

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მარეხი სადუნიშვილი

ენგურჰესის მაგალითზე გეოდეზიურ განაზომებში
გრაფიტაციული შესწორებების განსაზღვრის მეთოდების
დამუშავება და კვლევა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2013 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში
სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტი
საინჟინრო გეოდეზიისა და გეოინფორმატიკის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: ასოც. პროფ. სულიკო ფირალიშვილი

რეცენზენტები:

ტ.მ.დ. კ. ჩხიკვაძე

ასოც. პროფესორი პ. ჭიჭაღუა

დაცვა შედგება 2013 წლის "25" ივლისი, 15:00 საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამთო-

გეოლოგიური ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის № 34

სხდომაზე, კორპუსი III , აუდიტორია №239

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,

ასოც. პროფესორი

დ. თევზაძე

შესავალი

ნაშრომის აქტუალურობა. ჩვენს საუკუნეში ადამიანის გავლენა ბუნებაზე მკვეთრად გაზრდილი. ამავე დროს პერმანენტულად იზრდება გეოდეზიური სამუშაოს სიზუსტე და სიზუსტის გაზრდის მოთხოვნები.

ეს გასათვალისწინებელია მსხვილი საინჟინრო ობიექტების მშენებლობისას როდესაც ხდება წყლისა და მიწის დიდი მასების გადაადგილება, რაც იწვევს დედამიწის გრავიტაციული ველის ტექნოგენურ ცვალებადობას და დედამიწის ზედაპირის ლოკალურ დეფორმაციებს. ამ მოვლენების შესასწავლად, ასეთი პრეცეზიული ობიექტების მშენებლობის რაიონებში იქმნება გეოდინამიური პოლიგონები, რომელთა ძირითადი ამოცანაა დედამიწის ზედაპირის და საინჟინრო ობიექტების დეფორმაციების შესწავლა, შესაბამისი მითითებების დამუშავება ობიექტების დაპროექტებისა და მშენებლობის პროცესში გასათვალისწინებლად.

გეოდეზიური სამუშაოების სიზუსტის გაზრდა 1.10^{-8} -მდე და გრავიტაციული სამუშაოების 1.10^{-9} -მდე, მოითხოვს ახალ მოდგომას, საინჟინრო ობიექტების დეფორმაციის განსაზღვრისათვის ანუ გეოდეზიური სამუშაოების შედეგების დამუშაოების პროცესში გრავიტაციული ველის ცვალებადობის აღრიცხვას.

გრავიტაციული ველის ცვალებადობა გავლენას ახდენს კუთხურ და ხაზოვან გაზომვებზე, პირდაპირი და შებრუნებული შვეულების ჩვენებებზე, ასევე ელიფსოიდის ზედაპირზე რედუცირების შედეგებზე. ეს ფაქტორები ნაკლებ გავლენას ახდენს გადაადგილების განსაზღვრის გასწვრივობის მეთოდზე და GPS კოორდინატების განსაზღვრაზე. ნაშრომის აქტუალურობა მდგომარეობს იმაში, რომ დაკვირვების არსებული მეთოდები არ იძლევა საშუალებას მივალწიოთ იმ სიზუსტეს, რომელსაც მოითხოვს კაშხლებზე დეფორმაციების დაკვირვების ინსტრუქცია.

სამუშაოს მიზანი. გეოდეზიური განაზომების შეწორებების განსაზღვრა გრავიტაციული ველის ცვალებადობის გამო შეიძლება ორი მეთოდით: პირველი მეთოდი ეფუძნება ტექნოგენურ გეოდინამიკური პოლიგონის რაიონში მაღალი სიზუსტის განმეორებითი დეტალური გრავიმეტრიული დაკვირვების ჩატარებას და ცნობილი ხერხით შვეულის გადახრების და კვაზიგეოიდის სიმაღლეების გამოთვლას. ეს მეთოდი დაკავშირებულია დიდი მოცულობის გრავიმეტრიული გაზომვების ჩატარებასთან და შრომატევად გამოთვლებთან. ამავე დროს ყოველთვის არ არის შესაძლებელი თანაბარი გრავიმეტრიული აგეგმვით ტერიტორიის დაფარვა, რაიონის ფიზიკო-გეოგრაფიული პიროფილის გამო. მაგალითად ჰოდრისადგურებზე, კაშხლებზე ან მათ სიახლოვეში არ ხერხდება მაღალი სიზუსტის გრავიმეტრიული გაზომვების ჩატარება კაშხლის ვიბრაციის გამო, რომელიც განპირობებულია ტურბოგენერატორების მუშაობით.

მეორე მეთოდი ითვალისწინებს, ანომალური მასების განაწილებით სიმძიმის ძალის ვარიაციის პარამეტრების გამოთვლას ჰიდროელექტრო სადგურის რაიონში, რომელიც საშუალებას იძლევა ბევრად უფო მარტივად და ზუსტად განისაზღვროს სიმძიმის ძალის პოტენციალის და მისი წარმოებულების ცვალებადობა, ვიდრე გრავიმეტრიული გაზომვებით. სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს გეოდეზიურ განაზომებში გრავიტაციული შესწორებების განსაზღვრის მეთოდების ოპტიმიზაცია და ჰესებზე ჩასატარებულ გეოდეზიურ სამუშაოებში ახალი მეთოდების დანერგვა.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე. პოტენციალის თეორიის პირდაპირი ამოცანის გადაწყვეტით სიმძიმის ძალის პოტენციალის გრადიენტების განსაზღვრის მეთოდი იმაში მდგომარეობს, რომ სრულდება ანომალური ტანის გეომეტრიული ფიგურებით აპროქსიმაცია. ამავე დროს გეომეტრიული ფიგურებიც არ შეიძლება იყოს ნებისმიერი. აქამდე აპროქსიმაცია სრულდებოდა არა სწორად სერჩეული გეომეტრიული ფიგურებით ანუ პარალელებიპედებით, ხოლო ნიუტონის კანონის

მიხედვით იდეალურია სფეროებით აპროქსიმაცია, რაც არის ჩემი ნაშრომის განხილვის ძირითადი საკითხი.

ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა. ტექნოგენური მიზეზების გამო სიმბიომის ძალის პოტენციალის ცვალებადობის გამოთვლის მეთოდების დამუშავებას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს, მითუმეტეს გეოდინამიურ პოლიგონებზე. მაგრამ ჯერჯერობით არ არსებობს კარგად დასაბუთებული თეორია და პრაქტიკული მითითებები, სპეციალური დანიშნულების მაღალი სიზუსტის გეოდეზიურ სამუშაოებზე ტექნოგენური ცვალებადობის გავლენის აღსარიცხავად. არის მხოლოდ ცალკეული შეფასებითი გამოთვლები შესრულებული ელემენტარულ მოდელებზე, რომლებიც გვიჩვენებს შესრულდეს შესაბამისი კვლევები ამ გავლენების დასადგენად.

დამუშავებული მეთოდების გამოყენება პრაქტიკაში საშუალებას იძლევა, მიღებული იქნას დასაკვირვებელი ობიექტების მდგომარეობის რეალური სურათი, რაც ზრდის კაშხლის ექსპლოატაციის პერიოდს და მის საიმედოობას.

გამოყენების სფერო. დამუშავებული მეთოდები, შეიძლება გამოყენებული იქნას უმთავრესად მძლავრ და მაღალდაწვევიან ჰესებზე, იქ სადაც წყალსაცავის ცვალებადი ნაწილის ძირითადი მასა ახლოსაა კაშხალთან და მკვეთრ გავლენას ახდენს კაშხლის უახლოეს ტერიტორიაზე ჩატარებულ მაღალი სიზუსტის გეოდეზიურ სამუშაოებზე.

ცნობები დისერტაციის მოცულობის და სტრუქტურის შესახებ
სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, ლიტერატურული მიმოხილვის, 4 თავის, ძირითადი დასკვნებისა და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისგან. ნაშრომის მოცულობა შეადგენს კომპიუტერზე ნაბეჭდ 111 გვერდს, რომელიც შეიცავს 10 ცხრილს და 18 ნახაზს.

თავი I. მძლავრ ჰესებზე გეოდეზიურ განაზომებზე გრავიტაციული ველის ვარიაციის გავლენის პრობლემის შესწავლის თანამედროვე მდგომარეობა

გრავიტაციული ველის ცვალებადობის შესწავლა, შეიძლება ორი მეთოდით: უშუალოდ ინსტრუმენტალური გაზომვებით და პოტენციალის თეორიის პირდაპირი ამოცანის გადაწყვეტით. ორივე მეთოდი გამოიყენება პრაქტიკაში, და გამოყენებული მაგალითები განხილულია სამეცნიერო ლიტერატურაში, კერძოდ: მოყვანილია ენგურჰესის წყალსაცავის რაიონში განმეორებითი გრავიმეტრიული გაზომვების შედეგები, რომლებიც ჩატარებულ იქნა ოთხჯერ 1976-1978-1987 წლებში. რომლის ძირითადი მიზანი იყო წყალსაცავის რაიონში დეფორმაციული პროცესების დინამიკის შესწავლა, რისთვისაც 1976 წელს შექმნილი იქნა გრავიმეტრიული პოლიგონი. რომელიც წარმოადგენს 110 კმ სიგრძის პროფილს, შავი ზღვის ნაპირიდან (ანაკლია) ენგურჰესის წყალსაცავის მარცხენა ნაპირის გავლით სოფელ ხაიშამდე.

