

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ტარიელ ზაკუტაშვილი

თანამედროვე მაღლივი შენობების გაანგარიშების  
ოპტიმიზაციის ზოგიერთი საკითხი.

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2016 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში,  
სამშენებლო ფაკულტეტზე,  
საინჟინრო მექანიკისა და მშენებლობის ტექნიკური ექსპერტიზის  
დეპარტამენტი.

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: სრული პროფესორი რევაზ ცხვედაძე

რეცენზენტები: სრული პროფესორი ომარ მხეიძე  
აკადემიური დოქტორი ჯონი გიგინეიშვილი

დაცვა შედგება 2016 წლის 15.02. 14<sup>00</sup> საათზე.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის  
სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, I კორპუსი, III სართული,  
სასწავლო, სამეცნიერო და საექსპერტო ლაბორატორიის აუდიტორია.

მისამართი: თბილისი 0175, კოსტავას 72.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატისა – უნივერსიტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს სწავლული

### ნაშრომის საერთო დახასიათება

თემის აქტუალურობა: საქართველო სეისმურად აქტიურ რეგიონში მდებარეობს. ამას ადასტურებს, როგორც ისტორიული, ასევე ინსტრუმენტალური მონაცემები. სეისმური საფრთხეები განსაკუთრებულად დიდია ურბანული ტერიტორიებისათვის, რომლებიც გამოირჩევიან მოსახლეობის დიდი სიმჭიდროვით, მაღალსართულიანი შენობების და საქალაქო ინფრასტრუქტურის არსებობით. ამიტომ მიწისძვრის გამოწვეული შედეგების მინიმუმამდე დაყვანას მაღალი სეისმური რისკის პირობებში მცხოვრები ხალხისთვის სასიცოცხლო მნიშვნელობა ენიჭება.

მაღლივი შენობები საიმედოობისა და პასუხისმგებლობის მიხედვით განეკუთნებიან პირველი კლასის შენობებს, რომელთაც გააჩნიათ ყველაზე მაღალი დონე პასუხისმგებლობისა და საიმედოობის კლასის მიხედვით. მათი პროექტირება და მშენებლობა მჭიდროდ არის დაკავშირებული ეკონომიკური და სამეცნიერო ტექნოლოგიების განვითარებასთან. ასეთი ტიპის შენობების დაპროექტების დონე დღეისათვის მსოფლიოს წამყვან ქვეყნებში საკმარისად მაღალია. საქართველოში ამ ხრივ საერთოდ არ არსებობს მეთოდური და ნორმატიული ბაზა, რის გამოც ქართველ სპეციალისტებს არ აქვთ საშუალება კვალიფიციურ დონეზე ჩაერთონ მაღლივი შენობების პროექტირების საკითხებში, თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ, ბოლო წლებში საქართველოს ზოგიერთ ქალაქში (თბილისი, ბათუმი) ადგილობრივი სპეციალისტების მიერ დაპროექტდა რამდენიმე ათეული მაღლივი შენობა.

თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ საქართველოში დღეისათვის მაღლივი შენობების დაპროექტება და მშენებლობა მიმდინარეობს მზარდი

ტემპებით, შესაბამისად მათი სეისმური მდგრადობა წარმოადგენს უმნიშვნელოვანეს საკითხს სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობაში. ანტისეისმურ ღონისძიებებზე დანახჯების შემცირება და ამავე დროს შენობის სეისმომდეგობის უზრუნველყოფა წარმოადგენს სეისმურად აქტიურ რეგიონებში მალლივი მშენებლობების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან საკითხს. ამ პრობლემის გადაწყვეტაში წამყვანი მნიშვნელობა ენიჭება გაანგარიშების დინამიკური მოდელების შემუშავებას, რომლებიც წარმოადგენენ ნაგებობების რეალური მოდელის გამარტივებულ სახეს.

ნაგებობათა სეისმური ანგარიშის დროს დინამიკური დატვირთვების განსაზღვრისათვის ხშირ შემთხვევაში გვთავაზობენ კონსტრუქციის სუფთა დრეკად მუშაობას, ხოლო მათი ცალკეული ელემენტების ზიდვის უნარს საზღვრავენ ზღვრული წონასწორობის მეთოდით. სეისმური ძალის განსაზღვრის ასეთი მიდგომა მიზეზი ხდება გაუმართლებელი დანახარჯებისა, რომელიც საჭიროა სპეციალური ანტისეისმური ღონისძიებებისათვის. ამასთან დაკავშირებით აუცილებელია გათვალისწინებული იქნას ისეთი ფაქტორები, რომლებიც გამოავლენენ ნაგებობის სიმტკიცის რეალურ მარაგებს. მოცემულ შემთხვევაში ასეთი ფაქტორები შეიძლება იყოს: ნაგებობის ფუძის დამყოლობა, კონსტრუქციების დრეკად-პლასტიკური თვისებები და ამ თვისებების გავლენა ლოკალურ დაზიანებებზე.

როგორც ცნობილია, ნაგებობის დიმანიკური ურთიერთზეგავლენა ფუძესთან წარმოადგენს ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს საკითხს სეისმომდეგობის თეორიაში. ნაგებობაზე გრუნტის გავლენის მოდელირება გადატანითი და კუთხური გადაადგილების დროს ხორციელდება ექვსი ზამზარისა და შესაბამისად ექვსი დემფირის მეშვეობით.

სადისერტაციო ნაშრომი ეხება სწორედ ასეთ საკითხებს, სადაც განხილულია მალლივი შენობების სეისმური ანგარიშის მეთოდები, ხიმინჯოვანი საძირკვლების შემთხვევაში, მათი ფუძე-გრუნტთან დამყოლობის გათვალისწინებით, რომელიც გავლენას ახდენს შენობის

დინამიკურ მახასიათებლებზე (საკუთარი რხევის ფორმებზე, პერიოდებზე), და რომელიც თავის მხრივ აისახება სეისმური ძალების სიდიდეებზე.

**დისერტაციის მიზანია:** სამშენებლო მექანიკის ისეთი ამოცანების გადაწყვეტა, როგორცაა მაღლივი შენობების ხიმინჯოვანი საძირკვლებისათვის დინამიკური საანგარიშო მოდელების დამუშავება სეისმურ ზემოქმედებაზე ფუძე-გრუნტის დამყოლობისა და ინერციულობის გათვალისწინებით. დამუშავებული მოდელების კომპიუტერული რეალიზაცია და ოფტიმალური ვარიანტის შერჩევა.

**კვლევის მეთოდები:** დისერტაციაზე მუშაობის დროს გამოყენებულია დიფერენციალურ განტოლებათა თეორია, კომპლექსური ცვლადის ფუნქციათა თეორია, დრეკადობისა და პლასტიკურობის თეორია, სეისმომდეგობის თეორია, გრუნტის ზღვრული წონასწორობის თეორია და დრეკადობის მათემატიკური თეორია.

**მეცნიერული სიახლე:** მრავალრიცხოვანი ლიტერატურული წყაროების ანალიზის საფუძველზე გამოვლენილი იქნა ხიმინჯოვანი საძირკვლების დინამიკური ანგარიშის შედარებით მოსახერხებელი მოდელები, რომლის დროსაც გათვალისწინებულია მათი დამყოლობა და გრუნტის ინერციული თვისებები. დამუშავებულია სეისმურ ზემოქმედებაზე ანგარიშისას სისტემის <<ნაგებობა-გრუნტი>> დინამიკური მოდელი. მოცემულია ცალკე მდგომი ხიმინჯის ანგარიშის ალგორითმი სეისმური ტალღების ზემოქმედების დროს. დამუშავებულია მაღლივი შენობის ხიმინჯოვანი საძირკვლებისათვის "ЛИРА-САПР 2015"-ში მოდელირების მეთოდიკა სეისმური ზემოქმედებაზე. რეალური შენობის გაანგარიშების ანალიზის საფუძველზე მიღებულია შედეგები ხიმინჯოვანი საძირკვლების სხვადასხვა მოდელებისათვის სეისმური ძალის სხვადასხვა დახრის კუთხის ზემოქმედების შემთხვევისათვის. ჩატარებულია შენობის სეისმური ანგარიში, როგორც სპექტრული მეთოდით, ასევე

აქსელოგრამებზე. განხორციელებულია გრუნტის დამყოლობის გავლენის შეფასებითი ანალიზი შენობის დინამიკურ პარამეტრებზე.

**მიღებული შედეგების პრაქტიკული გამოყენება:** ნაშრომში დამუშავებული ხიმინჯოვანი საძირკვლების დინამიკური მოდელები შესაძლებელია გამოყენებული იქნას ისეთი პრაქტიკული ამოცანების გადასაწყვეტად, როგორცაა მაღლივი შენობების ხიმინჯოვანი საძირკვლების ანგარიში სეისმურ ზემოქმედებაზე გრუნტის დამყოლობისა და ინერციულობის გათვალისწინებით.

გარდა ამისა თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ საქართველოში მაღლივი შენობების დაპროექტების კუთხით არ არსებობს შესაბამისი ნორმატიული დოკუმენტები, მოცემული ნაშრომი მნიშვნელოვან დახმარებას გაუწევს ქართველ სპეციალისტებს ასეთი ტიპის შენობების დაპროექტების საკითხებში.

**ნაშრომის აპრობაცია და გამოქვეყნებული პუბლიკაციები:** სადისერტაციო ნაშრომის როგორც ცალკეული, ისე ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა სადისერტაციო პროგრამით გათვალისწინებულ ორ სემინარზე. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციებზე. გარდა ამისა სადისერტაციო ნაშრომის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია სამი სამეცნიერო ნაშრომი.

**შედეგების უტყუარობა:** უზრუნველყოფილია შენობა-ნაგებობების სეისმური გაანგარიშების დროს სასრულო ელემენტთა მეთოდის გამოყენებით, რომელიც მსოფლიო მასშტაბითაა აპრობირებული. გარდა ამისა გაანგარიშება ჩატარებულია ლიცენზირებული თანამედროვე საანგარიშო კომპლექს "ЛИРА-САПР 2015" გამოყენებით, რომელმაც დიდი გავრცელება მოიპოვა გაანგარიშების პრაქტიკაში.

**ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა:** სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, ოთხი თავის, დასკვნის და გამოყენებული ლიტერატურის 152 დასახელების ნუსხიხგან. ტექსტის საერთო მოცულობა 220 გვერდია.

## ნაშრომის შინაარსი

შესავალში მოცემულია ნაშრომის საერთო დახასიათება: დასაბუთებულია პრობლემის აქტუალობა, სამუშაოს მიზანი და კვლევის მეთოდები, მეცნიერული სიახლე, პრაქტიკული ღირებულება და შედეგების რეალიზაცია, მეცნიერული დასკვნების და რეკომენდაციების სარწმუნოების დასაბუთება, სამუშაოს აპრობაცია, ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა.

