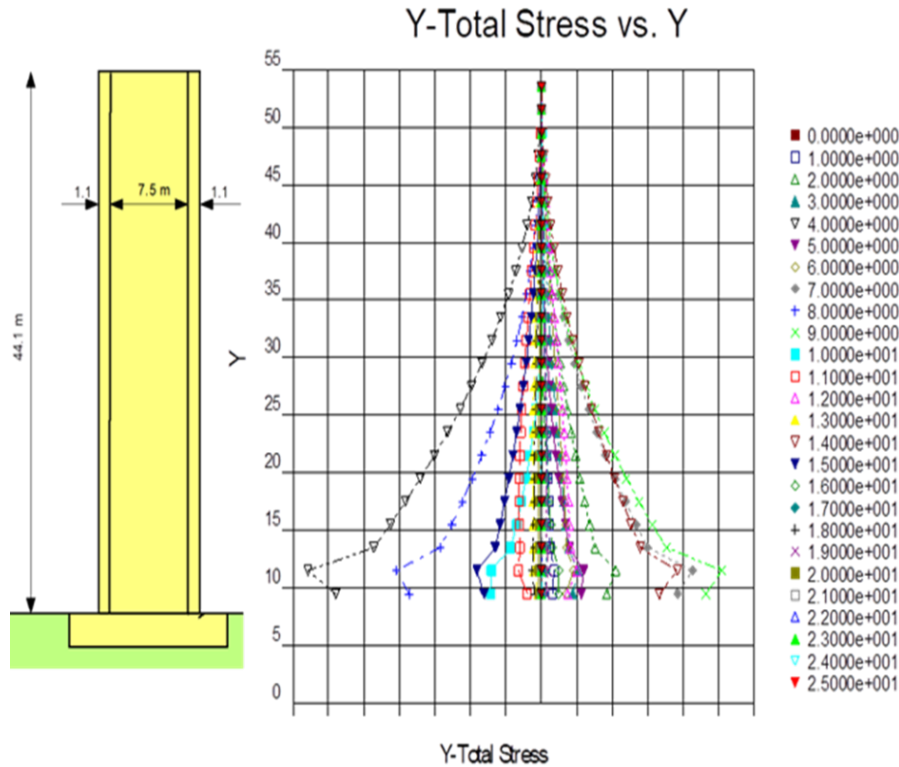
პრიზმული ძელისათვის მასების (m_i) განაწილება სიმაღლეში მოხდება კოშკის საპროექტო კონსტრუქციის გეომეტრიული ზომების მიხედვით - მათი დაყვანილი მნიშვნელობების მიხედვით.

ზოგადად, წრიული ან მართკუთხა კვეთის და ასევე სიმაღლეში ცვლადი გეომეტრიული ზომის მქონე წყალმიმღები კოშკის სეისმიურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშების სქემა შესაძლებელია წარმოდგენილი იქნას ექვივალენტური ინერციის მომენტისა და, სიმაღლეში, ასევე ექვივალენტური მასების (m_i) განაწილების მქონე მართკუთხა კვეთის მქონე პრიზმული ძელის სახით (ნახ. 6).

იდენტური დინამიკური ზემოქმედებისას ორ და სამ განზომილებიანი რიცხვითი ანალიზის შედეგების მიხედვით განსხვავება ცილინდრული კონსტრუქციის კორპუსში ექსტრემალურ მნიშვნელობის ვერტიკალურ ნორმალურ ძაბვებს ($\sigma_{y,d}$) შორის არ აღემატება 3%-ს, რაც სავსებით მისაღებია საინჟინრო თვალსაზრისით (ნახ.7).



ნახ.7 ექსტრემალური მნიშვნელობის ვერტიკალური ძაბვები. ა. დინამიკური ძაბვები ($\sigma_{y,d}$); B - დინამიკური $\sigma_{y,d}$ და ჯამური ძაბვები σ_s .

