

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნინო პავლიაშვილი

„შენობის დიდმალიანი კონსტრუქციული ელემენტების ვერტიკალური

სეისმური რხევები“

სადოქტორო პროგრამა მშენებლობა

შიფრი 0732

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2023 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში

სამშენებლო ფაკულტეტი

სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი სერგო ესაძე

რეცენზენტები: პროფესორი ლამარა ავალიშვილი

პროფესორი დავით რამიშვილი

დაცვა შედგება 2023 წლის 14 ივლისს, 15.00 საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის

სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე

კორპუსი I, აუდიტორია 508

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი -----დ.ტაბატაძე

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

*თემის აქტუალობა:* დედამიწის სეისმურ რეგიონებში, რომელსაც ჩვენი ქვეყანაც მიეკუთვნება, შენობა-ნაგებობების მშენებლობისას აქტუალური იყო და არის მათი სეისმომდეგობის უზრუნველყოფა. ძლიერ მიწისძვრათა შედეგების ინჟინრული ანალიზი განსაკუთრებით ეპიცენტრული ზონებისათვის, უმრავლეს შემთხვევებში მიგვითითებს სეისმური აჩქარების ვერტიკალურ მდგენელზე, როგორც შენობის/მისი ცალკეული ელემენტების დაზიანების/ნგრევის ერთ-ერთ ძირითად განმაპირობებელ ფაქტორზე. ზემოქმედების აღნიშნული ტიპი განსაკუთრებით საშიშია დიდმალიანი შენობებისათვის/ნაგებობებისათვის რომელთა დაპროექტება და მშენებლობა ინტენსიურად ხდება სეისმოაქტიურ რეგიონებში.

ეს უკანასკნელი ნიშნავს ძლიერი მიწისძვრების შედეგად უნდა დადგეს ადამიანების სიცოცხლის შენარჩუნებისა და მატერიალური ზარალის მინიმალიზაცია. აღნიშნული ამოცანის გადაჭრის სამეცნიერო და ტექნიკურ საფუძველს ქმნის მე-20 საუკუნის პირველი ნახევრიდან ინტენსიურად განვითარებადი სეისმომდეგობის თეორია. აღნიშნული თეორიის ფარგლებში, შენობა-ნაგებობათა სეისმომდეგობის უზრუნველყოფის სამეცნიერო ნაწილის ერთ-ერთი მიმართულებას/საკითხს წარმოადგენს შენობა-ნაგებობათა სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშების მეთოდები - ახალი ზემოქმედების მოდელები (შენობა/კონსტრუქცია + სეისმური ზემოქმედება) და/ან არსებულის სრულყოფა. მომდევნო ეტაპია აღნიშნული საკითხების შესაბამისი ფორმით ნორმატიულ დოკუმენტებში ასახვა. ნორმატიული დოკუმენტები წარმოადგენენ სამშენებლო (კონკრეტულად კი სეისმომდეგობის) დარგში მოცემულ ეტაპზე არსებული სამეცნიერო და ტექნიკური ცოდნის განზოგადებასა და მათთვის ნორმატიული სტატუსის მინიჭებას. სეისმოაქტიურ რეგიონებში მდებარე თითქმის ყველა ქვეყანაში მოქმედებაშია აღნიშნული ტიპის დოკუმენტი.

*დისერტაციის მიზანია* სეისმომდეგობაზე გაანგარიშების ნორმატიული მეთოდისა და სტატისტიკური თეორიის ფარგლებში, ვერტიკალურ სეისმურ

ზემოქმედებაზე დიდმალიანი კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდოლოგიის დამუშავება.

**მეცნიერულ სიახლეს** წარმოადგენს: გადახურვის დიდმალიანი ბრტყელი კონსტრუქციული ელემენტის დეტერმინირებულ (ნორმატიულ) ვერტიკალურ სეისმურ დატვირთვაზე გაანგარიშების მეთოდოლოგია; მიღებულია გადახურვის დიდმალიანი ბრტყელი კონსტრუქციული ელემენტის შემთხვევით (დეტერმინირებული მომვლელი ფუნქციისა და სტაციონალური შემთხვევითი პროცესის ნამრავლი) ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშების მეთოდოლოგია.