პირველი თავში განხილულია მაღლივი მშენებლობის განვითარების ეტაპები. მიმოხილულია ამ კუთხით საქართველოში არსებული საპროექტო და მშენებლობის მდგომარეობა. მოცემულია მაღლივი შენობების მსოფლიოში ყველაზე გავრცელებული კონსტრუქციული სისტემების დახასიათება მათი დადებითი და უარყოფითი მხარეების გათვალისწინებით. შემოთავაზებულია ლითონისა და რკინაბეტონის მასალის გამოყენების ეფექტურობა სხვადასხვა კონსტრუქციული სისტემებისათვის. აღწერილია კარკასული შენობებისა და ჩარჩოკავშირებიანი სისტემების მუშაობის ხასიათი ჰორიზონტალური დატვირთვების დროს. მოცემულია სხვადასხვა სისტემების ერთმანეთთან შეხამებით მიღებული ახალი კონსტრუქციული სისტემების დახასიათება. აღწერილია მათი მუშაობის ხასიათი სეისმური და ქარის დატვირთვების დროს. შემოთავაზებულია ასეთი ტიპის კონსტრუქციული სისტემების გამოყენების ეფექტური ვარიანტები სხვადასხვა სიმაღლის შენობებისათვის. გაანალიზებულია ცათამბრჯენებისათვის მსოფლიოში ყველაზე აპრობირებული კონსტრუქციული სისტემები, რომლებიც სახელწოდებულია, როგორც „მილი-მილში“, „მილი-წამწეში“, „მრავალფუნქციური გარსი“ და აშ.

განხილულია სეისმურად აქტიურ რეგიონებში მაღლივი შენობების დაპროექტებისა და მშენებლობის თავისებურებანი. სხვადასხვა

კონსტრუქციული სისტემებისათვის მათი საექსპლუატაციო დონის მიხედვით განხილულია სეისმური და ქარის დატვირთვით გამოწვეული სართულის ზღვრული გადახრის შეზღუდვები მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყნების ნორმატიული დოკუმენტების მიხედვით. მოყვანილია მაღლივი შენობების მდგრადობაზე ანგარიშის მეთოდის  $(P-\Delta)$  დამოკიდებულების გათვალისწინებით, რომელიც წარმოადგენს დამოკიდებულებას ე.წ. მეორე რიგის დატვირთვებსა (ტემპერატურის ცვლილება, ძალოვანი ფაქტორები, ცალკეულ ელემენტებში დეფექტების არსებობა, შენობის დეფორმაცია და ა. შ.) და მათგან გამოწვეულ დეფორმაციებს შორის.

მოცემულია ძვრისაგან გამოწვეული მდგრადობის დაკარგვისას ზღვრულ დატვირთვებს შორის დამოკიდებულება შემდეგი სახით.

$$\left( \sum_{j=i}^n G_j \right)_{cr} = D_i h_i$$

სადაც:

$$\left( \sum_{j=i}^n G_j \right)_{cr} - n \text{ სართულების მთლიანი დატვირთვაა.}$$

$G_i - i$  -ური სართულის დატვირთვაა.

$D_i - i$  -ური სართულის ჰორიზონტალური სიხისტა.

$h_i - i$  -ური სართულის სიმაღლეა.

ღუნვით გამოწვეული მდგრადობის დაკარგვის დროს, სვეტებში დატვირთვების ზღვრულ მნიშვნელობებს ექნება შემდეგი სახე.

$$P_{cr} = f^2 EJ / 4H^2$$

სადაც

$P_{cr}$  - კრიტიკული ძალაა.

$EJ$  -სვეტის ღუნვითი სიხისტა.

$H$  -სვეტის სიმაღლეა.



განხილულია შენობის ჰორიზონტალური გადაადგილების განსაზღვრის მეთოდის  $(P-\Delta)$  დამოკიდებულების გათვალისწინებით,

რომელსაც ღუნვადი

$$\Delta^* = \frac{1}{1 - \sum_{i=1}^n G_i / \left( \sum_{i=1}^n G_i \right)} \Delta$$

კონსტრუქციებისათვის ექნება შემდეგი სახე.

ხოლო, კონსტრუქციებისათვის, რომლებიც განიცდიან ძვრას.

$$u_i^* = \frac{1}{1 - \sum_{j=1}^n G_j / \left( \sum_{j=1}^n G_j \right)} u_i$$

სადაც:

$\Delta^*$  - ჰორიზონტალური გადაადგილებაა დეფორმირებული სქემის გათვალისწინებით.

$\Delta$  - ჰორიზონტალური გადაადგილებაა დეფორმირებული სქემის გათვალისწინების გარეშე.

$u_i^*$  -  $i$  -ური სართულის ძვრით გამოწვეული გადაადგილებაა დეფორმირებული სქემის გათვალისწინებით.

$u_i$  -  $i$  -ური სართულის ძვრით გამოწვეული გადაადგილებაა დეფორმირებული სქემის გათვალისწინების გარეშე.

$\sum_{i=1}^n G_i$  - ყველა სართულებიდან მოსული მუდმივი დატვირთვების ჯამია.

$\sum_{j=1}^n G_j$  -  $i$  -ური და მას ზემოთ მდებარე სართულებზე მოსული მუდმივი დატვირთვების ჯამია.

ამავე თავშივეა განხილული სართულებს შორის ზღვრული ძვრის კუთხის განსაზღვრა, რომელიც გამოიხატება შემდეგი ფორმულით:

$$u_{id} = u_i - u_{i-1} = \frac{u_i - u_{i-1}}{h_i} - \frac{u_{i-1} - u_{i-2}}{h_{i-1}}$$

ხოლო ძვრის დეფორმაცია განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით.

$$x_{ij} = u_i - u_{i-1,j} = \frac{u_i - u_{i-1}}{h_i} - \frac{\epsilon_{i-1,j} - \epsilon_{i-1,j-1}}{l_j}$$

სადაც:  $u_i, u_{i-1}$  – ძვრის კუთხეებია.

$i$  და  $i-1$  სართულის აღნიშვნებია.

$x_{ij}$  – წარმოადგენს  $ij$  ზონაში ძვრის დეფორმაციას.

$i$  – აღნიშნავს სართულს, რომელზეც იმყოფება მოცემული ზონა.

$j$  – აღნიშნავს განსახილველი ზონის ნომერს.

$l_j$  – წარმოადგენს  $ij$  ზონის სიგანეს.

$\epsilon_{i-1,j-1}, \epsilon_{i-1,j}$  – წარმოადგენს შესაბამისი კვანძების ვერტიკალურ გადაადგილებას.

მოცემულია მაღლივი შენობების ქარზე გაანგარიშების მეთოდოლოგია, СНИП 2.01.07.-85 „Нагрузки и воздействия“, მიხედვით, რომელშიც ქარის საანგარიშო დატვირთვის ( $W_p$ ) მნიშვნელობა განისაზღვრება საშუალო სტატიკური მდგენელისა ( $W$ ) და პულსაციური ( $W_g$ ) მდგენელის მნიშვნელობათა ჯამის სახით[30].

$$W_p = W + W_g$$

სადაც:

$$W = W_0 k(Z_e) C_{x_f}; \quad W_p = W' (Z_e) \epsilon$$

აგრეთვე გათვალისწინებულია აეროდინამიური არამდგრადი რხევების დროს ქარის პულსაციური ზემოქმედების გავლენა მაცხოვრებელთა კომფორტზე, რომელიც გამოიხატება შემდეგი პირობით.

$$a_{vib} \leq 0.08 \text{ მ/წმ}^2$$

სადაც  $a_{vib}$  – გადახურვის აჩქარებაა.

მოცემულია საფეხმავლო ადგილების კომფორტულობა შემდეგი ტოლობის სახით.

$$T_c(V_{cr}) < T_{lim} \quad \text{ამასთან } V < V_{cr}$$

სადაც:

$V$  – ქარის დატვირთვაა.

$T_c$  – ქარის სიჩქარის  $V$  ხანგრძლივობაა.

$T_{lim}$  –  $T_c$ -ს ზღვრული მნიშვნელობაა.

განხილულია საქართველოში მოქმედი ნორმატიული დოკუმენტების „სეისმომედეგი მშენებლობა“ (პნ 01.01.-09) მიხედვით მოცემული მიმართულებით  $K$ - ურ წერტილში მოქმედი, შენობა-ნაგებობების საკუთარი  $i$ -ური რხევის ტონის შესაბამისი სეისმური  $S_{ik}$  დატვირთვის განსაზღვრა სპექტრული მეთოდით.

$$S_{ik} = K_1 K_2 K_3 S_{oik}$$

სადაც:

$K_1$ -კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს შენობის დასაშვებ დაზიანებას და კონსტრუქციის უნარს განავითაროს არადრეკადი დეფორმაციები.

$K_2$ -ითვალისწინებს შენობა-ნაგებობების კონსტრუქციულ გადაწყვეტას.

$K_3$ -შნობა-ნაგებობების მნიშვნელობის კოეფიციენტი.

$S_{oik}$ -შნობა-ნაგებობების, საკუთარი რხევის  $i$ -ური ტონის შესაბამისი სეისმური დატვირთვა, რომელიც გამოითვლება ფორმულით.

$$S_{oik} = Q_k A S_i K_{\xi} K_{\eta} Y_{ik}$$

სადაც:

$Q_k$  - შენობა-ნაგებობის  $K$ - ურ წერტილში მოსული წონა.

$Y_{ik}$ -კოეფიციენტის მნიშვნელობა დამოკიდებულია შენობა-ნაგებობების საკუთარი რხევის დროს  $i$ -ური ტონის შესაბამისი დეფორმაციის სახეზე და დატვირთვების ადგილმდებარეობაზე.

მეორე თავში განხილულია სხვადასხვა ავტორების მიერ შემოთავაზებული შენობა-ნაგებობების მოდელირებისა და ანგარიშის მეთოდები სეისმურ ზემოქმედებაზე, ფუძე-გრუნტის დამყოლობისა და ინერციულობის გათვალისწინებით.

მაგალითად: ვ.რაციანა და ნ.მუნირუდრაპა (ინდოეთი) შრომა ეძღვნება მრავალსართულიანი შენობისა და გრუნტის ურთიერთზეგავლენის ანალიზს. შენობის საანგარიშო სქემა წარმოდგენილია კონსოლური ღეროს სახით შეყურსული მასებით, ხოლო გრუნტის მოდელი  $m_1$  მასის სახით (გრუნტის სისქე), რომელიც დაკავშირებულია კლდოვან ქანთან. ( $m_1$ ) მასას შეუძლია გადაადგილება როგორც ჰორიზონტალური მიმართულებით ასევე მობრუნება ვერტიკალური ღერძის მიმართ. შენობისა და გრუნტის დემფირება გათვალისწინებულია ბლანტი წინაღობვის ექვივალენტური ჰიპოთეზით.