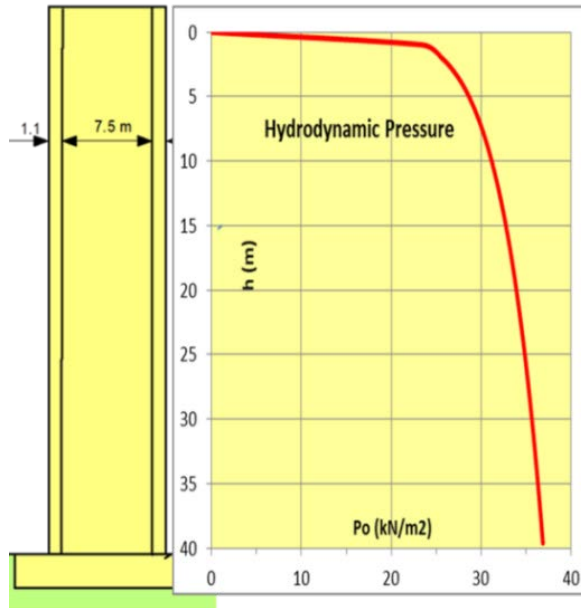


ნახ.8 ვერტიკალური ნორმალური ძაბვების ($\sigma_{y,d}$) განაწილება ცილინდრული კონსტრუქციის სიმაღლეში პიკური აჩქარების დროს (ინტეგრების დროითი ბიჯების ამონახსნების მიხედვით).

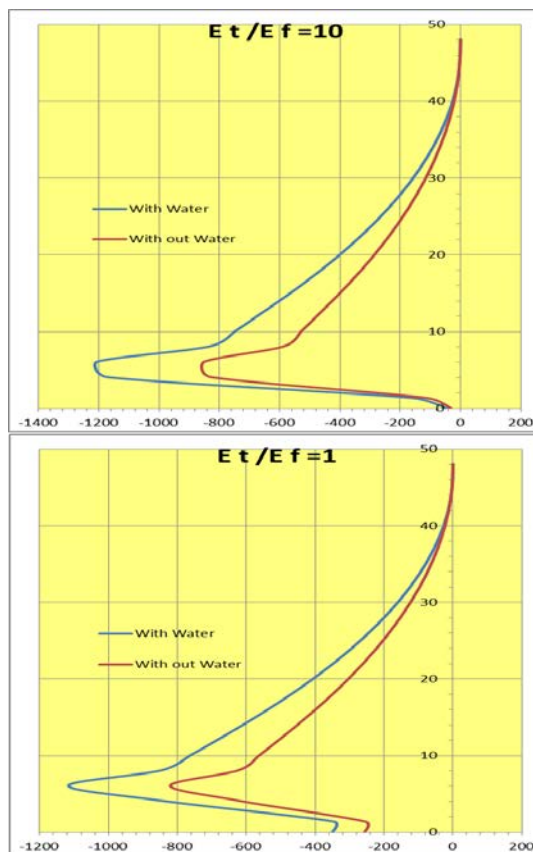
ინტეგრების დროითი ბიჯების ამონახსნების მიხედვით მაქსიმალური აჩქარების შესაბამისი ვერტიკალური ნორმალური ძაბვების ($\sigma_{y,d}$) ექსტრემალური მნიშვნელობა ცილინდრულ კონსტრუქციის ფუძეში აღწევს $\pm 860 \text{ kN}/\text{m}^2$, რაც შესაბამისი ძაბვების სტატიკური მნიშვნელობის ($\sigma_{y,s} = 1060 \text{ kN}/\text{m}^2$) 81%-ს აღწევს (ნახ. 8).

სავსე წყალსაცავის არსებობის დროს გაანგარიშების შედეგად მიღებული იქნა კომპურა წყალმიმღების კორპუსზე პიკური აჩქარების დროს განვითარებული პარამეტრები, მათ შორის :

- წყალსაცავიდან განვითარებული ჰიდროდინამიკური დატვირთების ეპიურა (ნახ. 9);
- კედლებში ექსტრემალური მნიშვნელობის ვერტიკალური ნორმალური ძაბვები (σ_y , ნახ.10);
- წრიულ კვეთებში ექსტრემალური მნიშვნელობის მთავარი ძაბვები (σ_{max} , σ_{min}).