**პრაქტიკული მნიშვნელობა.** სადისერტაციო ნაშრომში მიღებული შედეგების პრაქტიკული მნიშვნელობა მდგომარეობს დიდმალიან კონსტრუქციულ ელემენტთა ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშება, უფრო მეტად საიმედო შედეგების მიღებაში; საპროექტო პრაქტიკაში ალბათური მეთოდების უფრო ფართო დანერგვაში.

**ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა:** სადისერტაციო ნაშრომი წარმოდგენილია 118 გვერდზე, იგი შედგება შესავალის, 4 თავის, დასკვნებისა და 98 გამოყენებული ლიტერატურისგან. ნაშრომში მოცემულია ცხრილები და ნახაზები.

#### **ნაშრომის შინაარსი**

**ნაშრომის შესავალში** გაშუქებულია საკვლევი თემის აქტუალობა, მეცნიერული სიახლე და ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება.

**ლიტერატურის მიმოხილვაში** განხილულია ის ლიტერატურული წყაროები, რომელთაც მნიშვნელოვანი როლი აქვთ სადისერტაციო თემის აქტუალობის წარმოჩენასა და კვლევის ძირითადი მიმართულებების განსაზღვრაში.

**ნაშრომის პირველი თავი ეძღვნება** სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშების მეთოდების განვითარების ეტაპებს, გაანგარიშების ნორმატიულ უზრუნველყოფას; დეტერმინირებულ და შემთხვევით სეისმურ ზემოქმედებებს; მოყვანილია ძირითადი ცნებები ვერტიკალური სეისმური აჩქარებების შესახებ.

მიწისძვრის რეალიზაცია დედამიწის ზედაპირზე და მისი შესაბამისი მათემატიკური მოდელები განიხილებოდა და ამჟამადც განიხილება როგორც დეტერმინირებული ან როგორც შემთხვევითი პროცესები. შესაბამისად ხდება ზემოქმედების მოდელის ფორმირებაც.

სეისმურობის თეორიის განვითარების ეტაპები ყველაზე ნათლად აისახება სეისმური დატვირთვის განმსაზღვრელი გამოსახულებების ფორმულირებასა და ჩაწერაში. პირველი მცდელობა ამ მიმართულებით დაკავშირებულია იაპონელი მეცნიერის ფ. ომორის სახელთან. ზემოქმედებისათვის მის მიერ შემოთავაზებული იყო გამოსახულება:

$$S_{max} = \frac{Y_{0max}}{g} mg = K_c Q$$

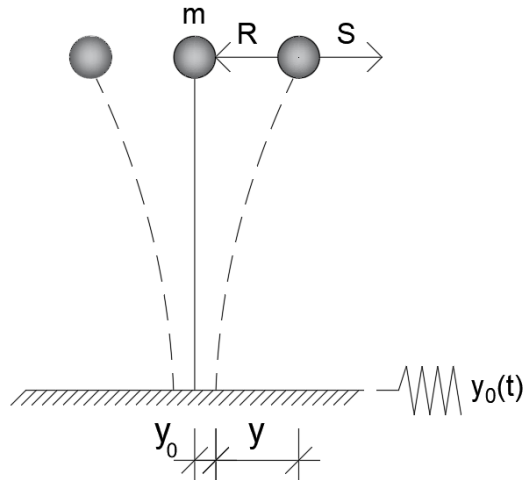
სადაც,  $m$  - ნაგებობის მასაა;  $\dot{Y}_{0max}$  - ნაგებობის ფუძის მაქსიმალური აჩქარება;  $g$  - თავისუფალი ვარდნის აჩქარება;  $K_c = \frac{\dot{Y}_{0max}}{g}$  - სეისმურობის კოეფიციენტი.