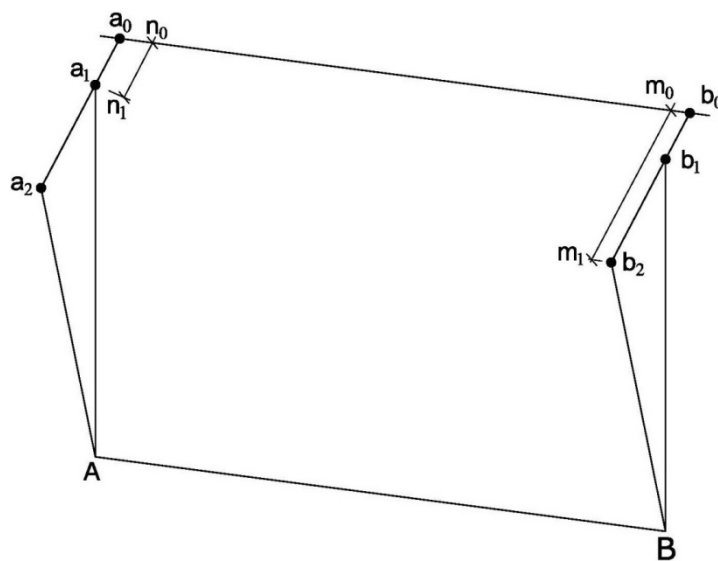
იმავე ტრასაზე რომელზედაც განლაგებულია პროფილი, იგივე წლებში ჩატარებულ იქნა პირველი კლასის გეომეტრიული ნიველობა. რაც საშუალებას იძლეოდა განსაზღვრულიყო ამ ტრასაზე ფაქტიური ზედაპირის დეფორმაციები. გრავიმეტრიულმა გაზომვებმა აჩვენა წყალსაცავის რაიონში განლაგებულ (გპ)-ზე სიმძიმის ძალის ველის ცვალებადობა. წყალსაცავის შუაში განლაგებულ (გპ)-3 პუნქტზე 0,3 მლგ. და დაახლოებით 0,1 მლგ წყალსაცავის ნაპირა პუნქტებზე.

ამ ორი ტიპის გაზომვების შედარება ერთმანეთთან გვიჩვენებს მათ შორის ხარისხობრივ კორელაციას, რაც გამოიხატება იმაში, რომ სადაც ვერტიკალური მოძრაობები დადებითია, იქ სიმძიმის ძალის ველის ცვალებადობა უარყოფითია და პირიქით. გეოდეზიურ განაზომებში შესწორებების განსაზღვრა გრავიტაციული ველის ცვალებადობის გამო შეიძლება ორი ძირითადი გზით: პირველი გზა მდგომარეობს იმაში, რომ რომელიმე მეთოდით განისაზღვრება სიმძიმის ძალის ველის

ცვალებადობის გრადიენტები, რომელთაგანაც შეიძლება გამოთვლილი იქნას ნებისმიერი სახის გეოდეზიური განაზომების შესწორებები.

მეორე გზა კი მდგომარეობს იმაში, რომ გეოდეზიური გაზომვების შესწორებები სიმძიმის ძალის ველის ცვალებადობის გამო განისაზღვრება მაგალითად: ერთი და იგივე დეფორმაციების განსაზღვრით, ორი სხვადასხვა სახის გეოდეზიური გაზომვებით, ამასთან გეოდეზიური განაზომების ერთ სახეზე სიმძიმის ძალის ველის ცვალებადობა უნდა ახდენდეს გავლენას, მეორეზე კი არა.

პირველ მეთოდად, რომელზეც მოქმედებს სიმძიმის ძალის ველის ცვალებადობა, მიღებულია ძვრების განსაზღვრა შებრუნებული შვეულებით. ხოლო მეთოდით, რომელზეც თითქმის არ მოქმედებს ველის ცვალებადობა, მიღებულია გასწორითი გაზომვებით. (ნახ.1)



ნახ. 1. შვეულის გადახრების განსაზღვრის მეთოდები

შესწორებების მიღების ეს გზა არ მოითხოვს რთული გრავიმეტრიული გაზომვების ჩატარებას ან პოტენციალის თეორიის პირდაპირი ამოცანის გადაწყვეტის დროს რთულ გამოთვლებს. თუმცა ეს მეთოდი ყოველთვის არ გამოიყენება, მით უმეტეს თაღოვან კაშხლებზე.

კიდევ არსებობს სიმბიმის ძალის პოტენციალის გრადიენტების განსაზღვრის მეორე მეთოდიც, ანუ პოტენციალის თეორიის პირდაპირი ამოცანის გადაწყვეტით. რაც იმაში მდგომარეობს, რომ განისაზღვრება რომელიმე ხერხით ანომალური ტანის გეომეტრია და მასა. სრულდება ანომალური მასის ელემენტარულ ბლოკებად დაუოფა, ყოველი ბლოკის განლაგების მასის და სიმბიმის ცენტრის განსაზღვრა და ამ მასების გამოყენებით წინასწარ შერჩეულ წერტილში ცნობილი ფორმულებით G_x, G_y და G_z დადგენა. ამ მეთოდით კრასნოიარსკის ჰესის წყალსაცავის დონის ცვალებადობამ გამოიწვია $G_x, G_y, |G|$ გრადიენტების შეცვლა 1 მლ გალის ფარგლებში. ხოლო G_z - კი 0,1 მლ გალის. რაც იწვევდა დაახლოებით 0.2" -ით შვეულის გადახრას და ავტორების დასკვნების მიხედვით გათვალისწინებული უნდა იქნას.

ეს მეთოდი საკმაოდ მარტივად გამოიყურება, მაგრამ არის ფარული სირთულეებიც. ეს სირთულეები მდგომარეობს იმაში, რომ ანომალური ტანის გეომეტრიის დადგენა ხდება გარკვეული სიზუსტით. იმის გამო, რომ ანომალური ტანი არ არის გეომეტრიული ფორმის, რთულდება მისი მოცულობების სიმბიმის ცენტრების კოორდინატების განსაზღვრა. ამის გამო საჭირო ხდება ანომალური ტანის გეომეტრიული ფიგურებით აპროქსიმაცია. ამავე დროს გეომეტრიული ფიგურებიც არ შეიძლება იყოს ნებისმიერი სახის, ნიუტონის თეორიის გათვალისწინებით უნდა იყოს სფეროები. მაგრამ სფეროებით ანომალური ტანის შევსება რთულია, მაგრამ ანომალური ტანის სფეროებით შესავსებად შეიძლება გამოყენებული იყოს ანომალური ტანის კუბებად დაყოფის მოდელი. სფეროსთან უახლოესი ფიგურა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს ანომალური ტანის მთლიანად შევსებისა არის კუბი.

როგორც ცნობილია, გრავიტაციული ველის პოტენციალის ცვალებადობა გავლენას ახდენს თითქმის ყველა ტიპის გეოდეზიურ სამუშაოებზე, რომლებიც სრულდება ჰესების მშენებლობის და ექსპლუატაციის დროს. ეს გეოდეზიური სამუშაოებია: მაღალი სიზუსტის

გეომეტრიული ნიველობა, პოლიგონომეტრია, ტრიანგულაცია, ტრიგონომეტრიული ნიველობა, პირდაპირი და შებრუნებული შვეულების და სხვა.

ნაკლებ გავლენას ახდენს მანძილების გაზომვაზე ანუ ტრიანგულაციაზე და გასწორით გეოდეზიურ სამუშაოებზე. გეოდეზიურ სამუშაოებზე გრავიტაციული ველის ცვალებადობას ყველაზე საგრძნობი გავლენა აქვს ციკლურად ჩატარებული მაღალი სიზუსტის გეომეტრიულ ნიველობაზე, რომლითაც ჰესებზე განსაზღვრება მნიშვნელოვანი ნაგებობების დეფორმაციები. ამიტომ გეოდეზისტები ცდილობენ დაამუშაონ შესაბამისი შესწორებების გამოთვლის მეთოდები .

მაგალითად მოყვანოთ კრასნოიარსკის ჰესის პირობებში გეომეტრიული ნიველობის გრავიტაციული შესწორებების გამოთვლის მეთოდიკა. სადაც მაღალი სიზუსტის გეომეტრიული ნიველობის ჩატარდა წყალსაცავის ირგვლივ, ორმაგი სვლით, ცვალებადი გრავიტაციული ველის პირობებში. ნიველობის წარმოების პროცესში ძირითად პრობლემას წარმოადგენს დონებრივი ზედაპირის (კვაზი გეოიდის) სიმაღლის შეცვლა და შვეულების გადახრა. კრასნოიარსკის ჰესის წყალსაცავში წყლის დონის 25მ-ით შეცვლა იწვევს ველის გრადიენტების 0,1 მლ გალით ცვალებადობას. წყალსაცავის რაიონში უშუალოდ განაზომების შედარება ყოველთვის არ ასახავს ამ რაიონის დინამიკას და სწორი სურათის მისაღებად საჭიროა განაზომებში შესწორებების შეტანა. შვეული ხაზების ცვალებადობის გამო. წყალსაცავის ავსება იწვევს არა მარტო დედამიწის ზედაპირის დეფორმაციას, არამედ კვაზი გეოიდის შესაბამის აწევებს. რომელიც უნდა იქნას გათვალისწინებული, რადგან კვაზი გეოიდის აწევა ზოგჯერ შეიძლება მეტიც იყოს ზედაპირის დაჯდომებზე, ხოლო კვაზი გეოიდის ვარიაციები ჩათვლილი იქნას დედამიწის ქერქის მოძრაობებიდან. ნიველობის პერმანენტული წარმოება აუცილებელი პირობაა, დეფორმაციების განსაზღვრის პირობებში.