ნახ. 9 ჰიდროდინამიკური დატვირთვა წყალმიმღებ კოშხე პიკური აჩქარების დროს ($T=4$ წმ).

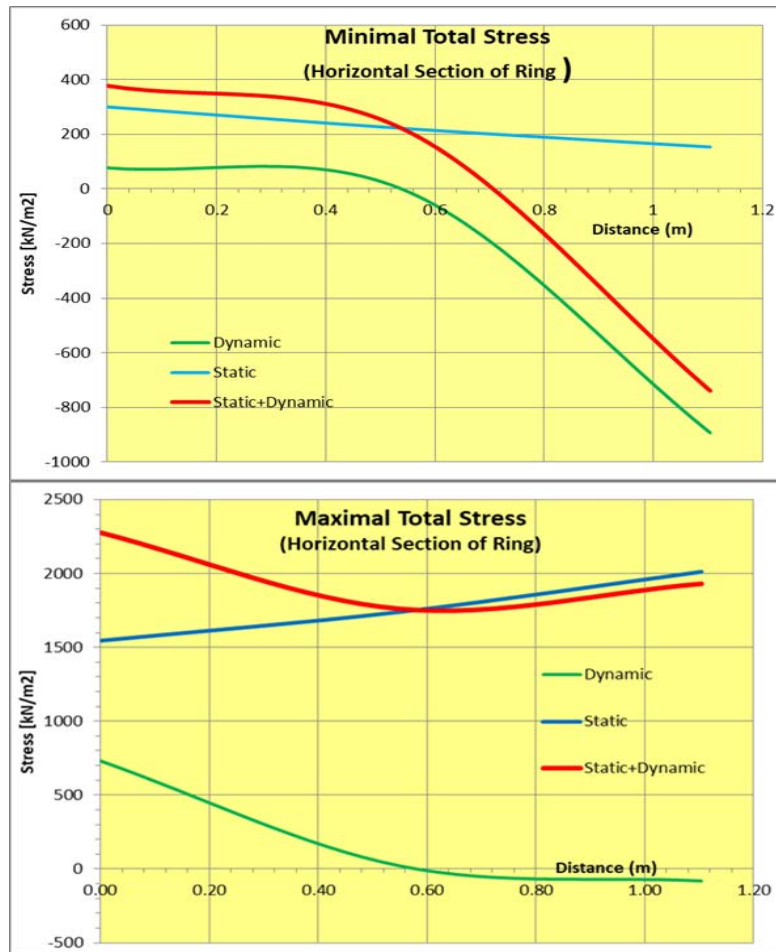


ნახ. 10 ექსტრემალური მნიშვნელობის ვერტიკალური ნორმალური ძაბვები σ_y კოშკურა წყალმიმღების კედელში: (ცარიელი წყალსაცავის დროს (წითელი ფერი); ჰიდროდინამიკური დატვირთვების გათვალისწინებით (ლურჯი ფერი)).

რგოლური ძაბვები კომპურა წყალმიმღების კედელში

განგარიშების შედეგად მიღებული იქნა კომპურა წყალმიმღების რგოლური კვეთის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის პარამეტრები, მათ შორის:

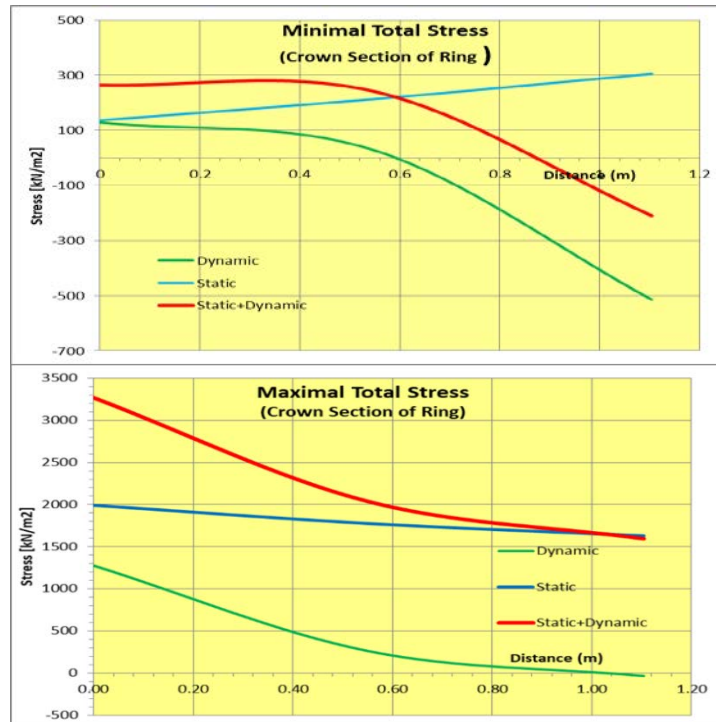
- მაქსიმალური და მინიმალური მთავარი ძაბვები მხოლოდ ჰიდროსტატიკური, ასევე ჰიდროდინამიკური და ჯამური (ჰიდროსტატიკური და ჰიდროდინამიკური) წნევების ზემოქმედებისას;



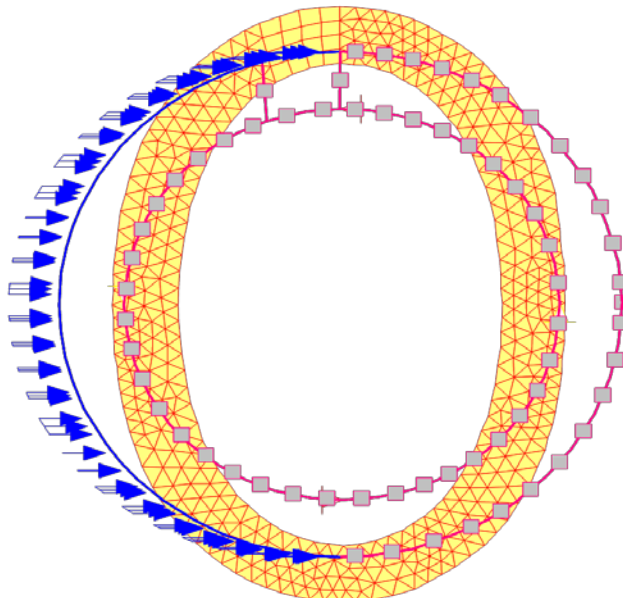
ნახ. 11 მაქსიმალური და მინიმალური მთავარი ძაბვების განაწილება რგოლურ კონსტრუქციის ჰორიზონტალურ კვეთში ჰიდროსტატიკური, ჰიდროდინამიკური წნევებისა და მათი ჯამური ზემოქმედებისას.

- რგოლის ჰორიზონტალურ და კლიტის კვეთებში მთავარი ძაბვების განაწილება ჰიდროდინამიკური და, ასევე ჯამური წნევების ზემოქმედებისას (ნახ. 11,12);

- დეფორმირებული მდგომარეობა მხოლოდ ჰიდროდინამიკური წნევის ზემოქმედებისას (ნახ. 13).



ნახ. 12 მაქსიმალური და მინიმალური მთავარი ძაბვების განაწილება რგოლურ კონსტრუქციის ვერტიკალურ კვეთში ჰიდროსტატიკური,



ჰიდროდინამიკური წნევებისა და მათი ჯამური ზემოქმედებისას.

ნახ. 13 კომპლურა წყალმიმღების დეფორმირებული წრიული კვეთი ჰიდროდინამიკური დატვირთვების ზემოქმედებით.