ტ. კობორის და სხვათა (იაპონია) შრომაში ნაგებობის გავლენა ფუძე-გრუნტთან წარმოდგენილია სწორკუთხა ფირფიტის სახით, რომელსაც რხევის დროს შეუძლია გადაადგილდეს ფუძეზე და შემობრუნდეს ვერტიკალურ სიბრტყეში.

ჯ.პალამარუ და პ.კოსმულესკუს (რუმინეთი) მიერ განხილულია, სამრეწველო შენობა მოდელირებულია დრეკადი ჩარჩოს სახით, ხოლო გრუნტის ჰორიზონტალური მოძრაობა გათვალისწინებულია დამატებითი მოძრავი მასის სახით.

დ.ბირულის შრომებში სასრულო ელემენტთა მეთოდით გამოკვლეულია 5 სართულიანი შენობის დინამიკური რეაქცია ფუძე-გრუნტთან ერთობლივი მუშაობის გათვალისწინებით, სადაც ნაგებობა და გრუნტი დამოდელირებულია დეფორმირებადი ფირფიტების გამოყენებით, რომელიც დაყოფილია სასრულ ელემენტებად, კვანძებში მოდებული შეყურსული მასებით. სეისმური შემფოთების აპროქსიმაცია განხორციელდა 1952წ. კალიფორნიაში მომხდარი მიწისძვრის დაციფრული აქსელოგრამის  $S69^{\circ}E$  ამონაჭერის მიხედვით.

მ.მარჯანიშვილის მიერ დამუშავებულია სამგანზომილებიანი კონტინუალური საანგარიშო მოდელი, რომელიც წარმოდგენილია გრძივი და განივი მიმართულებით ერთმანეთთან დაკავშირებული ორშრიანი ფირფიტის მეშვეობით. გადახურვა მოდელირებულია მრავალშრიანი

მემბრანის სახით. მათ შორის კავშირები განხორციელებულია ვერტიკალური დრეკადი საყრდენებით, რომლებიც სვეტის გრძივი სიხისტის იმიტაციას ახდენს.

ა.ველეტსოსისა და სხვათა შრომებში განხილულია სეისმური ზემოქმედების დროს ერთსართულიანი კარკასული შენობის გრეხვითი რხევების ამოცანა. შენობის გადახურვა დამოდელირებულია ხისტი ფირფიტის სახით, რომელიც დეფორმირებადი კავშირებით (სვეტები) უკავშირდება ფუძე-გრუნტს, ხოლო ამ უკანასკნელს გადაეცემა ჰორიზონტალური სეისმური ძალა ორი მიმართულებით. სეისმური შეშფოთების განსაზღვრა მისი ორი ჰორიზონტალური კომპონენტის გათვალისწინებით შესრულებულია ჰ.ნიუმარკი-ს მეთოდიკით.

$$u(t) = \frac{1}{2c} \left( \frac{\partial x_{10}}{\partial x_2} - \frac{\partial x_{20}}{\partial x_1} \right)$$

სადაც:

C-სეისმური ტალღის გავრცელების სიჩქარეა.

$x_{10,20}$  -გრუნტის გადაადგილებაა  $X_{1,2}$  მიმართულებით.

ნ. ნიკოლაენკოს და ი.ნაზაროვის შრომებში მოცემული საანგარიშო მოდელი წარმოადგენს ექვსი თავისუფლების ხარისხის მქონე მყარ ტანს. ამ მოდელის საშუალებით შესაძლებელია აღწერილი იქნას, როგორც გადატანითი და გრეხითი რხევები, ასევე შენობის სივრცითი მუშაობის დროს გათვალისწინებული იქნას მრავალი დინამიკური ეფექტი.

მოცემულია გრუნტის გავლენის მოდელირება ნაგებობის საძირკველზე მიერთებული ექვსი ზამბარის სახით, რომელიც გამოხატავს გრუნტის სიხისტეს გადატანითი და კუთხური გადაადგილების დროს და შესაბამისად ექვსი დემფერის მეშვეობით. მათი პარამეტრების განსაზღვრა ხორციელდება დრეკად ნახევარსივრცეზე ხისტი შტამპის რხევის ამოცანის გადაწყვეტით, რომელიც წარმოდგენილია კომპლექსური ფუნქციის სახით.

შემოთავაზებულია კლდოვანი და არაკლდოვანი გრუნტებისათვის სიხისტეების კოეფიციენტების გამოთვლის ფორმულები გორბუნოვ-პასადოვი-ს მიხედვით.

$$K_x = C_x A; \quad K_z = C_z A; \quad K_{\zeta} = C_{\zeta} I_0; \quad K_{\xi} = C_{\xi} I_{\xi};$$

სადაც:

$K_x$  - სიხისტეა შენობის ჰორიზონტალური გადატანითი გადაადგილების დროს (დრეკად თანაბარი ძვრისას), ნ/მ.

$K_z$  - სიხისტეა შენობის ვერტიკალური გადატანითი გადაადგილების დროს (დრეკად თანაბარი კუმშვისას), ნ/მ.

$K_{\zeta}$  - კუთხური სიხისტეა შენობის ვერტიკალურ სიბრტყეში რხევისას (დრეკად არათანაბარი კუმშვისას), ნ.მ.

$K_{\xi}$  - კუთხური სიხისტეა შენობის ჰორიზონტალურ სიბრტყეში მობრუნებისას (დრეკად არათანაბარი ძვრისას), ნ.მ.

$A$  - საძირკვლის ფილის ფართობი მ<sup>2</sup>.

$I_0$  - საძირკვლის ფართობის ინერციის მომენტია რხევის ჰორიზონტალური ღერძის მიმართ მ<sup>4</sup>.

$I_{\xi}$  - საძირკვლის ფართობის პოლარული ინერციის მომენტია ვერტიკალური ღერძის მიმართ მ<sup>4</sup>.

$C_x, C_z, C_{\zeta}, C_{\xi}$  - კოეფიციენტებია, რომლებიც დამოკიდებულნი არიან გრუნტის სახეობაზე და საძირკვლის ზომებზე ნ/მ<sup>3</sup>. მაგალითად ამ კოეფიციენტის მნიშვნელობები ერთგვაროვანი გრუნტებისათვის გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

$$C_z = k_z \frac{E}{(1-\epsilon^2)} \cdot \frac{1}{\sqrt{A}}; \quad C_x = k_x \frac{E}{(1-k_x \epsilon)(1+\epsilon)} \cdot \frac{1}{\sqrt{A}};$$

$$C_{\zeta} = k_{\zeta} \frac{E}{(1-\epsilon^2)} \cdot \frac{1}{\sqrt{A}}; \quad C_{\xi} = 1.5 C_x$$

აღწერილია სივრცეში 6 თავისუფლების ხარისხის მქონე მყარი ტანის მოძრაობა (3 გადაადგილება, 3 მობრუნება) შემდეგი განტოლებათა სისტემით.

$$m\ddot{X}_{1l} = \sum F_{kx1}; \quad m\ddot{X}_{2l} = \sum F_{kx2}; \quad m\ddot{X}_{3l} = \sum F_{kx3};$$

$${}_{11}\dot{\zeta}_1 + ({}_{13} - {}_{12})\dot{\zeta}_2\dot{\zeta}_3 = \sum M_{x1}; \quad {}_{22}\dot{\zeta}_2 + ({}_{21} - {}_{23})\dot{\zeta}_1\dot{\zeta}_3 = \sum M_{x2};$$

$${}_{33}\dot{\zeta}_3 + ({}_{32} - {}_{31})\dot{\zeta}_1\dot{\zeta}_2 = \sum M_{x3}$$

სადაც:

$m$  და  ${}_{11}, {}_{22}, {}_{33}$ -მასა და სხეულის ინერციის მთავარი ცენტრალური მომენტებია.

$\sum F_{kx1}, \sum F_{kx2}, \sum F_{kx3}$  და  $\sum M_{x1}, \sum M_{x2}, \sum M_{x3}$ -მთავარი ვექტორისა და მთავარი მომენტების გეგმილება შესაბამისად  $Ox_1x_2x_3$  ინერციული ღერძებისა და  $Cx_1x_2x_3$  ტანის ინერციის მთავარი ღერძების მიმართ.

$\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$  - კუთხური კვაზისიჩქარეებია, რომლებიც განისაზღვრება ეილერის კინემატიკური განტოლებებით, სისტემის მობრუნების კუთხეებთან დამოკიდებულებით. მაგალითად კარდანული კუთხეებისათვის:

$$\zeta_1 = \dot{r}_1 \cos r_2 \cos r_3 + \dot{r}_2 \sin r_3; \quad \zeta_2 = -\dot{r}_1 \cos r_2 \sin r_3 + \dot{r}_2 \cos r_3$$

$$\zeta_3 = \dot{r}_1 \sin r_2 + \dot{r}_3$$

სადაც:  $r_1, r_2, r_3$ -ფაქტიური მობრუნების კუთხეებია.

განხილულია ა.ანიკევის და ვ.ილიჩოვის მიერ შემოთავაზებული მრგვალი სამირკვლისათვის ჰორიზონტალური-გრეხვითი რხევის ამოცანა შემდეგი პარამეტრებით:  $a$ -ფუძის რადიუსი; სამირკვლის სიმძიმის ცენტრი მდებარეობს შტამპის ცენტრზე გამავალ  $y_z$  მანძილით დაშორებულ ვერტიკალურ ღერძზე;  $m$ -მასა;  $j$ -ინერციის მომენტი. დრეკადი ნახევარსივრცე განისაზღვრება შემდეგი მახასიათებლებით: ... -სიმკვრივე; ~ -ძვრის მოდული; € -პუასონის კოეფიციენტი;  $C_2$ -განივი ტალღების გავრცელების სიჩქარე. სამირკველზე აგრეთვე მოქმედებს არაცენტრალურად მოდებული  $f(t)$  ვერტიკალური ძალა <

ექსენტრისტიკტით. გრეხვითი რხევების აღწერა ხდება შემდეგი განტოლებათა სისტემით:

$$m \frac{d^2 U_x}{dt^2} - m y_z \frac{d^2 U_a}{dt^2} + R_x = 0 ; \quad y \frac{d^2 U_a}{dt^2} - m y_z \frac{d^2 U_x}{dt^2} + R_a = \langle .f(t) \rangle$$

$$U_a(t) = \int_0^t R_a(t_1) \Phi_0(t-t_1) dt_1 ; \quad U_x(t) = \int_0^t R_x(t_1) U_0(t-t_1) dt_1$$

რომელშიც  $U_x(t)$ -ჰორიზონტალური გადაადგილებაა, ხოლო  $U_a(t)$ -სამირკველის გრეხვის კუთხეა,  $R_x(t)$ -ფუძის რეაქციის ჰორიზონტალური მდგენელი,  $R_a(t)$ -ფუძის რეაქციის მომენტი. ფუძის რეაქციასა და გადაადგილებას შორის კავშირი განისაზღვრება ნახვევის ტიპის ინტეგრალით შესაბამისად  $\Phi_0(t)$  და  $U_0(t)$  ბირთვებით, რომელიც წარმოადგენს ერთეული იმპულსური დატვირთვის ზემოქმედებით გამოწვეულ შტამპის მობრუნებასა და გადაადგილებას. ეს ამოცანა ლიტერატურაში იმპულსურ გარდამავალი ფუნქციის სახელწოდებითაა ცნობილი.