ზემოთ აღნიშნულთან დაკავშირებით შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი დავასკვნები:

ჰიდროკვანძებზე მაღალი სიზუსტის გეოდეზიურ სამუშაოებში, სიმძიმის ძალის პოტენციალის ცვალებადობის გამო შესწორებების გამოთვლის საკითხები არასაკმარისადაა დამუშავებული და მოითხოვს შემდგომ გამოკვლევებს.

უფრო პერსპექტიულია გაზომილ სიდიდეებში შესწორებების გამოთვლისას გამოყენებული იქნას ისეთი მეთოდები, რომლებიც ემყარება პოტენციალის პირდაპირი ამოცანის გადაწყვეტას. პოტენციალის პირდაპირი ამოცანის გადაწყვეტის დროს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს, ანომალური ტანის ელემენტარული მოცულობით აპროქსიმაციას, ასევე ელემენტარული მოცულობების ფორმას და ზომებს, რომლებიც განსაზღვრავენ გამოთვლების სიზუსტე. სიმძიმის ძალის პოტენციალის პარამეტრების და ყველა სახის გეოდეზიური გაზომვების შესწორებების ფორმულები დაყვანილი უნდა იქნას მოხერხებულ სახეზე კომპიუტერული გამოსათვლებისათვის. გამოვლინდეს ამა თუ იმ სახის გეოდეზიური სამუშაოების წარმოების დროს წყალსაცავში წყლის დონის ცვლილების დასაშვები სიდიდე. განსაზღვრულ იქნას კონკრეტულ ჰესებზე სიმძიმის ძალის პოტენციალის ვარიაციის გავლენის ზღვრები და დადგინდეს სხვადასხვა სახის საყრდენი პუნქტების განლაგების მინიმალური მანძილი (ნიველობაში რეპერების გამოსავალი ჯგუფი, ტრიანგულაციაში გამოსავალი პუნქტები და ა.შ.) ისე, რომ მასზე არ მოქმედებდეს წყალსაცავის მასის ცვალებადობა.

თავი. II. წყალსაცავის რაიონში ტექნოგენური ფაქტორებით გამოწვეული გრავიტაციული ველის ცვალებადობის

ეფექტების კვლევა

მძლავრი ჰიდროელექტრო სადგურების მშენებლობისა და ექსპლოატაციის დროს ადგილი აქვს, სამთო ქანების და წყლის მნიშვნელოვანი მასების გადაადგილებას. ეს იწვევს ჰესის ყველაზე მეტად დატვირთული ნაწილის დეფორმაციას და ჰესის უახლოეს სივრცეში ცვლის სიმძიმის ძალის ველს. ჰესის გეოდეზიური სამსახური (პერიოდულად) დროის განსაზღვრული ინტერვალის შემდეგ აწარმოებს გეოდეზიური გაზომვების ციკლს, რომელთა შედეგები შეიცავს როგორც ნაგებობათა აღნიშნულ დეფორმაციებს, ისე სიმძიმის ძალის ველის (ს.ძ.ვ.) ვარიაციის გავლენას. ამიტომ უნდა მოხდეს განაზომების შედეგებიდან მათი გამორიცხვა.

უფრო მეტი სიზუსტით ეს მიიღწევა პოტენციალის თეორიის პირდაპირი ამოცანის გადაწყვეტით, რომელიც საშუალებას გვაძლევს ყველა სახის გეოდეზიურ გაზომვებში გამოვთვალოთ ს.ძ.ვ. ვარიაციის პარამეტრები და შესწორებები.

ნიუტონის კანონის მიხედვით მიზიდულობის ძალა წერტილოვანი m მასის მქონე I წერტილისა და J ერთეულოვან მასის მქონე წერტილებს შორის გამოითვლება ფორმულით :

$$g = f \cdot \frac{m}{R^2} \quad (1)$$

სადაც - $f = 6.67 \cdot 10^{-8}$ არის მსოფლიო მიზიდულობის კოეფიციენტი;

R – მანძილი J და I წერტილებს შორის და უდრის:

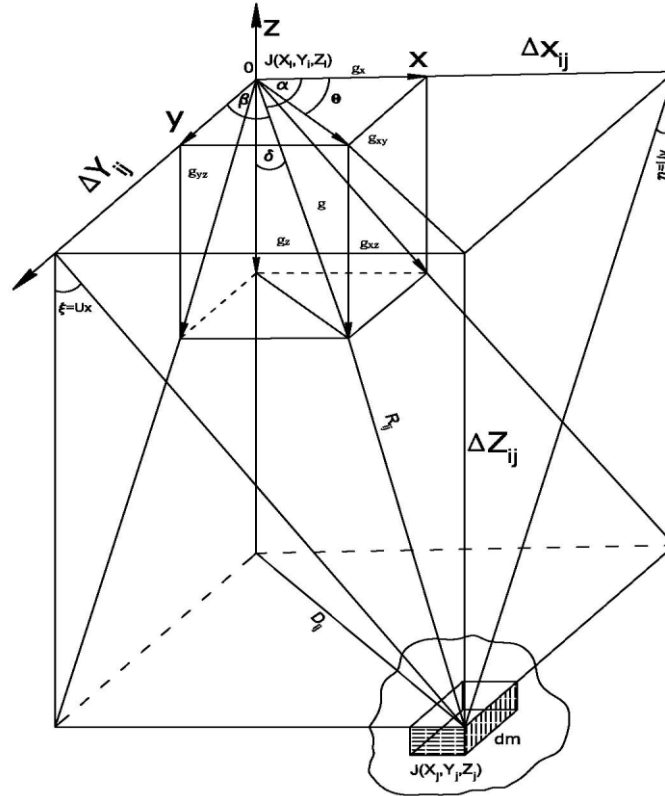
$$R = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2} \quad (2)$$

g - სიმძიმის ძალის პროექცია კოორდინატთა ღერძებზე, მიიღება შემდეგი გამოსახულებიდან:

$$g_x = g \cdot \cos\alpha; \quad g_y = g \cdot \cos\beta; \quad g_z = g \cdot \cos\delta \quad (3)$$

ან [13]-ის გვერდი 231-ის მიხედვით

$$g_x = fm \cdot \frac{\Delta x}{R^3}; \quad g_y = fm \cdot \frac{\Delta y}{R^3}; \quad g_z = fm \cdot \frac{\Delta z}{R^3} \quad (4)$$



ნახ.2. შვეული ხაზის გადახრის ცვალებადობის პროექციები

(ნახ.2.) - ის თანახმად შვეული ხაზის გადახრის ცვალებადობის პროექციები Ox და Oy კოორდინატა ღერძებზე გამოითვლება ფორმულებით;

$$U_x'' = \rho'' \cdot g_x / \gamma; \quad U_y'' = \rho'' \cdot g_y / \gamma \quad (5)$$

სადაც $\gamma = 9.81 \text{ მ/წმ}^2$ - სიმძიმის ძალის აჩქარებაა, ან (3) გათვალისწინებით

$$U_x'' = \frac{m}{W} \cdot \frac{\Delta x}{R^3}; \quad U_y'' = \frac{m}{W} \cdot \frac{\Delta y}{R^3} \quad (6)$$

სადაც

$$W = \frac{\gamma}{\rho'' \cdot f}, \quad (7)$$

შვეულის გადახრა გამოითვლება ფორმულით:

$$U'' = \sqrt{U_x''^2 + U_y''^2} = \frac{m \cdot \sin z}{W \cdot R^2} \quad (8)$$

სადაც Z - ზენიტური მანძილია $J(X_J, Y_J, Z_J)$ წერტილზე. იმ შემთხვევაში, როდესაც მიზიდულობის ძალის მქონე m მასას აქვს გარკვეული ზომის და ფორმის ტანი, ანუ როდესაც მასა განლაგებულია ისეთ მანძილზე, რომ მისი ფორმის უგულველყოფა შეუძლებელია, მაშინ ზემოთ მოყვანილი ფორმულები მიიღებს სახეს

ა) (1) ფორმულა

$$g = f \int \frac{dm}{R^2} \quad (9)$$

ბ) (3) ფორმულა

$$\left. \begin{aligned} g_x &= f \int \frac{\Delta x}{R^3} \cdot dm \\ g_y &= f \int \frac{\Delta y}{R^3} \cdot dm \\ g_z &= f \int \frac{\Delta z}{R^3} \cdot dm \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

გ) (5) ფორმულა

$$\begin{aligned} U_x'' &= \frac{1}{W} \int \frac{\Delta x}{R^3} \cdot dm \\ U_y'' &= \frac{1}{W} \int \frac{\Delta y}{R^3} \cdot dm \end{aligned} \quad (11)$$

თუ m მასის ანომალურ ტანს დავყოფთ n ტოლ მასის მქონე ბლოკებად, მაშინ მე-(11) ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$U_x'' = \frac{dm}{W} \left[\frac{\Delta x}{R^3} \right]; \quad U_y'' = \frac{dm}{W} \left[\frac{\Delta y}{R^3} \right]; \quad (12)$$

დ) (8) ფორმულა

$$U'' = \sqrt{U_x''^2 + U_y''^2} = \frac{dm}{W} \sqrt{\left[\frac{\Delta x}{R^3} \right]^2 + \left[\frac{\Delta y}{R^3} \right]^2} \quad (13)$$

ან რადგან $d_m = m \cdot h$, მაშინ

$$U'' = \frac{m}{n \cdot W} \sqrt{\left[\frac{\Delta x}{R^3}\right]^2 + \left[\frac{\Delta y}{R^3}\right]^2}$$

შვეულის გადახრის მდგენელები ღერძებზე საშუალებას გვაძლევს გამოვითვალოთ საძიებელ წერტილში შვეულის გადახრის აზიმუტი ფორმულით:

$$\Theta = \arctg U''_y / U''_x \quad (14)$$

(9) და (14) ფორმულები საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ სიმძიმის ძალის და შვეულის გადახრის მდგენელების მნიშვნელობები, თუ საკმარისი სიზუსტით მოვახდენთ გარკვეული ზომისა და ფორმის გეომეტრიული სხეულებით, ანომალური მასის აპროქსიმაციას.