დასკვნა

- ❖ ტალღური თეორიის ფარგლებში დამუშავებულ იქნა ალგორითმი და საანგარიშო პროგრამა კომპურა ტიპის წყალმიმღებ ნაგებობებისათვის ჰიდროდინამიკური წნევის განსაზღვრისათვის სეისმური ზემოქმედების დროს (დრეკადი რხევების მიხედვით) წყალმიმღებების კონფიგურაციის (r_0/H), ასევე მათ შორის (L_1/L) კომპსა და კაშხალს შორის მანძილების (L/H) გათვალისწინებით. აღნიშნულის საფუძველზე შესაძლებელია განსაზღვრული იქნას ნაგებობათა შორის დაშორების სახიფათო ზონა;
- ❖ ნამახვანის შეწყვილებული ცილინდრული ტიპის წყალმიმღები ნაგებობებისათვის მიღებულ იქნა წყლის ჰიდროდინამიკური ზემოქმედებით განვითარებული დატვირთვები, რაც ითვალისწინებს ასევე მათი კაშხლიდან დაშორების გავლენას. კერძოდ:
 - r_0/H ფარდობის შემცირებისას, წყალმიმღებების სიმაღლეზე წნევის ცვლილების კანონი არსებითად განსხვავებულია და შესაბამისად, შორდება პარაბოლური განაწილების ხასიათს. ჰიდროდინამიკური წნევა კომპის სიმაღლეზე პრაქტიკულად ინარჩუნებს მუდმივ მნიშვნელობას, ხოლო წყლის თავისუფალ ზედაპირთან იწყებს შემცირებას. დასტურდება ლოგიკური კანონზომიერება. კერძოდ, კაშხალსა და წყალმიმღებ ნაგებობებს შორის მანძილის გაზრდით წნევის გავლენა კომპებზე შესაბამისად მცირდება;
 - წყალმიმღებ კომპებს შორის მანძილის შემცირება, მათ ურთიერთ გავლენას უფრო ზრდის, ხოლო მანძილის გაზრდა პირიქით, გავლენას ამცირებს და გარკვეული მანძილით დაშორების შემთხვევაში წნევის ეპიურა ერთი წყალმიმღებისა და კაშხლის ურთიერთქმედების მსგავსი ხდება. ამდენად, კომპებს შორის გარკვეული კრიტიკული მანძილის არსებობისას მათი ურთიერთგავლენა ქრება.
- ❖ კომპურა ტიპის წყალმიმღებ ნაგებობათა სეისმომედეგობაზე გაანგარიშებისათვის ორ განზომილებიანი ამოცანის ფარგლებში

სპექტრალური თეორიის საფუძველზე, სასრული ელემენტების მეთოდის გამოყენებით, დამუშავებული იქნა კვლევის მეთოდოლოგია წყლის ჰიდროდინამიკური ზემოქმედებით განვითარებული დატვირთვების გათვალისწინებით. წყლის ინერციული ზემოქმედების გაანგარიშება ემყარება წარმოდგენილ ნაშრომში დამუშავებულ მეთოდოლოგიას.