ამავე თავშია განხილული საქართველოში მომხდარი დამანგრეველი მიწისძვრები და მათგან გამოწვეული შედეგები, რომელსაც მოწმობს, როგორც ისტორიული ასევე ინსტრუმენტალური მონაცემები. ყურადღებაა გამახვილებული სეისმომედეგი მშენებლობის აუცილებლობაზე, რომელიც ასე აუცილებელია მაღალი სეისმური რისკის პირობებში მცხოვრები ხალხის უსაფრთხოებისათვის.

მესამე თავში განხილულია ხიმინჯოვანი სამირკველის ტიპები მათი, გრუნტში მუშაობის თვალსაზრისით. აღწერილია ხიმინჯების ანგარიში ორივე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით. მოცემულია სხვადასხვა გრუნტის პირობებში ხიმინჯებისათვის ზიდვის უნარის გამოსათვლელი ფორმულა საქართველოში მოქმედი СНиП 2.02.03.-85. Свайные фундаменты.-ის მიხედვით.

$$F_d = \chi_c \left( \chi_{cR} RA + U \sum_{i=1}^{i=n} \chi_{cfi} f_i h_i \right)$$

სადაც:



$\chi_c$  - ხიმინჯის გრუნტში მუშაობის პირობების კოეფიციენტი.

$R$  - გრუნტის საანგარიშო წინაღობაა ხიმინჯის ძირზე.

$A$  - ხიმინჯის განივი კვეთის ფართობია.

$U$  - ხიმინჯის განივი კვეთის პერიმეტრია.

$f_i$  -  $i$ -ური ფენის საანგარიშო წინაღობაა ხიმინჯის გვერდით ზედაპირზე.

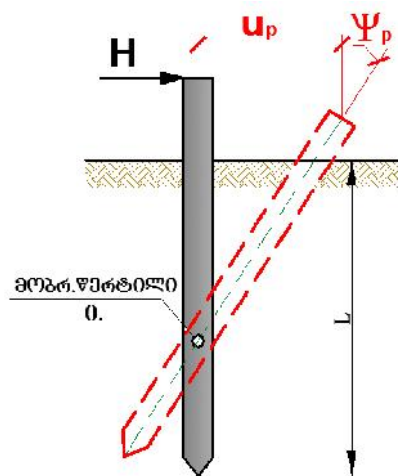
$h_i$  - გრუნტის  $i$ -ური ფენის სიმძლავრეა.

$n$  - გრუნტის ფენათა რიცხვია.

$\chi_{cR}, \chi_{cf}$  - გრუნტის მუშაობის პირობების კოეფიციენტებია, შესაბამისად ხიმინჯის ძირზე და გვერდით ზედაპირზე.

მოკლედ არის მიმოხილული ხიმინჯების ანგარიშის მეთოდები ჰორიზონტალურ დატვირთვაზე და მომენტის მოქმედებაზე.

განხილულია ხიმინჯის ანგარიშის ანალიტიკური მეთოდი ჰორიზონტალურ დატვირთვებზე, სადაც ხიმინჯი განიხილება როგორც აბსოლუტურად ხისტი ღერო, რომელიც შემობრუნდება <<ნულოვანი>> წერტილის ირგვლივ (სურ.1). ამ მეთოდში გრუნტის წინააღმდეგობის მოდელირება ხორციელდება ზღვრული წონასწორობის კლასიკური თეორიით. ანგარიშის ასეთი მოდელის განვითარებაზე მუშაობდნენ: ი. ლუჩკოვსკი, გ. ლეკუმოვიჩი, ნ. ლალეტინი, ვ. ბერეზანცევი, კ. ტერცაგი და სხვები.

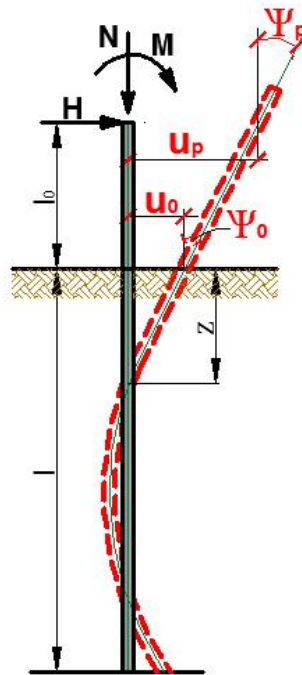


სურ.1

ამავე თავში განხილულია ხიმინჯის ანგარიშის მეთოდის მისი მოქნილობის გათვალისწინებით ჰორიზონტალურ დატვირთვაზე და მომენტის მოქმედებაზე (სურ.2). ამ მეთოდში გრუნტის წინაღობა განისაზღვრება ვინკლერის მოდელის სხვადასხვა მოდიფიკაციით, რომლის მნიშვნელობა ამა თუ იმ კანონზომიერებით იცვლება სიღრმის მიხედვით. გრუნტის მოდელირება ხდება კონტინუალური (მთლიანი) ტანის სახით, ან ყველაზე ხშირად გამოყენებადი წრფივად-დეფორმირებადი მოდელის სახით.

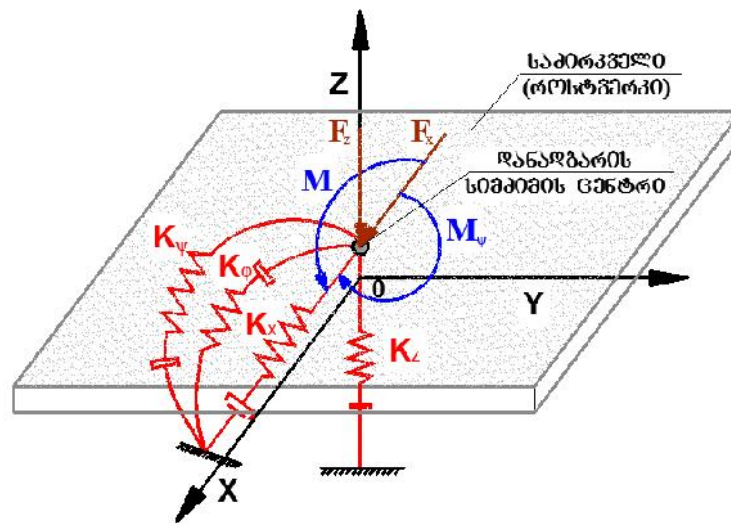
ვინკლერის ჰიპოთეზის გამოყენებით ამ მეთოდით ანგარიშების სრულყოფაზე მუშაობდნენ: ბ.ბახოლდინი, კ.ზავრიევი, გ.შპირო, ნ.სნიტკო, ა.გოტმან, ჰ.პაულუსი, ტ.დევისი, კ.იანგი, სკოტი, ლ.რისე და სხვა.

ხოლო ხიმინჯების ანგარიშის მეთოდები, რომელიც დაფუძნებულია უწყვეტი ტანის მოდელებისა და წრფივად-დეფორმირებადი ტანის თეორიებზე განვითარდა შემდეგი მეცნიერების დამსახურებით: ბ.ბახოლდინი, ხ.ჯანტიმიროვი, დ.რაზვოდოვსკი, ნ.გოლტმანი, მ.კაიუმოვი, ვ.ფედოროვსკი, კ.სიუნ, ჯ.ლი, ი.ევან, ტ.დევისი, რ.ფრანკი და სხვა.



სურ.2

განალიზებულია ხიმინჯოვანი საძირკვლების დინამიკური ანგარიშების სამი მეთოდი. ამათგამ პირველი მეთოდი დაფუძნებულია ნორმატიულ დოკუმენტის როგორცაა СНиП 2.02.05.-87 <<Фундаменты машин с динамическими нагрузками>>-ის მიხედვით ხიმინჯების დინამიკურ ანგარიშზე, სადაც საძირკვლის მოდელირება ხდება ხისტი ტანის მეშვეობით, რომელზეც მოდებულია დანადგარების მუშაობისაგან გამოწვეული სხვადასხვა ხასიათის (პერიოდული, იმპულსური, შემთხვევითი და აშ.) დინამიკური დატვირთვები (სურ.3).



სურ.3

ამ მეთოდით ხიმინჯოვანი საძირკვლის დინამიკური ანგარიში ხორციელდება დაყვანილი მასებისა და სიხისტის კოეფიციენტების გათვალისწინებით, რომლებიც განისაზღვრებიან შემდეგი ფორმულებით.

ხიმინჯოვანი საძირკვლის ვერტიკალური რხევის დროს:

$$m_{z,red} = m_r + S_z^* \sum_{i=1}^N m_{i,p} \sum_{i=1}^N m_{i,o}; \quad K_{z,red} = \frac{K_{z,red}^*}{1 + \frac{K_{z,red}^* l_0}{NE_b A_p}};$$

$$K_{z,red}^* = NE_b A_p \bar{S} \frac{\bar{S} th(\bar{S} l) + r}{\bar{S} + r th(\bar{S} l)}; \quad \bar{S} = \sqrt{\frac{c_p, m^u}{E_b A_p}}; \quad c_{p,m} = \frac{\sum_{k=1}^{k_l} c_{p,k} l_k}{l};$$

$$S_z^* = k^* \frac{\sum_{k=1}^{k^*} c_{p,k} l_k}{c_0 l}; \quad r = \frac{C_z^*}{E_b}; \quad C_z^* = b_0 E \left( 1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right),$$

სადაც:

$m_{z,red}$  - ხიმინჯოვანი საძირკვლის დაყვანილი მასაა, ტ(ტძ.წმ<sup>2</sup>/მ);

$m_r$  - როსტვერკის საერთო მასაა, ტ(ტძ.წმ<sup>2</sup>/მ);

$m_{i,p}$  - გრუნტში ჩაღრმავებული ხიმინჯის i-ური ნაწილის მასაა, ტ(ტძ.წმ<sup>2</sup>/მ);

$m_{i,p}$  - გრუნტში ჩაღრმავებული ხიმინჯის i-ური ნაწილის მასაა, ტ(ტძ.წმ<sup>2</sup>/მ);

$m_{i,0}$  - გრუნტის ზემოდ მდებარე ხიმინჯის i-ური ნაწილის მასაა, ტ(ტძ.წმ<sup>2</sup>/მ);

$k^*$  - კოეფიციენტი, რომელიც მიიღება: რკინაბეტონის ხიმინჯებისათვის-2; რკინაბეტონის ხიმინჯების ველისათვის-2,5; ხის ხიმინჯებისათვის-3,5.