როგორც ცნობილია, შვეული ხაზის გადახრის ცვალებადობა გამოითვლება ისევე, როგორც შვეული ხაზის გადახრა ფორმულით:

$$\Delta U'' = \sqrt{\Delta U''_x^2 + \Delta U''_y^2} \quad (15)$$

სადაც

$$\left. \begin{aligned} \Delta U''_x &= \frac{\rho''}{\gamma} [\Delta g_x] \\ \Delta U''_y &= \frac{\rho''}{\gamma} [\Delta g_y] \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

(16)-ში სიმძიმის ძალის პროექციები X და Y ღერძებზე გამოითვლება ფორმულით:

$$\left. \begin{aligned} \Delta g_x &= \Delta g_{ij} \cdot \cos \Theta_{ij} \cdot \sin Z_{ij} \\ \Delta g_y &= \Delta g_{ij} \cdot \sin Z_{ij} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

სადაც Θ_{ij} - I_j ხაზის აზიმუტია,

Z_{ij} - I_j ზენიტური მანძილი.

(17) სიმძიმის ძალის გადახრა Δg_{ij} გამოითვლება ფორმულით:

$$g_{ij} = f \cdot \frac{M_i}{R_{ij}^2} \quad (18)$$

$$d_{ij} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} = \Delta Z_{ij} \cdot \operatorname{tg} Z_{ij} = R_{ij} \cdot \sin Z_{ij} \quad (19)$$

R_{ij} - თარაზული პროექციაა.

ზემოთ მოყვანილი ფორმულები წარმოადგენს ნორმალურ გზას და არარავითარ სირთულეს არ ქმნის, როდესაც გამოთვლები მიმდინარეობს მექანიკურად ერთი ან ორი ბლოკისათვის, მაგრამ იმ შემთხვევაში, როცა ბლოკების რაოდენობა დიდია და გამოთვლები უნდა ვაწარმოთ კომპიუტერზე, მაშინ ეს გზა საკმაოდ მოუხერხებელი მით უმეტეს, როცა $\Delta U''$ -ს გამოთვლა სრულდება იტერაციის ხერხით და შუალედი სიდიდეები ΔU_x , ΔU_y , Δg_x , Δg_y და ა.შ., არავითარ საჭიროებას არ წარმოადგენს. კომპიუტერზე გამოთვლებისათვის საჭირო იქნებოდა $\Delta U''$ -ს ისეთი ფორმულა, რომელიც საშუალებას მოგვცემდა, ნაკლები მათემატიკური მოქმედებებით გამოვითვალოთ იგი. ამისათვის კი საჭიროა მოინახოს ისეთი ფორმულა, რომელითაც მოხდება, ბლოკებისა და საკონტროლო წერტილების განლაგების ელემენტების გამოთვლა (მანძილით ნაზრდებითა და ა.შ.).

ჩვენს მიერ საძიებელ ფორმულას, რომელიც გამოყენებული იქნება პროგრამაში აქვს შემდეგი სახე:

$$\Delta U'' = \frac{M}{W} \sqrt{\left[\frac{\Delta X}{R^3}\right]^2 + \left[\frac{\Delta Y}{R^3}\right]^2} \quad (20)$$

რადგან ჩვენს წინაშე დგას ამოცანა, რათა განისაზღვროს გრავიტაციული ველის ცვალებადობის პარამეტრები, საჭირო ხდება ანომალური სხეულის წარმოდგენა მიზიდულობის მქონე წერტილების სისტემად, რომელსაც აპროქსიმაცია ეწოდება და შეიცავს შემდეგ მოქმედებებს: 1.გეომეტრიული სხეულის ფორმის შერჩევა;

2.გეომეტრიული სხეულის ზომის შერჩევა; 3.სააპროქსიმაციო სხეულს უნდა ჰქონდეს ისეთი ფორმა, რომ მის მიერ შექმნილი გრავიაციული ველი არ შეიცვალოს მაშინაც კი, როცა მის მასას მოვათავსებთ სიმძიმის ცენტრში; 4.სხეულს უნდა ჰქონდეს გეომეტრიულად მარტივი ფორმა, რომ გამოვითვალოთ სიმძიმის ცენტრის კოორდინატები.

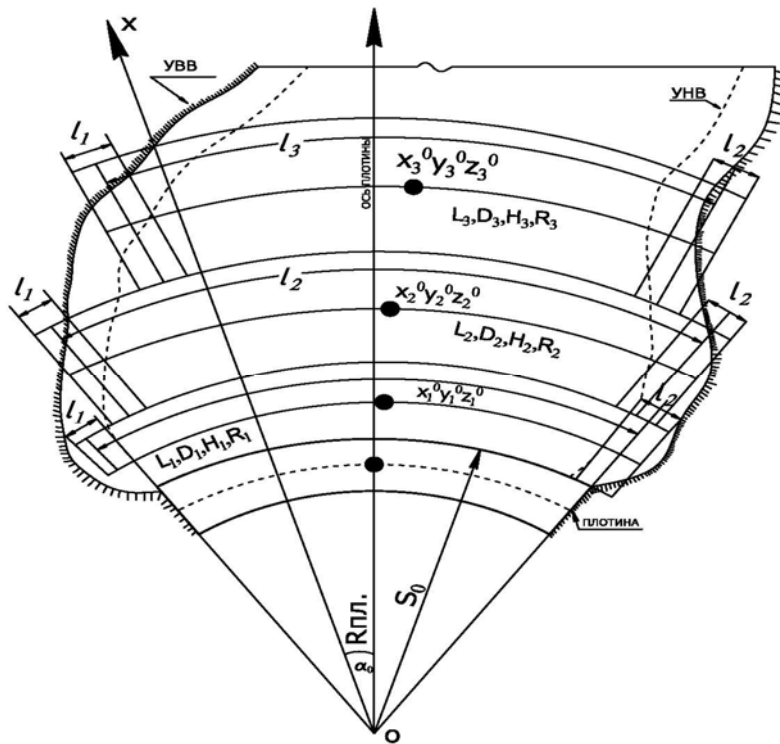
აპროქსიმაციის ეტაპების გაანალიზებით ჰესის წყალსაცავების აპროქსიმაცია უნდა მოხდეს შემდეგი თანმიმდევრობით:

1. პირველი ეტაპი არის წყალსაცავის ანომალური ტანის დაყოფა პრიზმებად. ეს ეტაპი მოიცავს პრიზმის ზომების ანუ ყოველი პრიზმისთვის სიგრძის, სიგანის და სიმაღლის დადგენას. წყალსაცავის კაშხალთან უახლოეს ნაწილს, რომელიც გავლენას ახდენს გრავიტაციული ველის ცვალებადობაზე არი კაშხლის ქვედა ბიეფი (ან ყველგან სადც სრულდება გეოდეზიური სამუშაოები).

2. ყოველი პრიზმის დაყოფა კუბურ ბლოკებად, რომლებიც ერთობლივად ქმნიან კუბურ ბადეს. ამ ბადის ზომის დადგენა (ყოველი პრიზმისთვის).

3. ყოველი კუბური ბლოკისათვის სფერული აპროქსიმაციის სისტემის შერჩევა და სფეროების ზომების დადგენა. რასაც საფიძვლად უდევს და ამარტივებს კუბური ბლოკებისაგან შედგენილი ბადე. აპროქსიმაციის შერცევის შემდეგ დამყარდება მკაცრად გეომეტრიული კავშირი კუბურ ბლოკებსა და სფეროებს შორის. რაც დასადაგენია.

აღწერილი ტექნოლოგიის არსი განვიხილოთ ენგურჰესის წყალსაცავის აპროქსიმაციის მაგალითზე, რომლის კაშხალსაც აქვს ცილინდრული თაღის ფორმა. ენგურჰესის წყალსაცავის ცვალებადი ნაწილის აპროქსიმაცია მოვახდინეთ მრუდხაზოვანი პრიზმებით(ნახ.3). წყალსაცავის აპროქსიმაცია იწყება პრიზმის D სიმაღლის განსაზღვრით. პრიზმის ზედა წახნაგს ქმნის წყალსაცავის წყლის საპროექტო მაქსიმალური დონე, ხოლო ქვედა წახნაგს წყლის საპროექტო მინიმალური დონე. პრიზმის სიგანის შერჩევისადმი მიდგომა შეიძლება იყოს სხვადასხვანაირი. მაგრამ სჯობს პრიზმის სიგანე



ნახ.3. მრუდხაზოვანი პრიზმებით წყალსაცავის აპროქსიმაცია

აღებული იქნას პრიზმის სიმაღლის ტოლი ან ჯერადი, რადგან იტერაციის პროცესში ეს საშუალებას მოგვცემს, პრიზმის უფრო მცირე ბლოკებად დაყოფის დროს მივიღოთ კუბური ან მასთან მიახლოებული ფორმის ბლოკები. პრიზმის სიგანის ჯერადობა სიმაღლესთან შეიძლება იყოს სხვადასხვანაირი. ანომალური ტანის შესავსებად ფართო პრიზმის უფრო ნაკლები რაოდენობაა საჭირო, მაგრამ ფართო პრიზმების აპროქსიმაცია წყალსაცავის ნაპირებთან უფრო რთულია და მათ მცირე ბლოკებად დაყოფას სჭირდება იტერაციის მეტი ბიჯი. როდესაც გეოდეზიური სამუშაოები სრულდება ქვედა ბიეფში, მაშინ პრიზმები შეიძლება იყოს სხვადასხვა (მზარდი) სიგანის, ხოლო თუ გეიდეზიური სამუშაოები სრულდება აგრეთვე წყალსაცავის ნაპირების გაყოლებითაც (მაგ: ნიველობა, პოლიგონომეტრია და ა.შ.), მაშინ სჯობს აპროქსიმაცია შესრულდეს ტოლი სიგანის პრიზმები.