შემოთავაზებული გამოსახულება ეფუძნება დაშვებას განსახილველი ნაგებობის აბსოლუტური სიხისტის შესახებ. ასევე ის აბსოლუტურად ხისტად არის ჩამაგრებული გრუნტში და ირხევა იგივე პარამეტრებით.

შემდგომი მნიშვნელოვანი ნაბიჯი სეისმომედეგობის თეორიის განვითარებაში დაკავშირებულია ნ. მონონობეს სახელთან. სეისმური დატვირთვის განსაზღვრისათვის ის ითვალისწინებდა ნაგებობის დეფორმაციულობას, რისთვისაც ამ უკანასკნელს განიხილავდა გრუნტში ჩამაგრებული ერთი თავისუფლების ხარისხის მქონე წრფივ სისტემად. მოდელის (ნახაზი 1) რხევა ხდებოდა ჰარმონიული კანონით. საანგარიშო მოდელის შესაბამისად ინერციის  $S$  და რეაქციის  $R$  ძალები ერთმანეთთან დაკავშირებულია გამოსახულებით

$$m\ddot{y} + ky = -m\ddot{y}_o(+)$$

სადაც,  $K$  - სისტემის სიხისტეა.



**ნახაზი 1. ნ. მონონობეს საანგარიშო მოდელი.**

პირველად ზავრიევმა მიაქცია ყურადღება სისტემის თავისუფალი რხევის გავლენას სეისმური დატვირთვის მნიშვნელობაზე. იმის გათვალისწინებით რომ მიწისძვრისგან გამოწვეული, ყველაზე ძლიერი ნგრევები ხდება საწყის მომენტში, მაშინ როდესაც ჯერ არ არის მიღებული პირველი ბიძგებით წარმოქმნილი ნაგებობების თავისუფალი რხევები. იძულებით რხევებთან ჯამში ისინი აძლიერებენ სეისმური ზემოქმედების ეფექტს, რასაც არ ითვალისწინებდა მონონობეს თეორია. ჩათვალა რა სეისმური აჩქარების მნიშვნელობა მიწისძვრის საწყის მომენტში მაქსიმალურად, დინამიკურობის კოეფიციენტისათვის მიიღო მნიშვნელობა:

$$\mu_{D1} = 2 * \left(1 - \frac{T^2}{T_0^2}\right)^{-1}$$

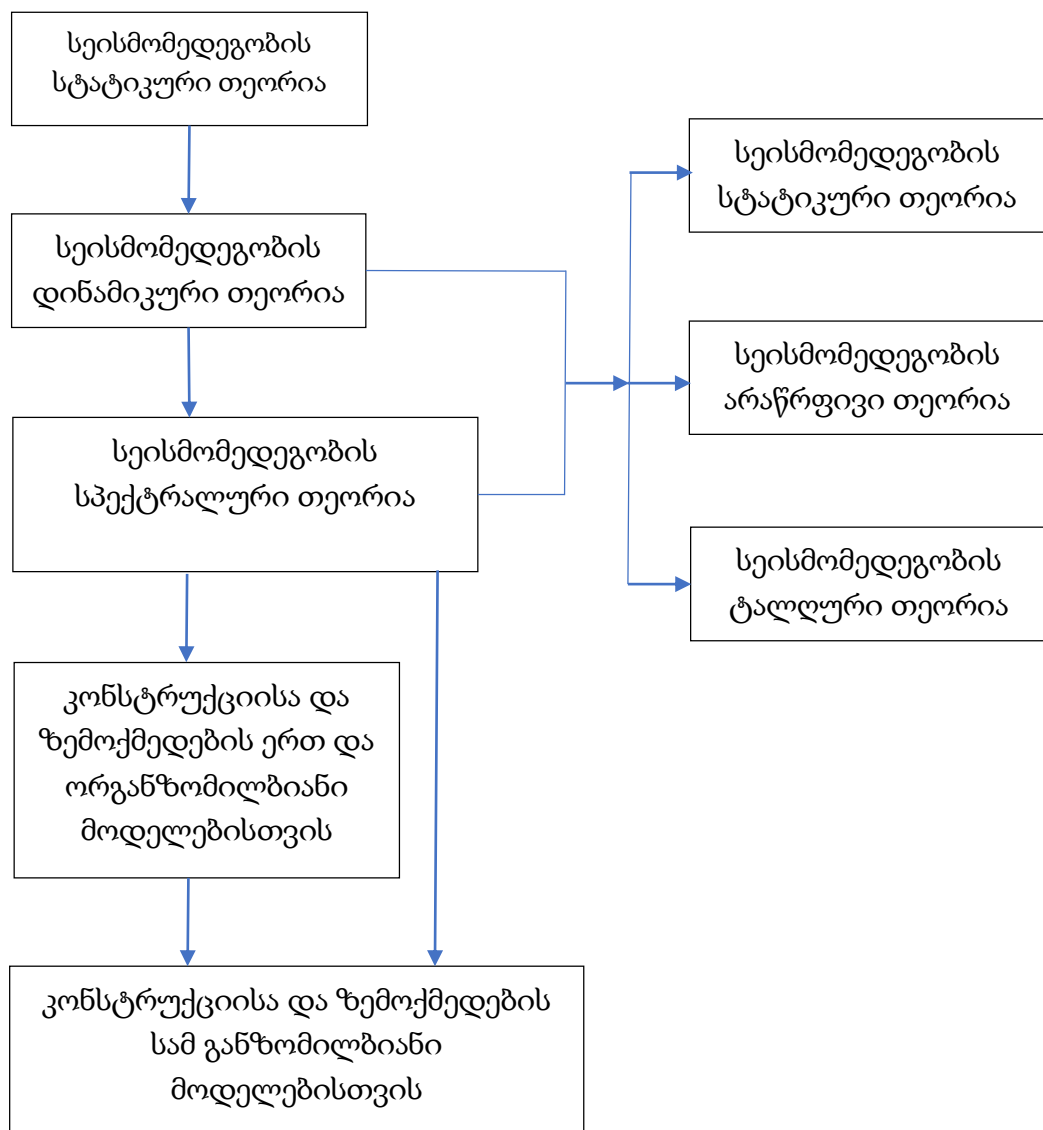
რომელიც ორჯერ აღემატება მონონობეს მიერ მიღებულ იგივე სიდიდეს.

დინამიკური კოეფიციენტის შემოყვანით სისტემის რეაქცია წარმოდგენილი გადაადგილების ან ძალვის სახით, შეესაბამება დინამიკის ამოცანას; შესაბამისად წარმოდგენილ თეორიასაც ეწოდა დინამიკური თეორია.

სეისმური ზემოქმედების განსაზღვრაში, შემდგომი, ხარისხობრივი ცვლილება დაკავშირებულია 1932 წელს მ. ბოს მიერ შემოთავაზებულ სპექტრალურ მეთოდთან, რომელიც დღესაც რჩება სეისმომედევობის თეორიის წრფივი ამოცანების გადაწყვეტის საბაზისო მეთოდად.

ზემოთ წარმოდგენილ იქნა შენობა-ნაგებობათა სეისმომდეგობაზე გაანგარიშების მეთოდების, ზოგადად სეისმომდეგობის თეორიის განვითარების ძირითადი ეტაპები მათი საფუძვლების და ძირითადი დებულებების აღწერით.

ბოლო ათწლეულებში აღნიშნული და ზოგადად სეისმომდეგობის დინამიკური თეორიის ფარგლებში ვითარდება თეორიები, რომელთა ანალიტიკურ ბაზისს წარმოადგენს: ალბათობის თეორია, შემთხვევით პროცესთა თეორია, არაწრფივ რხევათა თეორია, ტალღური მექანიკის თეორია, დინამიკურ ამოცანათა გადაწყვეტის გამოთვლითი მეთოდები.



ნახაზი 2. სეისმომდეგობის თეორიის განვითარების ეტაპები.