$k_i$  და  $k_{i'}$  - კოეფიციენტი, რომელიც აითვლება გრუნტის ზედაპირიდან სიღრმის მიხედვით და რომელიც შესაბამისად უდრის  $l$ -ს და  $l^* = 0.2[1 + 4th(10/l)]$ .

$c_{p,k}$  -  $k$  -ური ფენისათვის გრუნტის მოცულობითი დრეკადი წინაღობაა ხიმინჯის გვერდით ზედაპირზე.

$l_k$  -  $k$  -ური ფენის სისქეა.

$c_0$  - კოეფიციენტი, რომელიც მიიღება ტოლი 10000 კნ/მ<sup>3</sup>(1000ტძ/მ<sup>3</sup>)-სა.

$l$  - გრუნტში ხიმინჯის ჩაშვების სიღრმეა, მ;

$l_0$  - მანძილი როსტვერკის ძირიდან გრუნტის ზედაპირამდე, მ; დაბალი როსტვერკის შემთხვევაში  $l_0 = 0$ .

$N$  - ხიმინჯების რაოდენობაა;

$E_b$  - ხიმინჯის მასალის დრეკადობის მოდულია, კპა(ტძ/მ<sup>2</sup>);

$A_b$  - ხიმინჯის განივი კვეთის ფართია, მ<sup>2</sup>;

$u$  - ხიმინჯის განივი კვეთის პერიმეტრია, მ;

$C_z^*$  - ხიმინჯის ბოლოზე გრუნტის დრეკადი თანაბარი კუმშვის კოეფიციენტი, კნ/მ<sup>3</sup>(ტძ/მ<sup>3</sup>);

$b_0$ -კოეფიციენტი,  $m^{-1}$ , რომელიც მიიღება: ქვიშოვანი გრუნტებისათვის-1, ქვიშნარებისა და თიხნარებისათვის-1,2, თიხებისა და მსხვილნატეხოვანი გრუნტებისათვის-1,5. ჩასასობი ხიმინჯების შემთხვევაში ამ კოეფიციენტის მნიშვნელობები ორმაგდება.

$E$ - გრუნტის დეფორმაციის მოდულია საძირკვლის ძირზე, მპა.(ტმ/მ<sup>2</sup>), რომელიც განისაზღვრება СНиП-2.02.01.-83\* მოთხოვნების შესაბამისად.

$$A_{10} = 10m^2;$$

$A$  - საძირკვლის ძირის ფართობია, მ<sup>2</sup>, რომელიც მიიღება ხიმინჯის ბოლოში ყველაზე დიდი განივი კვეთის მქონე ხიმინჯის ფართის ტოლი.

ხიმინჯოვანი საძირკვლების ჰორიზონტალური რხევის დროს

$$s_{,red} = m_r + S_x^* \sum_{i=1}^N i, + \sum_{i=1}^N i, o;$$

$$S_x^* = 0,25S_z^*; \quad s_{,red} = \frac{Nr^{-3}E_b I}{p};$$

სადაც:

$m_{x,red}$  - ხიმინჯოვანი საძირკვლების დაყვანილი მასაა, ტ.(ტმ.წმ<sup>2</sup>/მ);

$I$  - ხიმინჯის განივი კვეთის ინერციის მომენტია, მ<sup>4</sup>;

$\bar{r}$  - <<ხიმინჯი - გრუნტი>> სისტემის დრეკადი დეფორმაციის კოეფიციენტია, რომელიც განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით.

$$\bar{r} = 2r_\epsilon$$

$r_\epsilon$  -დეფორმაციის კოეფიციენტია და განისაზღვრება СНиП-2.02.03.-85-ის მიხედვით. როცა  $\chi_c = 3$

როსტვერკთან ხიმინჯების სახსრული შეერთების დროს:

$$p = A_o + 2B_o l_o \bar{r} + C_o (l_o \bar{r})^2 + \frac{(l \bar{r})^3}{3}.$$

ხისტი შეერთების შემთხვევაში:

$$p = A_o + \frac{1}{C_o + l_o \bar{r}} \left\{ B_o [(l_o \bar{r})^2 - B_o] + \frac{(l_o \bar{r})^3}{3} (C_o + \frac{l_o \bar{r}}{4}) \right\}$$

$A_o, B_o, C_o$  - წარმოადგენს კოეფიციენტებს, რომლებიც დამოკიდებულია ხიმინჯის ჩაღრმავების დაყვანილ სიღრმეზე  $\bar{l} = \bar{r}l$  და მისი დაყრდნობის პირობებზე, (განისაზღვრება СНИП-2.02.03.-85 მითითებების შესაბამისად) ხიმინჯოვანი საძირკვლების გადატანითი-გრეხითი რხევების დროს:

$$m_{\{,red} = m_{x,red}; \quad \mu_{\{,red} = \mu_{\{,r} + S_z \sum_{i=1}^N m_{i,r} r_{h,i}^2 + \sum_{i=1}^N m_{i,r} r_{h,i}^2;$$

$$\mu_{\{o,red} = \mu_{\{,red} + h_2^2 m_r; \quad K_{\{,red} = \frac{K_{z,red}}{N} \sum_{i=1}^N r_{h,i}^2$$

სადაც:

$\mu_{\{,r}$  - როსტვერკის მასის ინერციის მომენტია ჰორიზონტალური ღერძის მიმართ, რომელიც გადის რხევის სიბრტყის პერპენდიკულარულად სიმძიმის ცენტრში. ტ.მ<sup>2</sup>(ტმ.მ.წმ<sup>2</sup>);

$h_2$  - მანძილია, მასის ინერციის ცენტრიდან  $m_r$  როსტვერკის ძირამდე, მ;

$r_{h,i}$  - მანძილია,  $i$ -ური ხიმინჯის ღერძიდან ჰორიზონტალურ ღერძამდე, რომელიც გადის საძირკვლის სიმძიმის ცენტრში, რხევის სიბრტყის პერპენდიკულარულად, მ.

ხიმინჯოვანი საძირკვლების გრეხვითი რხევების დროს:

$$m_{\{E,red} = m_{x,red}; \quad \mu_{\{E,red} = \mu_{\{E,r} + S_x \sum_{i=1}^N m_{i,p} r_{v,i}^2 + \sum_{i=1}^N m_{i,o} r_{v,i}^2; \quad K_{\{E,red} = \frac{K_{x,red}}{N} \sum_{i=1}^N r_{v,i}^2.$$

სადაც:

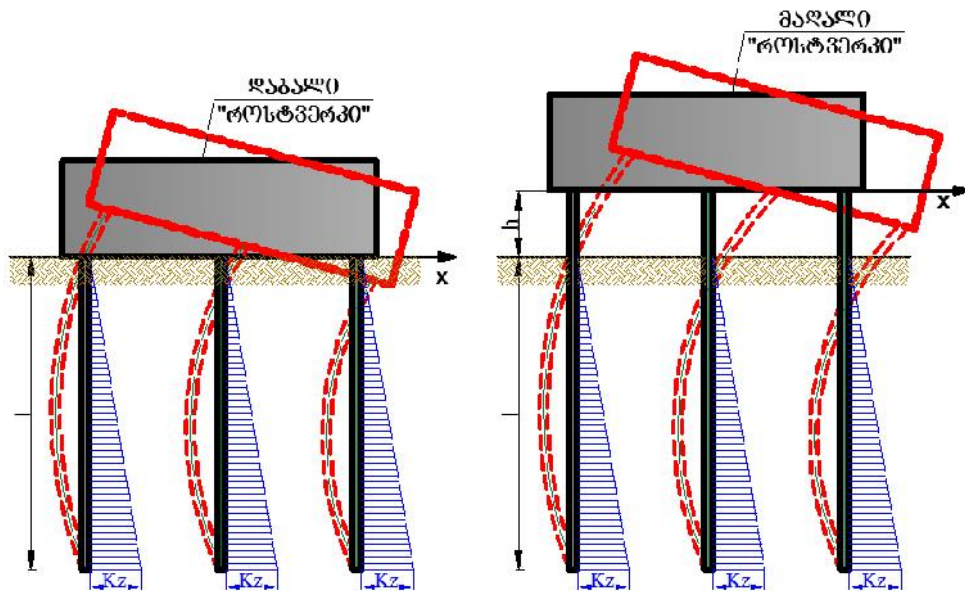
$\mu_{\{E,r}$  - როსტვერკის მასის ინერციის მომენტია ვერტიკალური ღერძის მიმართ, რომელიც გადის როსტვერკის სიმძიმის ცენტრში ტ.მ<sup>2</sup>(ტმ.მ.წმ<sup>2</sup>);

$r_{v,i}$  - მანძილია,  $i$ -ური ხიმინჯის ღერძიდან როსტვერკის სიმძიმის ცენტრში გამავალი ვერტიკალურ ღერძამდე, მ.

ექსპერიმენტალური მონაცემების არარსებობის შემთხვევაში ფარდობითი დემფირება  $\alpha_z$  ხიმინჯოვანი საძირკვლების ვერტიკალური რხევის დროს მიიღება 0,2-ის ტოლი.

ხიმინჯოვანი საძირკვლის დინამიკური ანგარიშის მეორე მეთოდი დაფუძნებულია ვ.ილიჩოვის, ი.მონლოლოვის და ვ.შაევიჩის <<ხიმინჯოვანი

საძირკვლები სეისმურ რაიონებში>> მოცემულ შედეგებზე. ასეთი მიდგომის ძირითად იდეას წარმოადგენს ხიმინჯოვანი საძირკვლის ისეთი საანგარიშო მოდელის შექმნა, რომელიც გარკვეული დაშვებებით შესაძლებელს გახდის ანალიტიკური ხერხით გამოთვლილი იქნას სიხისტის კოეფიციენტები ძვრისა  $K_x$  -ის და მობრუნების  $K_\zeta$  -ის დროს (სურ.4).