ყოველ წყალსაცავს აქვს მისი მოცულობის ცვალებადობის ზღვრები. წყალსაცავის ცვალებად ნაწილს ეძახიან ანომალურ ტანს, რომელიც პერიოდულია წლის განმავლობაში და იცვლება როგორც მისი მოცულობა, ასევე ფორმაც.

მძლავრ ჰესებზე ჩვეულებრივ, არსებობს წყლის დონის რეგისტრაციის სამსახური, რაც საშუალებას იძლევა, მივიღოთ გაზომვების ციკლის ნებისმიერი მომენტისათვის წყლის დონის მნიშვნელობა და გამოითვალოს ΔH ცვალებადობა, პრიზმების ახალი ზომები L' და H' , პრიზმის სიმძიმის ცენტრის ახალი კოორდინატები.

1. პრიზმის სიგრძის შეცვლას; პრიზმის ახალი სიგრძე გამოითვლება ფორმულით:

$$L'_i = L_i + 0.5(l_1 + l_2) \cdot \Delta H_i / H_i \quad (21)$$

2. პრიზმის სიმაღლის შეცვლას; პრიზმის ახალი სიმაღლე გამოითვლება ფორმულით:

$$H'_i = H_i + \Delta H_i \quad (22)$$

3. არ იწვევს პრიზმაში D სიგანის შეცვლას;

4. სიმძიმის ცენტრის ცვალებადობას. ახალი ნიშნული გამოითვლება ფორმულით:

$$z'_i = z_i + 0.5 \Delta H_i \quad (23)$$

5. ახალი სიმძიმის ცენტრის აბსცისისა და ორდინატის ცვალებადობას, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$\left. \begin{aligned} x'_i &= R_i \cdot \cos \beta \\ y'_i &= R_i \cdot \sin \beta \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

სადაც

$$\beta = \alpha + \frac{l_2 - l_1}{2H \cdot R} \Delta H \quad (25)$$

6. პრიზმის მასის ცვალებადობას. მისი ახალი მნიშვნელობა გამოითვლება ფორმულით:

$$M'_i = L'_i \cdot D_i \cdot H_i \cdot \rho \quad (26)$$

სადაც ρ -წლის სიმკვრივეა.

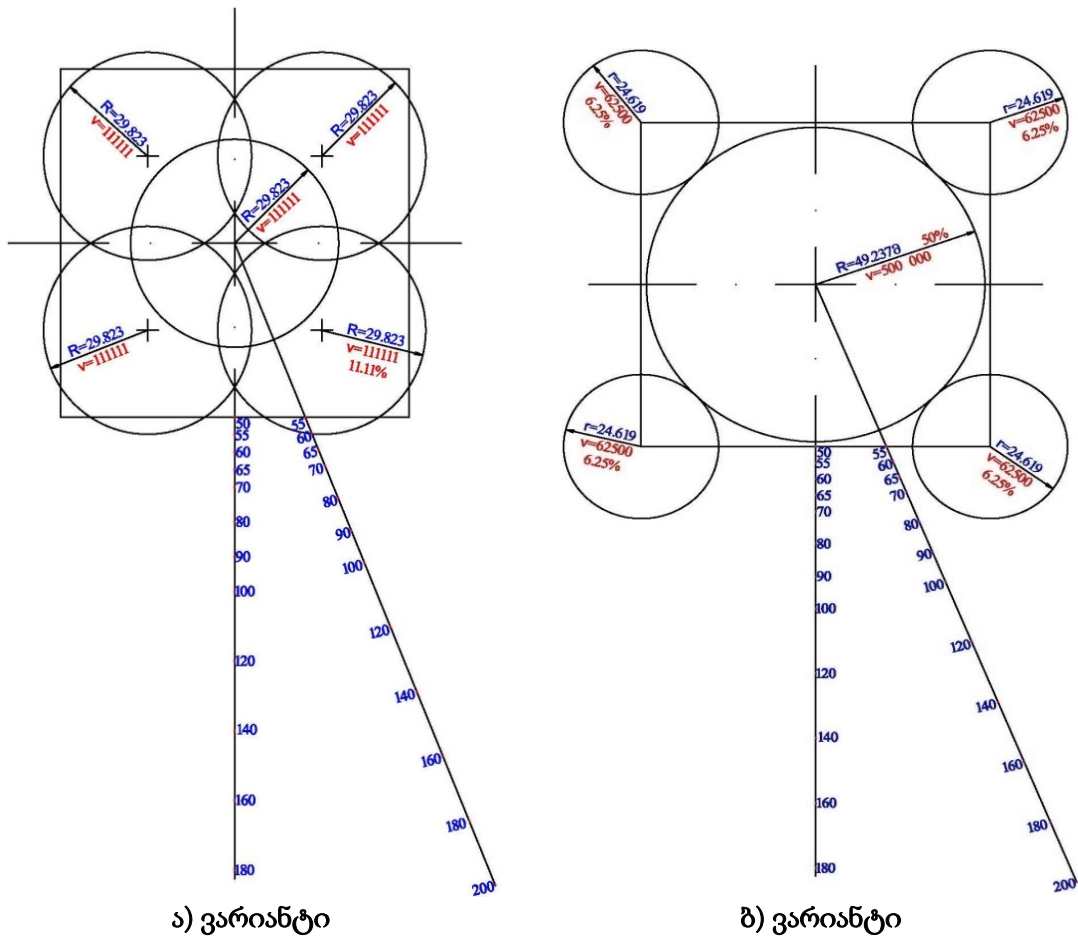
თავი. III. სფერული აპროქსიმაცია

როგორც, არა ერთხელ იქნა აღნიშნული, ნიუტონის თეორიის მიხედვით სფერო მიიზიდავს როგორც წერტილი და არა სხვა ფორმის ბლოკები, ანუ წყალსაცავის ცვალებადი ნაწილის აპროქსიმაცია უნდა მოხდეს სფეროებით. მთელი პრობლემა სააპროქსიმაციო გეომეტრიული სხეულების (ბლოკების) შერჩევაშია. გასაგებია, რომ ეს პრობლემა უფრო რთულია, ვიდრე პარალელეპიპედებით ან კუბებით აპროქსიმაცია, რაც აქამდე კეთდებოდა.

ამ საკითხის გამოსაკვლევად, საფუძვლად, გამოვიყენოთ ანომალური ტანის კუბებად დაყოფის მოდელი. ამისათვის ჯერ მოვახდინოთ ერთი კუბური ბლოკის აპროქსიმაცია სფეროებით ანუ უნდა განვსაზღვროთ რა მოცულობის და ზომის სფეროებით უნდა მოხდეს კუბის აპროქსიმაცია. ასევე უნდა განისაზღვროს მათი განლაგება კუბში.

ამ პრობლემის შესასწავლად განვიხილოთ სფეროებით აპროქსიმაციის მაგალითი: გამოვიყენოთ ერთი 100მ. სიგრძის გვერდის მქონე კუბი მისი მოცულობის სფეროებით შევსების საუკეთესო სისტემის დასადგენად, ანუ ჩავატაროთ თეორიული ექსპერიმენტი. ვთქვათ, რომ ეს კუბი შევსებულია წყლით, რომლის მასა შევკუმშოთ და მოვათავსოთ მის სიმძიმის ცენტრში. ეს მოქმედება გამოიწვევს სიმძიმის ძალის ველის დამაბულობის გაზრდას აღნიშნული კუბიდან გარკვეულ მანძილამდე, რომლის იქითაც ველის ცვალებადობა უმნიშვნელო იქნება. შემდეგ შევარჩიოთ ამ კუბის სივრცის სფეროებით შევსების რამოდენიმე ვარიანტი. ამ ვარიანტების ერთმანეთთან შესადარებლად შევარჩიე XOY სიბრტყეში განლაგებული ოთხი წერტილთა სისტემა, რომლებიც წარმოდგენილია (ნახ.4).