- ❖ კომპურა წყალმიმღების სივრცითი კონსტრუქციის დინამიკური გაანგარიშების გამარტივებული მოდელი ორ განზომილებიანი ამოცანის ფარგლებში სასრული ელემენტების მეთოდის გამოყენებით გულისხმობს წრიული ან მართკუთხა კვეთის, სიმაღლეში ცვლადი გეომეტრული პარამეტრების მქონე კონსტრუქციის მოდელირებას დაყვანილი პარამეტრების მქონე პრიზმული ძელის გამოყენებით. აღნიშნული მოდელი საშუალებას იძლევა შეირჩეს კომპის კონსტრუქციის საპროექტო პარამეტრები, მათ შორის რკინაბეტონის კედლის ფარდობითი სისქე.
- ❖ ცარიელი წყალსაცავის არსებობისას ორ და სამ განზომილებიანი ამოცანების ფარგლებში ჩატარებულმა რიცხვითი ამონახსნების ანალიზმა აჩვენა შედეგების კარგი თანხვედრა. ყოველივე მყარ საფუძველს ქმნის რათა ხსენებული ორ განზომილებიანი მოდელი გამოყენებული იქნას ასევე, სავსე წყალსაცავის დროს განვითარებული წყლის დინამიკური ზემოქმედების გასათვალისწინებლად.
- ❖ რიცხვითი გაანგარიშებების საფუძველზე შეფასებული იქნა:
 - თეძამის ჰიდროკვანძის წყალმიმღები ნაგებობის სეისმური დამაბული მდგომარეობა და სიმტკიცის მარაგები წყლის ჰიდროდინამიკური ზემოქმედების გათვალისწინებით. მიღებული იქნა წყალმიმღები კომპის რკინა-ბეტონის კედლის ფარდობითი სისქის (t/r) ოპტიმალური მნიშვნელობა წყლის დინამიკური ზემოქმედების გათვალისწინებით.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული პუბლიკაციები:

1. ბუკია ზ. ჰიდროდინამიკური დატვირთვები კომპურა ტიპის წყალმიმღებ ნაგებობებზე მიწისძვრის დროს, ჟურნალი ენერგია #3(11), 1999.
2. ბუკია ზ. ორი ცილინდრული კომპურა ტიპის წყალმიმღების კაშხალთან ურთიერთქმედება მიწისძვრის დროს, ჟურნალი ენერგია #3(15), 2000.
3. Kalabegishvili, M. Bukia Z., Sadunishvili M., Mchedlishvili G.. Tower intake seismic resistance two dimensional model. სამეცნ. ტექნ. ჟურნალი „მშენებლობა“ N 3(56)2020
4. ბუკია ზ. კომპურა ტიპის წყალმიმღები ნაგებობების რეაქცია მიწისძვრის დროს სამეცნ. ტექნ. ჟურნალი „მშენებლობა“. N 1(58) 2021.
5. ბუკია ზ. ორი ცილინდრული კომპურა ტიპის წყალმიმღები ნაგებობების რეაქცია მიწისძვრის დროს კაშხლის ურთიერთქმედების გათვალისწინებით. სამეცნ. ტექნ. ჟურნალი „მშენებლობა“. N 1(58) 2021

Abstract

The dissertation "Hydrodynamic load on tower water intake during the earthquake" discusses the study of the strength and stability of tower-type structures in medium and high-pressure hydrosystem during seismic impact.

Under the wave theory, an algorithm and calculation program were developed for tower-type aquifers to determine the hydrodynamic pressure during seismic impacts (according to elastic oscillations), configuration of aquifers, as well as between towers and tower distances between dams. Every opportunity is given to determine the dangerous zone of distance between buildings.

Based on the research methodology, loads developed by hydrodynamic impact of water for paired cylindrical intake structures of circular cross-section were obtained, which also takes into account the impact of their distance from the dam.

Within the framework of the two-dimensional task of spectral theory, using the finite element method, the research methodology was developed taking into account the loads developed by the hydrodynamic impact of water. The calculation of the inertial impact of water is based on the methodology developed in the presented paper.

A simplified model for the dynamic calculation of the spatial construction of a tower intake was developed using the finite element method within the two dimensional task, which involves modeling a structure with a circular or rectangular section with variable geometric parameters in height using a prism pole with reduced parameters. This model made it possible to select the design parameters of the tower construction, including the relative thickness of the reinforced concrete wall.

In the presence of an empty reservoir, the analysis of numerical solutions performed within the framework of two and three dimensional tasks showed a good agreement of the results. All provide a solid basis for the application of the

above two dimensional models to take into account the dynamic impacts of water developed during a full reservoir.

Based on the developed methodology, the seismic stress condition and strength reserves of the Tedzami hydropower plant were assessed taking into account the hydrodynamic impacts of the water. The optimal value of the relative thickness (t / r) of the reinforced concrete wall of the intake tower was obtained taking into account the dynamic impact of water.