სურ.4

წარმოდგენილ მეთოდში როსტვერკი განიხილება, როგორც ხისტი არადეფორმირებადი სხეული, რომელიც დაყრდნობილია ხიმინჯებზე. ხიმინჯები ჰორიზონტალური მიმართულებით მუშაობენ, როგორც ღერო დრეკად (ვინკლერის) ფუძეზე სიღრმეში წრფივად ზრდადი საგების კოეფიციენტით .

ამ მეთოდიკით ხიმინჯოვანი საძირკვლების სიხისტის კოეფიციენტები დრეკადი თანაბარი ძვრისას  $K_x$  და დრეკადი მობრუნებისას  $K_\zeta$  გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

$$K_x = nC_2 - \frac{n^2 C_3^2}{C_1 \sum_{i=1}^n y_i^2 + nC_4}; \quad K_\zeta = C_1 \sum_{i=1}^n y_i^2 + nC_4 - n \frac{C_3^2}{C_2}.$$

სადაც:

$n$  -სიმეტრიულ როსტვერკში ხიმინჯების რაოდენობაა;

$y_i$ -მანძილია, როსტვერკის მობრუნების ღერძიდან  $i$ -ური ხიმინჯის ღერძამდე.

$C_1$ -ძალაა, რომელიც მიმართულია  $i$ -ური ხიმინჯის გასწვრივ და რომელიც წარმოიშვება როსტვერკის ძირის დრეკადი ერთეულოვანი გადაადგილებით იმავე ღერძის გასწვრივ.

$C_2$ -ძალაა, რომელიც მიმართულია ხიმინჯის ღერძის პერპენდიკულარულად და რომელიც წარმოიშვება როსტვერკის დრეკადი ერთეულოვანი გადაადგილებით ამავე მიმართულებით.

$C_3$ -მომენტია, რომელიც მოქმედებს ხიმინჯის ღერძზე გამავალ სიბრტყეში და რომელიც გამოწვეულია როსტვერკის ძირის დრეკადი ერთეულოვანი გადაადგილებით ამავე ღერძის გასწვრივ.

$C_4$ -მომენტია, რომელიც მოქმედებს ხიმინჯის ღერძზე გამავალ სიბრტყეში და რომელიც გამოწვეულია ამავე სიბრტყეში როსტვერკის ძირის დრეკადი ერთეულოვანი მობრუნებით.

$C_2$  კოეფიციენტის მნიშვნელობები დაბალი და მაღალი როსტვერკის შემთხვევაში გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით.

დაბალი როსტვერკი:

მაღალი როსტვერკი:

$$C_2 = \frac{r^3 EI}{a_y(\zeta_o)};$$

$$C_2 = \frac{EI}{C_h^y};$$

სადაც:

$$r = \sqrt[5]{\frac{Kb}{EI}}; \quad \zeta_1 = r \cdot l; \quad C_h^y = a_h^H - a_h^M c_h^M;$$

$$a_h^H = \frac{a_y^H(\zeta_o)}{r^3} + \frac{2a_y^M(0)h}{r^2} + \frac{a_\zeta^M(0)h^2}{r} + \frac{h^3}{3};$$

$$a_h^M = \frac{a_y^M(0)}{r^2} + \frac{a_\zeta^M(0)h}{r} + \frac{h^2}{3}; \quad c_h^M = \frac{r \cdot a_h^M(0)}{a_\zeta^M(0) + r \cdot h};$$

$b$  -ხიმინჯის განივი კვეთის სიგანეა;

$EI$  -ხიმინჯის განივი კვეთის ღუნვითი სიხისტეა;



კოეფიციენტების  $a_y(\zeta), a_\zeta(\zeta), a_M(\zeta), a_H(\zeta)$  მნიშვნელობები ხიმინჯისათვის ძირის ჩამაგრების პირობებიდან გამომდინარე აიღება შესაბამისი გრაფიკებიდან.

კოეფიციენტი  $C_3$  დაბალი და მაღალი როსტვერკისათვის განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით.

დაბალი როსტვერკი:

$$C_3 = \frac{a_M(\zeta_0)r^2 EI}{a_y(\zeta_0)};$$

მაღალი როსტვერკი:

$$C_3 = \frac{c_h^M EI}{c_h^y};$$

კოეფიციენტი  $C_4$  დაბალი და მაღალი როსტვერკისათვის განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით.

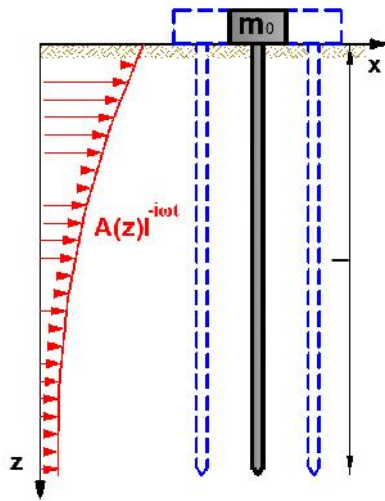
დაბალი როსტვერკი:

$$C_4 = \frac{a_M(\zeta_0)r EI}{a_\zeta(\zeta_0)};$$

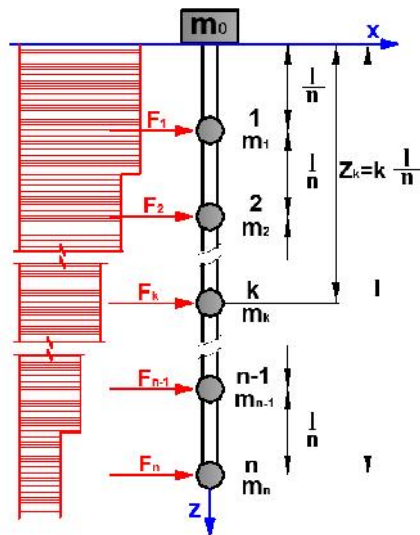
მაღალი როსტვერკი:

$$C_4 = \frac{r EI c_h^M}{c_h^M a_\zeta^M(0) - a_\zeta^M(0)h + \frac{a_\zeta^M(0)}{2r} - \frac{r h^2}{2} + r h c_h^y};$$

მესამე მოდელი წარმოადგენს ლ.სტავნიცერის <<ფუძე საძირკვლების სეისმომედეგობა>> მონოგრაფიაში აღწერილ ხიმინჯების ანგარიშს ტალღური მეთოდით. ამ მეთოდში განიხილება ცალკე მდგომი ცილინდრული ხიმინჯი, როგორც დრეკადი ღერო, ხოლო გრუნტი დამოდელირებულია, როგორც დრეკადი ნახევარსივრცე, რომელშიც ჰორიზონტალური მიმართულებით ვრცელდება გრძივი ჰარმონიული ტალღები. ტალღის საანგარიშო პარამეტრები განისაზღვრება რხევის წრიული სიხშირისა  $S$  და ჰორიზონტალური რხევის ამპლიტუდებით  $A(z)$ , რომლის ცვლილების კანონი  $z$  სიღრმის მიხედვით შესაძლებელია განისაზღვროს გრუნტის პირობებისა და საინჟინრო სეისმოლოგიური მონაცემების მიხედვით (სურ.5).



სურ.5



სურ.6

ამ მეთოდით ანგარიშისას ხიმინჯი განიხილება დისკრეტული საანგარიშო დინამიკური მოდელის სახით თავზე შეყურსული  $m_0$  და  $m_k$  მასებით, რომელიც შესაბამისად ტოლია განსახილველ ხიმინჯზე მოსული ნაგებობის ვერტიკალური სტატიკური დატვირთვისა და ხიმინჯის  $l/n$  უბნების მასებისა (სურ.6).

სეისმური ტალღის ზემოქმედება მოცემულია დისკრეტული სახით, სადაც ხიმინჯის სიგრძის ყველა უბანზე ტალღური ზემოქმედების ინტენსიურობა წარმოდგენილია მუდმივი დატვირთვის სახით, ანუ გრუნტის დინამიკური წნევის განაწილების უცნობი ფუნქცია აპროქსიმირდება საფეხურისებრი დატვირთვით. ყოველი საფეხურის თანაბრადმოქმედი დინამიკური დატვირთვა  $F_{xk}$  მოდებულია ხიმინჯის  $k=1,2,\dots,n$  წერტილებში, ანუ მოქმედებს შეყურსულ მასებზე. ამოცანის ასეთი სახის დაყენებისას სეისმური ტალღის ზემოქმედებისას შენობისა და ხიმინჯის რხევა აღიწერება როგორც შეყურსულ მასებიანი  $m_k$  დრეკადი ღეროს იძულებითი რხევის განტოლებით, რომელზეც მოდებული შემამფოთებელი  $F_{xk}$  შეყურსული ძალია. ამ მეთოდისათვის სეისმური ტალღის ზემოქმედებაზე დამუშავებულია  $l$  სიგრძისა და წრიული განივი კვეთის მქონე ცილინდრული ხიმინჯის ანგარიშის ალგორითმი შემდეგი თანმიმდევრობით.

1. განისაზღვრება შემდეგი პარამეტრების სიდიდეები:

$$\text{ა) } \frac{m}{m_0}; \quad \text{ბ) } x_0 = \frac{m_0 \zeta^2 l^3}{6E_0 J_0}; \quad \text{გ) } x_1 = \frac{\dots}{\dots_0} \cdot \frac{m}{m_0};$$

$$\text{დ) } rR = \frac{\zeta R}{c_1} = \frac{2fR}{\}; \quad \text{ე) } y = \frac{2(1-\epsilon)}{1-2\epsilon};$$

სადაც:

$m$ -ხიმინჯის მასაა;  $m_0$ - ნაგებობის ნაწილის მასაა, რომელიც მოდის ერთ ხიმინჯზე;  $\zeta$  - სეისმური რხევის წრიული სიხშირეა;  $l$ - ხიმინჯის სიგრძეა;  $R$ - ხიმინჯის განივი კვეთის რადიუსია;  $E_0$ - ხიმინჯის მასალის დრეკადობის მოდულია;  $J_0 = \frac{1}{4}fR^4$  - ხიმინჯის განივი კვეთის ინერციის მომენტია;  $\dots$  - გრუნტის საშუალო სიმკვრივეა, რომელიც გარს არტყავს ხიმინჯს;  $\dots_0$ - ხიმინჯის მასალის სიმკვრივეა;  $c_1$ -გრუნტში გრძივი დრეკადი ტალღების გავრცელების სიჩქარეა;  $\}$  -ტალღის სიგრძეა;  $\epsilon$  -გრუნტის პუასონის კოეფიციენტი.