1. ნახ. 4 „ა“ ვარიანტის აპროქსიმაცია შესრულებულია შემდეგ ნაირად:

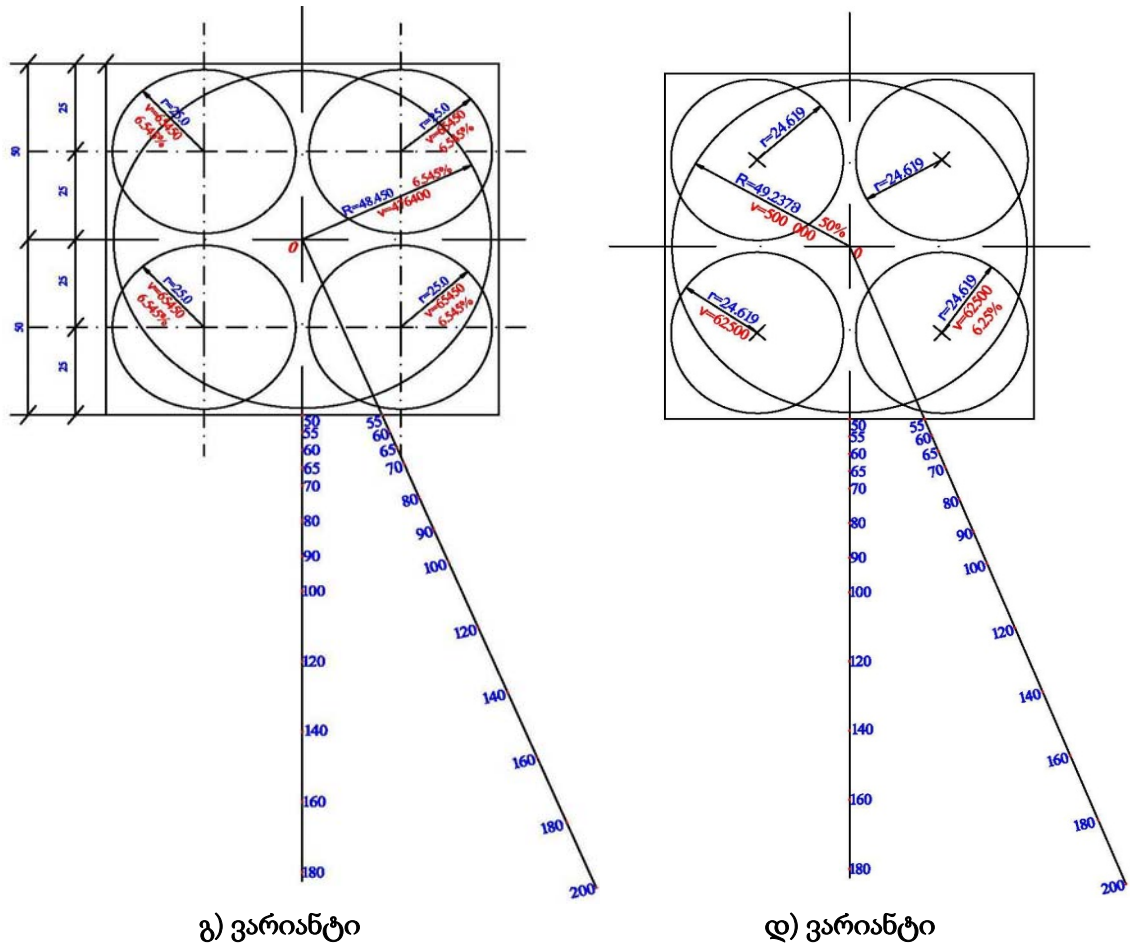


ნახ.4. სფეროებით აპროქსიმაცია

კუბის ცენტრში მოთავსებულია სფერო, რომლის $M=500000$ ტ, ხოლო კუბის მასის მეორე ნახევარი დაყოფილია რვა ნაწილად და მოთავსებულია კუბის რვა წვეროში. თითოეული ამ სფეროს მასა $M = 62500$ ტ, ხოლო რადიუსი $r=24.2$

2. ნახ.4 აპროქსიმაციის „ბ“ ვარიანტი შესრულებულია შემდეგ ნაირად: კუბის მასა დაყოფილია ცხრა ნაწილად, თითოეულის მასა ტოლია $M=111111$ ტ, ერთი სფერო მოთავსებულია კუბის ცენტრში, ხოლო დანარჩენი რვა კვადრანტების ცენტრებში.

3. „გ“ ვარიანტი არის „ა“ ვარიანტის ნაირსახეობა, ანუ ცენტრალური სფეროს მასა ისევ $M=500000$ ტონაა, ხოლო დანარჩენი ერთნაირი რადიუსის რვა სფერო მოთავსებულია რვა კვადრანტის ცენტრში.

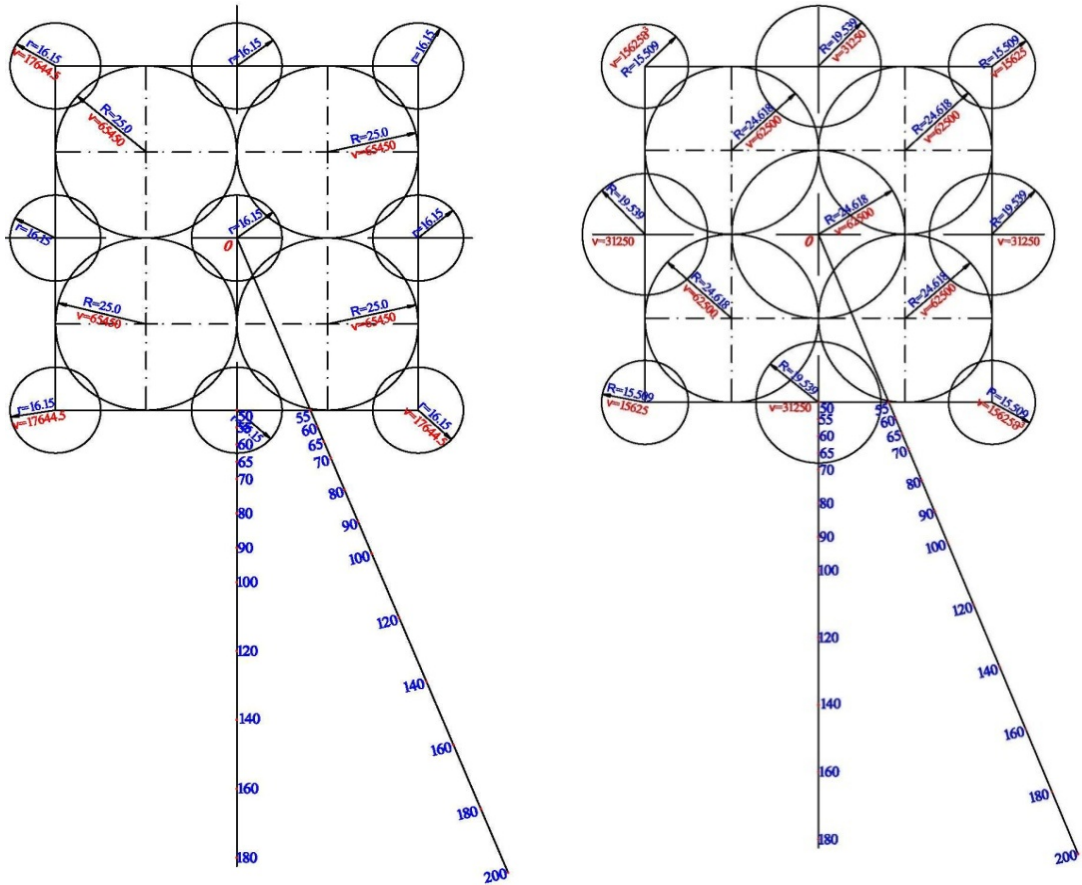


ნახ.4. სფეროებით აპროქსიმაცია

4. „დ“ ვარიანტის კვადრანტების ცენტრში მოთავსებული სფეროების მასა $M=65450$ ტ, ანუ მისი რადიუსი $r=25$, ხოლო კუბის ცენტრში მოთავსებულია სფერო, რომლის მასა რადიუსი $R=48.45$ და მასა $M=476400$ ტ.

5.„ე“ ვარიანტში კუბის კვადრანტში მოთავსებულია რვა სფერო, ყოველის რადიუსი $R=25$, მასა $m=65450$ ტ. ხოლო მასის დანარჩენი ნაწილი დაყოფილია $r=16.15$ რადიუსის და $M=17644.5$ ტ მასის 27 ნაწილად და მოთავსებულია იმ წერტილებში, როგორც ნაჩვენებია ნახაზზე.

6. „ვ“ ვარიანტში კუბის ნახევარი მოცულობა გაყოფილია 9 ნაწილად და შესაბამისი სფეროების მასები მოთავსებულია კვადრანტების ცენტრებში და კუბის ცენტრში, ხოლო დანარჩენი მასა დაყოფილია 27 ნაწილად და განლაგება ნაჩვენებია ნახაზზე.



ე) ვარიანტი

ვ) ვარიანტი

ნახ. 4. სფეროებით აპროქსიმაცია

ნახ.4 ნაჩვენები წერტილთა სისტემების სათავე მოთავსებულია კუბის სიმბიმის ცენტრში. I სისტემა ემთხვევა X ღერძს, II სისტემა დახრილია X ღერძის მიმართ 22° -ით, III სისტემა XY სიბრტყეში დახრილია X ღერძის მიმართ 22° -ით, ხოლო IV სისტემა დახრილია ვერტიკალურ სიბრტყეში III-ის მიმართ 22.5° - ით. ყოველ სისტემაში წერტილები განლაგებულია 0-დან 400მ-მდე ფარგლებში. გამოთვლილია შვეულის გადახრის ცვალებადობა $\Delta U''$ და მისი აზიმუტი. გამოთვლები შესრულებულია კომპიუტერული პროგრამით. $\Delta U''$ შვეულის გადახრების ცვალებადობის ჯამების მინიმუმს იძლევა პირველი "ა" ვარიანტი და ნებისმიერი წერტილთა სისტემისათვის საუკეთესოა I ტიპის სფერული აპროქსიმაციაა.