სამშენებლო ნორმები და წესები სეისმომედეგ მშენებლობაში წარმოადგენენ დროის კონკრეტული პერიოდისთვის ამ დარგში სამეცნიერო, საპროექტო და პრაქტიკული ცოდნის განზოგადებას ნორმატიული დოკუმენტების სახით. ისინი წარმოადგენენ სახელმძღვანელო დოკუმენტებს სახელმწიფოში სეისმომედეგი პროექტირება-მშენებლობის წარმოებისათვის, რომელთა საფუძველზეც რეგულირდება სეისმომედეგი მშენებლობა. მათი უდიდესი უმრავლესობა ეფუძნება რა დიდი მოცულობის თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევების შედეგებს წარმოადგენს სეისმურ დატვირთვის პირობითი სტატიკური დატვირთვის სახით, განსაზღვრულს კონსტრუქციული სისტემის სპექტრალური გაანგარიშების (დინამიკური მახასიათებლების გათვალისწინება) საფუძველზე.

მთლიანი სეისმური დატვირთვა  $S_{ik}$  განისაზღვრება კონსტრუქციის დრეკადი დეფორმირების პირობებისთვის პირობითი ემპირიული კოეფიციენტების შემოყვანით, რომლებიც ითვალისწინებენ კონსტრუქციული ელემენტების რღვევის სხვადასხვა ფორმებს, დასაშვებ დაზიანებებს და კონსტრუქციული სქემის თავისებურებებს, და განისაზღვრება გამოსახულებით:

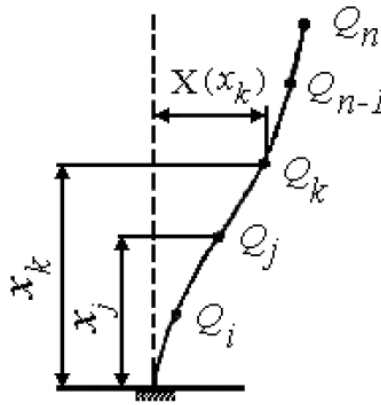
$$S_{0ik} = Qk_3 A \beta_i k_\psi \eta_{ik}$$

სადაც  $Q_k = mkg$  არის  $k$ -ური მასის შესაბამისი წონა;  $k_3$  - შენობა-ნაგებობის მნიშვნელობის მახასიათებელი კოეფიციენტი;  $A$  - სეისმურობის კოეფიციენტი, ნორმირებული თავისუფალი ვარდნის აჩქარებით;  $\beta_i$  - დინამიკურობის კოეფიციენტი; იცვლება საკუთარი რხევის  $i$ -ური ფორმის შესაბამისი  $T_i$  პერიოდისა და სეისმურობის მიხედვით გრუნტის კატეგორიის შესაბამისად;  $k_\psi$  - მიღვევის კოეფიციენტი;  $\eta_{ik}$  - ფორმის კოეფიციენტი; დამოკიდებულია  $i$  ფორმით საკუთარი რხევისას დეფორმაციის ფორმებზე და დატვირთვის მდებარეობაზე; განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\eta_{ik} = \frac{x_i(x_k) \sum_{j=1}^n Q_j x_i(x_j)}{\sum_{j=1}^n Q_j x_i(x_j)}$$



სადაც,  $x_i(x_k)$ ,  $x_i(x_j)$ - საკუთარი რხევის  $i$ -ური ფორმის შესაბამისი გადაადგილებები განსახილველ  $k$  წერტილში და ყველა იმ  $j$  წერტილში, რომლებშიც კონცენტრირებული მასა საანგარიშო სქემის შესაბამისად არის (იხილეთ ნახაზი 3).