2. გავლენის მატრიცის სიდიდეები გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

$$u_{jk} = \frac{1}{n^3} j^2 (3k - j) \text{ როცა } j \leq k; \quad u_{jk} = \frac{1}{n^3} k^2 (3j - k) \text{ როცა } j \geq k;$$

$$(j, k = 1, 2, 3, \dots, n).$$

3. გამოითვლება მატრიცის კოეფიციენტები

$$= \begin{vmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nn} \end{vmatrix}$$

შემდეგი ფორმულებით:

$$d_{jk} = \frac{m}{nm_0} (x_0 u_{jk} - 1) \text{ როცა } j \neq k; \quad d_{jk} = \left[ \frac{m}{nm_0} (x_0 u_{jk} - 1) - 1 \right] \text{ როცა } j = k;$$

4. მატრიცა  $\{d_{jk}\}$ -თვის გამოითვლება მისი შებრუნებული მატრიცის კოეფიციენტები  $A\{a_{jk}\}$

$$A^{-1} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}$$

5. გამოითვლება  $B\{b_{jq}\}$  მატრიცის კოეფიციენტები

$$B = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{vmatrix}$$

შემდეგი ფორმულით:

$$b_{jq} = \sum_{k=1}^n a_{jk} (x_0 u_{kq} - 1).$$

6. ყოველი  $j$ -ური წერტილისათვის ( $j=1, 2, \dots, n$ ) შევადგინოთ  $2n$  წრფივი ალგებრული განტოლებათა სისტემა:

$$\begin{aligned} (1+y)P_j - \frac{4}{f} [\ln(rR) - 0.115931] S_j - \\ - \frac{x_1}{n} \sum_{q=1}^n b_{jq} \left[ (1+y)P_q + \frac{8}{f(rR)^2} S_q \right] = 0; \\ \frac{4}{f} [\ln(rR) - 0.115931] P_j + (1+y)S_j + \\ + \frac{x_1}{n} \sum_{q=1}^n b_{jq} \left[ \frac{8}{f(rR)^2} P_q - (1+y)S_q \right] = 2 \left[ -\{_{0j} + \frac{x_1}{n} \sum_{q=1}^n b_{jq} \{_{0q} \right]; \end{aligned}$$

სადაც  $P_j$  და  $S_j$  საძიებელი უცნობი სიდიდეებია, რომლებიც განისაზღვრება ყოველი  $j=1, 2, \dots, n$  კვანძისათვის ზემოთ მოყვანილი განტოლებათა სისტემიდან.

$\{_{0j} = \frac{A_j}{r}$  სიღრმეში სეისმური ტალღის ამპლიტუდის პოტენციალის მაჩვენებელია, რომელიც შეესაბამება  $j$ -ური კვანძის კოორდინატებს.

$A_j$  – სეისმური ტალღის ამპლიტუდაა  $j$ -ური კვანძის კოორდინატების მიხედვით.

$$r = \frac{\%_0}{c_1} = \frac{2f}{\quad} \quad \text{ტალღური რიცხვი.}$$

7. წარმოვადგინოთ უცნობი სიდიდეები  $P_j$  და  $S_j$  შემდეგი სახით:

$$P_j = \sum_{q=1}^n \bar{P}_{jq} \{ \xi_{oq} \}; \quad S_j = \sum_{q=1}^n \bar{S}_{jq} \{ \xi_{oq} \}; \text{ და გამოვთვალოთ } P \{ \bar{P}_{jq} \} \text{ და } S \{ \bar{S}_{jq} \} \text{ მატრიცის}$$

კოეფიციენტები პუნქტ 6-ში მოცემული განტოლებათა სისტემის წრფივი გარდაქმნით,  $\{ \xi_{oj} \}$  სიდიდის ნებისმიერი მნიშვნელობებისათვის:

$$P = \begin{vmatrix} \bar{P}_{11} & \bar{P}_{12} & \dots & \bar{P}_{1n} \\ \bar{P}_{21} & \bar{P}_{22} & \dots & \bar{P}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{P}_{n1} & \bar{P}_{n2} & \dots & \bar{P}_{nn} \end{vmatrix} \quad S = \begin{vmatrix} \bar{S}_{11} & \bar{S}_{12} & \dots & \bar{S}_{1n} \\ \bar{S}_{21} & \bar{S}_{22} & \dots & \bar{S}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{S}_{n1} & \bar{S}_{n2} & \dots & \bar{S}_{nn} \end{vmatrix}$$

8. როდესაც გრუნტის სეისმური რხევის ამპლიტუდა  $A_0$  ხიმინჯის მთელ სიგრძეზე სიღრმის მიუხედავად მიიღება მუდმივ სიდიდედ, ამ შემთხვევაში  $\bar{P}_j$  და  $\bar{S}_j$  კოეფიციენტები ხიმინჯის ყველა კვანძისათვის გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$\bar{P}_j = \frac{P_j}{\xi_0} = \sum_{q=1}^n \bar{P}_{jq}; \quad \bar{S}_j = \frac{S_j}{\xi_0} = \sum_{q=1}^n \bar{S}_{jq};$$

სადაც:  $\bar{P}_{jq}$  და  $\bar{S}_{jq}$  -  $P$  და  $S$  მატრიცების  $j$ -ური სტრიქონის კოეფიციენტებია

(იხ. პუნქტი 7);  $\xi_0 = \frac{A_0}{r}$  - ტალღის პოტენციალის ამპლიტუდა, რომელიც

მუდმივია ყველა  $i = 1, 2, \dots, n$ -ისათვის.

9. იმ შემთხვევაში, როდესაც ტალღის გავრცელების დროს ხდება გრუნტში სიღრმის მიხედვით სეისმური რხევის ამპლიტუდების მიღწევის გათვალისწინება, აუცილებელია წარმოვადგინოთ სიღრმეში ამპლიტუდის ცვლილება ექსპონენციალური ფორმით და გამოვთვალოთ ხიმინჯის ყველა  $j$  კვანძისათვის პოტენციალის ამპლიტუდის ფარდობითი მნიშვნელობები შემდეგი ფორმულით:

$$\frac{\xi_{oj}}{\xi_o} = \frac{A_j}{A_o} = \exp \left[ - \frac{\text{trl}}{2fn} (x - 1) \right];$$

სადაც:

$A_0$  - ზედაპირზე ( $j=0$ ) გრუნტის რხევის ამპლიტუდის ჰორიზონტალური მდგენელია;  $\xi_0$  - გრუნტის ზედაპირზე ტალღის პოტენციალის ამპლიტუდაა;  $t$  -სიღრმეში ტალღის მიღევის ინტენსიურობის მაჩვენებელია, რომელიც ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის განისაზღვრება საინჟინრო სეისმოლოგიური მონაცემებით. თუ ასეთი მონაცემები არ არსებობს, მაშინ  $t = 0$  და ანგარიში მიმდინარეობს პუნქტი 8-ს მიხედვით.

$\bar{P}_j$  და  $\bar{S}_j$  კოეფიციენტების მნიშვნელობები სიღრმეში სეისმური ტალღის ჩაქრობის გათვალისწინებით განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

$$\bar{P}_j = \frac{P_j}{\xi_0} = \sum_{q=1}^n \bar{P}_{jq} \frac{\xi_{oq}}{\xi_0}; \quad \bar{S}_j = \frac{S_j}{\xi_0} = \sum_{q=1}^n \bar{S}_{jq} \frac{\xi_{oq}}{\xi_0};$$

10. ამპლიტუდები  $W_j$  და რხევის ფაზა  $\angle_{jw}$  ხიმინჯის  $j=0,1,2,\dots,n$

წერტილებში გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

$$\frac{W_j}{A_0} = \sqrt{\left(\frac{\operatorname{Re}W_j}{A_0}\right)^2 + \left(\frac{\operatorname{Im}W_j}{A_0}\right)^2}; \quad \operatorname{tg}\angle_{jw} = \frac{\operatorname{Im}W_j}{\operatorname{Re}W_j};$$

სადაც, როცა  $j=0$

$$\frac{\operatorname{Re}W_0}{A_0} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[ \frac{1+y}{2} \left(x_1 - \frac{m}{m_0}\right) \bar{P}_j + \frac{4x_1}{f(rR)^2} \bar{S}_j \right];$$

$$\frac{\operatorname{Im}W_0}{A_0} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[ \left(x_1 - \frac{m}{m_0}\right) \left(\frac{\xi_{ij}}{\xi_0} + \frac{1+y}{2} \bar{S}_j\right) - \frac{4x_1}{f(rR)^2} \bar{P}_j \right];$$

ხოლო, როცა  $1 \leq j \leq n$

$$\frac{\operatorname{Re}W_j}{A_0} = \frac{1+y}{2} \bar{P}_j - \frac{2}{f} [\ln(rR) - 0,115931] \bar{S}_j;$$

$$\frac{\operatorname{Im}W_j}{A_0} = \frac{\xi_{oj}}{\xi_0} + \frac{1+y}{2} \bar{S}_j - \frac{2}{f} [\ln(rR) - 0,115931] \bar{P}_j;$$

11. სეისმური ტალღების გავრცელებისას, გრუნტის დინამიკური წნევით გამოწვეული ჰორიზონტალური ძალების ამპლიტუდები ხიმინჯის  $j=0,1,2,\dots,n$  წერტილებში გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$\frac{F_j}{A_0 m_0 \check{S}^2} = \sqrt{\left(\frac{\operatorname{Re} F_j}{A_0 m_0 \check{S}^2}\right)^2 + \left(\frac{\operatorname{Im} F_j}{A_0 m_0 \check{S}^2}\right)^2},$$

სადაც:

$$\frac{\operatorname{Re} F_j}{A_0 m_0 \check{S}^2} = \frac{x_1}{n} \left[ \frac{1}{2} (1+y) \bar{P}_j + \frac{4}{f(rR)^2} \bar{S}_j \right];$$

$$\frac{\operatorname{Im} F_j}{A_0 m_0 \check{S}^2} = \frac{x_1}{n} \left[ \frac{\xi_{oj}}{\xi_o} + \frac{1}{2} (1+y) \bar{S}_j - \frac{4}{f(rR)^2} \bar{P}_j \right].$$

12. ხიმინჯის  $j = 0, 1, 2, \dots, n$  კვეთებში განივი ძალის მომვლები ეპიურის ორდინატები განისაძღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$\frac{Q_j}{A_0 m_0 \check{S}^2} = \sqrt{\left(\frac{\operatorname{Re} Q_j}{A_0 m_0 \check{S}^2}\right)^2 + \left(\frac{\operatorname{Im} Q_j}{A_0 m_0 \check{S}^2}\right)^2},$$