წყალსაცავის ცვალებადი ნაწილის დაყოფა ხდება მრუდხაზოვან პრიზმე-ბით, შემდეგ პრიზმები ივსება კუბური ბლოკებით. და ყოველი კუბური ბლოკის აპროქსიმაცია ხდება სფეროებით. პრობლემატურია

პრიზმაში კუბური ბადის მოთავსება და მათი ზომების დადგენა. შემუშავებულია ტექნოლოგია ისეთი რომელიც გამოთვლების პროცესში არ მოითხოვს თანმიმდევრობითი მიახლოებითი ხერხის გამოყენებას. კომპიუტერული პროგრამა $\Delta U''$ -ს გამოსათვლელად იყენებს (27) ფორმულას

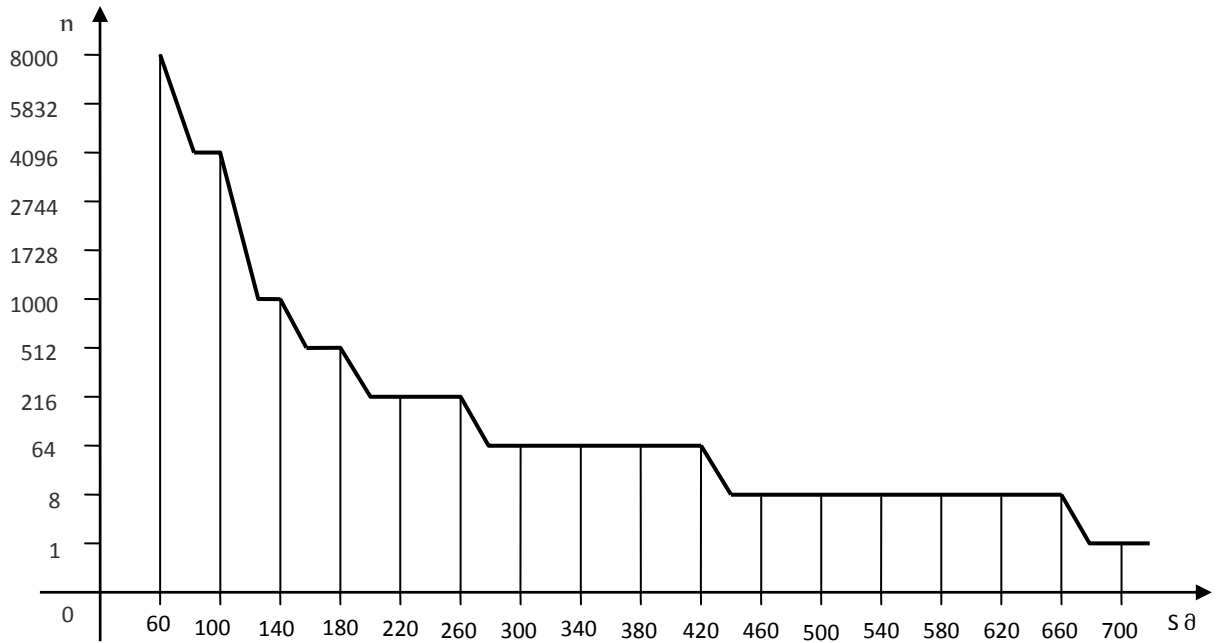
$$\Delta U'' = M/W \sqrt{\left[\Delta X/R^3\right]^2 + \left[\Delta Y/R^3\right]^2} \quad (27)$$

გამოთვლების პროცესში ხდება ბლოკების ნაწილებად დაყოფა და $\Delta U''$ გამოთვლა. შემდეგ ადარებს გამოთვლამდე და გამოთვლის შემდეგ $\Delta U''$ -ს მნიშვნელობებს. ეს პროცესი გრძელდება სანამ $\Delta U''$ შორის სხვაობა არ გახდება 10^{-7} სეკუნდის ტოლი. ბლოკების დაყოფა ხდება 4 წერტილთა სისტემებისათვის და დგინდება მანძილის მიხედვით ბლოკების დაყოფის რაოდენობა. გამოთვლები მოცემულია ცხილებში1 და აგებულია გრაფიკი (ნახ.5) გრაფიკი საშუალებას იძლევა გამოირიცხოს შვეულის გადახრის გამოთვლის პროცესში თანმიმდევრობით მიახლოებითი ხერხის გამოყენებას და აადვილებს გამოთვლებს.

ცხრილი 1

ბლოკების დაყოფის რაოდენობა წერტილამდე მანძილის მიხედვით

S მ.	ბლოკების რაოდენობა				
	წერტილთა სისტემა 1	წერტილთა სისტემა 2	წერტილთა სისტემა 3	საბოლოო ვარიანტი	n
60	8000	—	—	8000	20
80	1000	2744	4096	4096	16
100	1728	1728	4096	4096	16
120	1000	1000	1000	1000	10
140	1000	512	216	1000	10
160	512	512	64	512	8
180	512	216	216	512	8
200-220	216	216	64	216	6
240-260	216	64	64	216	6
280-320	64	64	64	64	4
340-360	64	64	8	64	4
380-420	64	8	8	64	4
440-520	8	8	8	8	2
540-560	8	8	1	8	2
580-660	8	1	1	8	2
680	1	1	1	1	1



ნახ. 5 ბლოკის ზომების დადგენის გრაფიკი

თავი.4. ენგურჰესის პირობებში ანომალური ტანისცვალებადობითგრაფიტაციული ველის ეფექტების კვლევის შედეგები

გრაფიტაციული ველის მნიშვნელოვანი ცვალებადობა და მისი გავლენა გეოდეზიურ განაზომებზე ყურად საღებია უმთავრესად მძლავრ ჰესებზე, ანუ ჰესებზე, რომელთა წყალსაცავების ცვალებადი ნაწილი დიდი მოცულობისაა. საქართველოში ასეთ ჰესებს მიეკუთვნება ენგურჰესი, რომელსაც აქვს 271,5 მ. სიმაღლის ორმაგი სიმრუდის ბეტონის თაღოვანი ფორმის კაშხალი. წყალსაცავის მოცულობაა $V \approx 1.1$ კუბური კილომეტრი, სიგრძე 28 კმ-ი, ცვალებადი ნაწილის სიმაღლე 70 მ. რაც მთლიანი მოცულობის 70%-ია. წყალსაცავის პირველი 8 კმ ვრცელდება ჩრდილო-დასავლეთისაკენ, შემდეგ წყალსაცავი ნელ-ნელა უხვევს ჩრდილო-აღმოსავლეთისაკენ დასახლება ხაიშამდე. გეოდეზიური სამუშაოები ენგურზე ძირითადად ტარდება კაშხლის პატერნებში, შტოლნებში და ქვედა ბიეში. წყალსაცავის მასით გამოწვეული გრაფიტაციული ველის

პარამეტრებიდან ჩვენთვის გამოსაყენებელია შვეულების გადახრების დადგენა, კაშხალთან უახლოესი სივრცის შესასწავლად მოვახდინე ზედა ბიეფში გადახრების შესწავლა პირველ 8 კმ-ის მანძილზე,

რომლიდანაც ჩანს, რომ წყალსაცავის ნაპირებზე $\Delta U''$ –ს მაქსიმალური მნიშვნელობაა 0,5''–0,6''–ი, ხოლო ხეობის საზღვრებზე 0,03''–0,05''. გეგმაზე ტოლ გადახრების მრუდების კონფიგურაცია იმეორებს წყალსაცავის ნაპირების ფორმას, ხოლო გადახრების აზიმუტები მიმართულია წყალსაცავისაკენ. ველის ასეთი განაწილება ნიშნავს იმას, რომ თუ ზედა ბიეფში გატარებული იქნა მაღალი სიზუსტის ნიველობა, ნაპირებს გაყოლებულ გზაზე ანუ იზოჰიფსების მიყოლებით მოსალოდნელია, რომ ასეთ სვლაზე გრავიტაციული ველის გავლენა იქნება უმნიშვნელო და მხოლოდ იმ ადგილებში, სადაც ნიველობა გადაჰკვეთს ამ მრუდებს, ველის გავლენა იქნება საგრძნობი.

იგივე შეიძლება ითქვას ზედა ბიეფში ნაპირების ძვრების შესწავლის ტრიანგულაციის ხერხზე. როგორც გეგმიდან ჩანს, თუ ტრიანგულაციის პუნქტები განლაგებული იქნება წყალსაცავის ნაპირებთან ახლოს, რაც იმას ნიშნავს, რომ მისი გვერდები იქნება მცირედ დახრილი, მაშინ შვეულების გადახრის გავლენა გაზომილ მიმართულებებზე იქნება მინიმალური და შეიძლება აღმოჩნდეს, რომ არც იყოს გასათვალისწინებელი. რაც ადვილი გასარჩევი იქნება თუ ტრიანგულაციის პროექტს დავიტანთ ზედა ბიეფის შვეულების გადახრის გეგმაზე.

დასკვნა

1. მძლავრ ჰესებზე გეოდეზიური სამუშაოები სრულდება მასების მკვეთრი ცვალებადობის პირობებში, რაც იწვევს უახლოეს რაიონში გრავიტაციული პარამეტრების შეცვლას და მოქმედებას გეოდეზიური სამუშაოების შედეგებზე;

2. გრავიტაციული ველის პარამეტრებიდან გეოდეზიური სამუშაოებისათვის უმნიშვნელოვანესია შვეულების გადახრა, რადგან თითქმის ყველა გეოდეზიური სამუშაოები დაკავშირებულია შვეულთან;

3. ჰესებზე მაღალი კლასის გეოდეზიური გაზომვების ინსტრუქციაში რეკომენდირებულია განაზომებში შესწორებების შეტანა შვეულის გადახრების ცვალებადობის გამო, თუმცა ინსტრუქცია აფიქსირებს იმას, რომ საკითხი თანამედროვე დონეზე არ არის შესწავლილი;

4. თანამედროვე სამეცნიერო ლიტერატურაში აღნიშნული შესწორებების გამოთვლის მეთოდებში არის ნაკლი, რომელიც გამოწვეულია ნიუტონის კანონის ფორმალურ დარღვევაში. ამიტომ ამ მეთოდებით გამოთვლილი შესწორებები არ არის სანდო;

5. მოყვანილ მეთოდებში ნიუტონის კანონის დარღვევა მდგომარეობს იმაში, რომ მათში ანომალური ტანის დაყოფა ხდება არა სფერულ ბლოკებად და ბლოკების ზომები მომქმედ მანძილთან შედარებით არ არის უმნიშვნელო;

6. აქედან გამომდინარე, კვლევის ძირითადი მიზანია, მოინახოს შესწორებების გამოთვლის ისეთი მეთოდები, რომლებიც არ დაარღვევს ნიუტონის კანონს;

7. ამ მეთოდის ძირითადი არსი იმაშია, რომ ანომალური ტანი დაყოფილი იქნას სფერულ ან კუბურ ბლოკებად და მათი ზომები შემცირდეს გამოთვლების პროცესში მანამ, სანამ ისინი უმნიშვნელო არ გახდება მანძილთან შედარებით;

8. აღნიშნულის მისაღწევად ძირითადად შეიძლება ანომალური ტანის აპროქსიმაცია სპეციალური მეთოდით და ანგარიშის, ანუ ბლოკების ზომების შემცირების იტერაციის ხერხით;

9. ზემო ხსენებული პრინციპებით მიღებული იქნა შვეულების გადახრის გამოთვლის ფორმულები, რომლითაც შედგენილია საკომპიუტერო პროგრამა „UKLNARKA. BAS“;

10. პროგრამა საშუალებას იძლევა, გამოითვალოს შვეულის გადახრებით გამოწვეული შესწორებები: ნიველობისათვის, ტრიანგულაციისათვის, პირდაპირი და შებრუნებული შვეულებისათვის და პოლიგონომეტრიისათვის;

11. დამუშავებული ფორმულები და პროგრამა გამოყენებული იქნა ენგურჰესის პირობებში მაღალი სიზუსტის სანიველო ქსელში გაზომვების შესწორებების დასადგენად;

12. ენგურჰესის წყალსაცავის და კაშხლის გეგმაზე მრუდხაზოვანი პრიზმებით შესრულებული იქნა წყალსაცავის ცვალებადი ნაწილის და კაშხლის აპროქსიმაცია;

13. იგივე გეგმის საშუალებით მიღებული იქნა სადეფორმაციო სანიველო სვლის აღმატებების შესწორების გამოსათვლელად ყველა საჭირო მონაცემი და შესრულდა შესაბამისი გამოთვლები პროგრამით;

14. მოხდა მიღებული შედეგების გრაფიკული წარმოდგენა სხვადასხვა სახით;

15. შედგენილი იქნა ენგურჰესის რაიონის შვეულების გადახრის გეგმა, რაც ამარტივებს შესწორებების გამოთვლას და ხელს უწყობს მაღალი სიზუსტის ქსელების დაპროექტებას აღნიშნული ფაქტორის გათვალისწინებით;

16. ანგარიში გვიჩვენებს, რომ აღნიშნული მეთოდით მიღებული აღმატებების შესწორებები გამოირჩევა მეტი სანდოობით, ვიდრე სხვა მეთოდებით მიღებული შესწორება;

17. დამუშავებული მეთოდი ორიგინალურია და სამეცნიერო ლიტერატურაში ანალოგი არ აქვს;

18. დამუშავებული მეთოდი საშუალებას იძლევა, ინსტრუქციაში შეტანილი იქნას მკაცრი მოთხოვნა აღნიშნული შესწორებების განაზომებში შეტანის შესახებ;

19. ამ მეთოდით შეიძლება დამუშავებული და გამოთვლილი იქნას სიმძიმის ძალის ცვალებადობით გამოწვეული შესწორებები ყველა დანარჩენ ჰესებზე გამოყენებულ მაღალი სიზუსტის გეოდეზიურ სამუშაოებში.

აპრობაცია

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი საკითხები მოხსენების სახით გაშუქდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ღია საერთაშორისო კონფერენციებზე, თემატურ სემინარზე და კოლოქვიუმზე.

პუბლიკაციები

1. Тевзадзе М.Н., Пиралишвили С.Х., Садунишвили М.А. По поводу решения прямой задачи теории потенциала при изменении уровня водохранилища . Горный журнал, №2(7),2001.с.29-33.
2. Тевзадзе М.Н., Пиралишвили С.Х., Садунишвили М.А. Об учёте вариации поля силы тяжести на крупных гидроэлектростанциях. Горный журнал, №1(6),2001.с.26-27.
3. სადუნიშვილი მ. სიმძიმის ძლის გავლენის შეფასება მაღალდაწნევიანი კაშხლის გეოდეზიური გაზომვების შედეგებზე. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი "ენერჯია". 3(63). თბილისი.2012 წ გვ. 50-52
4. ფირალიშვილი ს., სადუნიშვილი მ. პოტენციალთა თეორიის პირდაპირი ამოცანის ამოხსნა წყალსაცავში წყლის დონის ცვალებადობისას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი „შრომები“№1(487), 2013წ.გვ.38-42

5. ფირალიშვილი ს., სადუნიშვილი მ. ენგურჰესის წყალსაცავის აპროქსიმაციის ტექნოლოგია. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი „შრომები“ №1(487), 2013წ.გვ. 34-37
6. სადუნიშვილი მ. "გეოდეზიურ განაზომთა გრავიტაციული შესწორებების მეთოდების დამუშავების შესახებ" სტუ, 79-ე საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, 2011 წელი

Abstract

Development and investigation of determination methods of gravitation correction's in geodetic measurements on the example of Inguri Hydropower plant

During construction and operation of large hydrosystems great masses of water and earth are being shifted, which causes local deformation of earth's surface and variability of gravitational force field. In regions where such large-scale objects are constructed geodynamic testing areas are created, the basic purpose of which is the investigation of deformations of earth's surface and engineering objects.

It is known that the changeability of water level in the reservoirs of large hydroelectric power stations causes the change of gravitational force field around reservoir, which directly affects geodetic measurements. To large hydroelectric power stations in Georgia belongs the dam of Inguri Hydroelectric Power Station, and the review will be conducted based on its example. The Inguri Hydroelectric Power Station is located in Tsalenjikha district and has a 271.5m high arched dam. The reservoir capacity is $V \sim 1.1 \text{ kb/km length} - 28 \text{ kilometers}$. Basic geodetic works are carried out in downstream water; hence the topicality of definition of gravitational force field in downstream water.

There are two methods of defining the gradients of gravitational force field:

- (1) – by their direct measurement and
- (2) – by solving the direct problem of potential theory.

The first method is based on conducting a high precision repeated detailed gravimetric survey and using high accuracy gravimeters, as well as defining by known method the deflections of plumb lines and heights of quasigeoid. This method is related to conducting large volume gravity measurements and performing labor-intensive calculations. Besides, it is not always possible, especially in highlands, to carry out equally distributed gravimetric planning and exclusion of other natural factors on such territory. It should also be noted that these works are rather expensive.

The second method appears more simple, but the method itself is not perfect and needs additional study. It stipulates the calculation of gravitational force parameters in the district of hydroelectric complex. The variability of gravitational force field is caused by the change of water level in reservoir, which is called anomalous mass. The density of anomalous masses and their distribution on territory is often well known, which makes it possible to define the variability of gravitational force field potential at any point of territory much easier and more precisely than by gravity measurements. Therefore the initial values of gravitational force field parameters and mass distribution are registered by the time of conducting initial cycle or the minimum water level in reservoir. This is a rather complex problem. The more so if we consider the levels of ground water and the sediment within the inactive storage capacity.

We will divide solution of the direct problem of potential theory into three stages:

- Stage 1 – filling of reservoir with curvilinear prisms.
- Stage 2 – filling of prisms with cubes of certain size;
- Stage 3 – approximation of cubes with spheres.

Stage 1 – in case of the reservoir of Inguri Hydroelectric Power Station filling of anomalous body occurred with 28 prisms, 16 of which remained in real performance as the impact of the remaining prisms on points located in downstream water was insignificant. For each prism the center of gravity coordinates and radius of curvature were registered. All prisms have one center of curvature and different radiuses.

At Stage 2 into each prism standard size (100X100X100)cubes were put and the method of calculation of the coordinates of their centers was established.

At Stage 3 filling of each cube with different systems of spheres or approximation and their comparison with one another occurred, and a conclusion was made on which system was better. Altogether 6 approximation systems were selected. As was established through calculations and analysis the first of these systems was the best in the sense that it gave less distortion of natural condition. A computer program was created enabling to calculate in the downstream water of dam and at any point of the dam itself the variabilities of acceleration of gravitational force field and, accordingly, the corrections to be introduced into typical geodetic surveys, which improves greatly the accuracy of geodetic measurements and provides a realistic picture of existing situation.