სადაც:

$$\frac{\operatorname{Re} Q_j}{A_0 m_0 \check{S}^2} = - \sum_{k=j}^n \left( \frac{\operatorname{Im} F_k}{A_0 m_0 \check{S}^2} + \frac{1}{n} \frac{m}{m_0} \frac{\operatorname{Im} W_k}{A_0} \right);$$

$$\frac{\operatorname{Im} Q_j}{A_0 m_0 \check{S}^2} = - \sum_{k=j}^n \left( \frac{\operatorname{Re} F_k}{A_0 m_0 \check{S}^2} + \frac{1}{n} \frac{m}{m_0} \frac{\operatorname{Re} W_k}{A_0} \right);$$

$$\frac{\operatorname{Re} F_k}{A_0 m_0 \check{S}^2} \text{ და } \frac{\operatorname{Im} F_k}{A_0 m_0 \check{S}^2} \quad (\text{იხ. პუნქტი 11. როცა } k = j, j+1, \dots, n),$$

$$\frac{\operatorname{Re} W_k}{A_0} \text{ და } \frac{\operatorname{Im} W_k}{A_0} \quad (\text{იხ. პუნქტი 10. როცა } k = j, j+1, \dots, n),$$

შენიშვნა: ხიმინჯის  $j = 1$  კვეთისათვის უნდა შესრულდეს შემოწმება.

$$\frac{Q_1}{A_0 m_0 \check{S}^2} = \frac{W_0}{A_0} \text{ სადაც } \frac{W_0}{A_0} \text{ (იხ. პუნქტი 10. როცა } j = 0).$$

13. ხიმინჯის  $j = 0, 1, 2, \dots, n-1$  კვეთებში მღუნავი მომენტის მომვლები ეპიურის ორდინატები განისაძღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$\frac{M_j}{m_0 \check{S}^2 A_0 l} = \sqrt{\left(\frac{\operatorname{Re} M_j}{m_0 \check{S}^2 A_0 l}\right)^2 + \left(\frac{\operatorname{Im} M_j}{m_0 \check{S}^2 A_0 l}\right)^2},$$

სადაც:

$$\frac{\operatorname{Re} M_j}{m_0 \dot{S}^2 A_0 l} = -\frac{1}{n} \sum_{k=j+1}^n (k-j) \left( \frac{\operatorname{Re} F_k}{A_0 m_0 \dot{S}^2} + \frac{1}{n} \frac{m}{m_0} \frac{\operatorname{Re} W_k}{A_0} \right);$$

$$\frac{\operatorname{Im} M_j}{m_0 \dot{S}^2 A_0 l} = -\frac{1}{n} \sum_{k=j+1}^n (k-j) \left( \frac{\operatorname{Im} F_k}{A_0 m_0 \dot{S}^2} + \frac{1}{n} \frac{m}{m_0} \frac{\operatorname{Im} W_k}{A_0} \right);$$

$$\frac{\operatorname{Re} F_k}{A_0 m_0 \dot{S}^2} \text{ და } \frac{\operatorname{Im} F_k}{A_0 m_0 \dot{S}^2} \quad (\text{იხ. პუნქტი 11. როცა } k = j+1; j+2; \dots, n);$$

$$\frac{\operatorname{Re} W_k}{A_0} \text{ და } \frac{\operatorname{Im} W_k}{A_0} \quad (\text{იხ. პუნქტი 10. როცა } k = j+1; j+2; \dots, n);$$

**მოთხე თავში** განხილულია გამოსაკვლევი ობიექტის, (რომელიც მდებარეობს ვაჟა-ფშაველას გამზირი #76 ბ-ში.) კონსტრუქციული ელემენტების მოკლე დახასიათება. მოცემულია საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევების მიხედვით სამშენებლოდ გამოყოფილ მოედანზე არსებული გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები.

განხილულია ხიმინჯის დინამიკური ანგარიშის პრაქტიკული ამოცანა СНиП 2.02.05.-87 <<Фундаменты машин с динамическими нагрузками>> და ვ.ილიჩოვი, ი.მონღოლოვი და ვ.შავეიჩის <<ხიმინჯოვანი საძირკვლები სეისმურ რაიონებში>> მოცემული მეთოდით. მიღებული გრუნტის სიხისტის კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილი-1-ში.

ცხრილი-1.

ფუძის მოდელის ტიპი	$K_x$ (ტ/მ.)	$K_y$ (ტ/მ.)	$K_z$ (ტ/მ.)	$K_{\zeta x}$ (ტ.მ)	$K_{\zeta y}$ (ტ.მ)
СНиП 2.02.03.-85 <<Свайные фундаменты>>	3722.62	3722.62	184792	54319	54319
СНиП 2.02.05.-87 <<Фундаменты машин с динамическими	1815047	1815047	606698	546609741	302367364



нагрузками>>					
В.А ильичев, Ю.В. Монголов, В.М. Шаевич <<Свайные фундаменты в сейсмических районах>>	9900945	9381641	930000	105971286	68549286

მოცემულია გამოსაკვლევი ობიექტის კომპიუტერული მოდელირება საანგარიშო კომპლექს „ЛИРА-САПР 2015“-ის გამოყენებით.

განხორციელებულია გამოსაკვლევი ობიექტის საანგარიშო მოდელის სეისმური გაანგარიშება საქართველოში მოქმედი ნორმატიული დოკუმენტის СНиП 2.02.03.-85 <<Свайные фундаменты>> მიხედვით. მოცემულია მიღებული შედეგების შედარებითი ანალიზი ნაშრომში შემოთავაზებულ СНиП 2.02.05.-87 <<Фундаменты машин с динамическими нагрузками>> და ვ. ილიჩოვი, ი. მონლოლოვი, ვ. შაევიჩი <<ხიმინჯოვანი საძირკვლები სეისმურ რაიონებში>> მიხედვით გაანგარიშების მიღებულ შედეგებთან.

მიღებული შედეგებისა და საანგარიშო მოდელის დაძაბულ-დეფორმირებული სქემის ანალიზზე შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნები:

1. ხიმინჯოვანი საძირკვლების დინამიკური მოდელების სხვადასხვა ვარიანტების ანალიზის საფუძველზე მათგან გამოყოფილი იქნა ორი მოდელი (СНиП 2.02.05.-87 <<Фундаменты машин с динамическими нагрузками>> და ვ.ილიჩოვი, ი.მონლოლოვი, ვ.შაევიჩი <<ხიმინჯოვანი საძირკვლები სეისმურ რაიონებში>>), რომლებიც ითვალისწინებენ ფუძის დამყოლობასა და გრუნტის ინერციულ თვისებებს. გარდა ამისა, მაღლივი შენობების სეისმური ანგარიშისას აღნიშნული მოდელები საშუალებას იძლევიან განხორციელდეს მათი რეალიზაცია თანამედროვე საანგარიშო

კომპიუტერულ პროგრამებში. (მაგალითად „ЛИРА-САПР 2015“ ,<<SAP2000>>, <<Мономах>, და აშ.)

2. სეისმურ ზემოქმედებაზე ანგარიშის დროს ფუძის დამყოლობის გათვალისწინება, იწვევს საკუთარი რხევის პერიოდების შემცირებას. როგორც შედარებითი ანალიზიდან ჩანს, СНнП 2.02.03.-85 -ით მიღებულ რხევის პერიოდის მნიშვნელობებთან შედარებით СНнП 2.02.05.-87 -ით მიღებული რხევის პერიოდის მნიშვნელობები შემცირებულია  $T_1-9.14\%$ -ით,  $T_2-13.3\%$ -ით, ხოლო  $T_3-13.2\%$ -ით. ხოლო ვ.ილიჩოვი, ი.მონდოლოვი, ვ.შავეიჩი <<ხიმინჯოვანი სამირკვლები სეისმურ რაიონებში>> მეთოდით მიღებულ რხევის პერიოდების მნიშვნელობები შემცირებულია  $T_1-9.14\%$ -ით,  $T_2-13.9\%$ -ით, ხოლო  $T_3-13.9\%$ -ით.

3. სეისმურ ზემოქმედებაზე ანგარიშისას ხიმინჯების დინამიკური მოდელების გამოყენებამ აჩვენა, რომ СНнП 2.02.03.-85 -ით მიღებულ შედეგებთან შედარებით შენობის დეფორმაციები „X“ ღერძის მართულებით შემცირებულია  $37.6\%-39.2\%$ -ის დიაპაზონში, ხოლო „Y“ ღერძის მართულებით  $26.9.6\%-28.3\%$ -ის დიაპაზონში.

4. შენობის სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშებისას განხილული დინამიკური მოდელების გამოყენება არსებით გავლენას ახდენს ხიმინჯებში ვერტიკალური მკუმშავი ძალების მნიშვნელობებზე. როგორც მიღებული შედეგების შედარებითი ანალიზიდან ჩანს, СНнП 2.02.03.-85 -ით მიღებულ შედეგებთან შედარებით მათი მნიშვნელობები სეისმური ძალის „X“ მიმართულებით მოქმედებისას გაზრდილია  $8.8\%-15.9\%$ -ის დიაპაზონში, ხოლო სეისმური ძალის „Y“ მიმართულებით მოქმედებისას გაზრდილია  $11.4\%-16,5\%$ -ის დიაპაზონში.

5. ანგარიშის შედეგების შედარებითი ანალიზის საფუძველზე განხილული დინამიკური მოდელებისათვის გამოვლენილი იქნა შემდეგი კანონზომიერება: ფუძის დამყოლობისა და გრუნტის ინერციული თვისებების გათვალისწინება ვ.ილიჩოვი, ი.მონდოლოვი, ვ.შავეიჩის

<<ხიმინჯოვანი საძირკვლები სეისმურ რაიონებში>> მოდელისათვის შედარებით მეტ ეფექტს იძლევა ვიდრე СНиП 2.02.05.-87 მოდელისათვის.

6. საანგარიშო კომპიუტერულ კომპლექს „ЛИРА-САПР 2015“-ის შესაძლებლობების ბაზაზე დამუშავებული იქნა სეისმურ ზემოქმედებაზე რეალური შენობის ხიმინჯოვანი საძირკვლებისათვის ახალი საანგარიშო მოდელი.

**დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია  
შემდეგ ნაშრომებში:**

1. მაღლივი შენობების მდგრადობის ზოგიერთი საკითხი. „მშენებლობა“ №2(37), 2015. ტ. ზაკუტაშვილი, ზ. კაპანაძე, თ. მაცაბერიძე, ი. ბოჭორიშვილი.
2. სეისმური ზემოქმედებისას ხიმინჯოვანი საძირკვლების ტალღური მეთოდით გაანგარიშების ალგორითმი. „მშენებლობა“ №3(38), 2015. ტ. ზაკუტაშვილი, ზ. კაპანაძე, თ. მაცაბერიძე, ი. ბოჭორიშვილი.
3. ხიმინჯების ანგარიში სეისმური ზემოქმედების დროს. „მშენებლობა“ №3(38), 2015. ტ. ზაკუტაშვილი, ზ. კაპანაძე, თ. მაცაბერიძე, ი. ბოჭორიშვილი.