**ნახაზი 3. კონსტრუქციული სისტემის კონსოლური საანგარიშო მოდელი საანგარიშო სეისმური დატვირთვის განსაზღვრისათვის.**

ცალკეული განსაკუთრებული მნიშვნელობის ან გარკვეული (არატიპიური) კონსტრუქციული გადაწყვეტის მქონე ობიექტებისთვის გამოიყენება პირდაპირი დინამიკური გაანგარიშებები სეისმომედეგობაზე. ამ ტიპის გაანგარიშებები წარმოებს საანგარიშო აქსელეროგრამების გამოყენებით.

$$a(t) = A_i y_i(t)$$

გამოსახულებაში  $i$  წარმოადგენს რხევის ვექტორის მდგენელის ნომერს;  $A_i$  - აჩქარების ამპლიტუდის მაქსიმალურ მნიშვნელობას;  $y_i(t)$  კი გრუნტის დროში რხევის აღმწერ ერთეულზე ნორმირებული ფუნქციაა.

აღნიშნულ მეთოდს რეალური/სინთეზირებლი აქსელეროგრამებით გაანგარიშების მეთოდსაც უწოდებენ. საანგარიშო აქსელეროგრამები აიგება უშუალოდ მშენებლობის ადგილზე ან ამ ადგილის მსგავსი პირობების მქონე არეაში დარეგისტრირებული აქსელეროგრამების დამუშავების საფუძველზე. მსგავს პირობებში იგულისხმება მახასიათებელი სეისმოლოგიური მონაცემები: მაგნიტუდა, ეპიცენტრალური მანძილი, კერის სიღრმე, საინჟინრო-გეოლოგიური პირობები.

აღნიშნული საანგარიშო მოდელების ნორმატიული რეალიზაციისთვის აუცილებელი ხდება შესაბამისი გამოთვლითი საშუალებების და სპეციალიზირებული პროგრამული კომპლექსების გამოყენება, ამ უკანასკნელის საფუძვლად კი ძირითადად გამოიყენება სასრულ ელემენტთა მეთოდი.

სეისმომედეგობის თეორიის განვითარების ეტაპების ზემოთ აღწერილი სურათი კიდევ ერთხელ ნათლად წარმოაჩენს რომ სეისმომედეგობის თეორიის განვითარების გზაზე მთავარი დაბრკოლება იყო და რჩება გრუნტის სეისმური რხევის ზუსტი ანალიტიკური ჩაწერის შეუძლებლობა. იმდენად რამდენადაც სეისმური ზემოქმედება არის შემთხვევითი მოვლენა, სეისმომედეგობის თეორიის ანალიტიკური საფუძველიც უნდა იყოს ალბათობის თეორიისა და მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდები.

აღნიშნული მიდგომა არის შედეგი იმ გარემოების რომ ძლიერი მიწისძვრის მახასიათებელი თიტმის ყველა პარამეტრი - ეპიცენტრის კოორდინატები, ფენის მდებარეობა, გამოყოფილი ენერჯის მოცულობა, იმ ადგილის გეოლოგიური სტრუქტურა რომელშიც გადიან სეისმური ტალღები და ა.შ - ხასიათდებიან შემთხვევითი სიდიდეებით.

გ. ჰაუზერი იყო ერთ-ერთი პირველი ვინც ყურადღება მიაქცია სეისმური ზემოქმედების ალბათური მოდელების გამოყენების შესაძლებლობას. ის აგებდა რეაქციის სპექტრებს ფუძის რხევითი მოძრაობებისთვის, განიხილავდა რა ამ უკანასკნელის ერთნაირი ამპლიტუდების მქონე შემთხვევით იმპულსების სერიების სახით.

სეისმური აჩქარებების დამოკიდებულება დროსთან წამოადგენს არასტაციონარულ შემთხვევით პროცესს. გამოთვლითი მოდელის სახით, ამ ტიპის პროცესის განხილვისას თავს იჩენს ვ. ვ. ბოლუტინის მიერ შემოთავაზებული მეთოდი წარმოადგენს ერთ-ერთ საუკეთესო მიგნებას. აღნიშნული მოდელის შესაბამისად ფუძის სეისმური აჩქარება ჩაიწერება გამოსახულებით:

$$a(t) = A(t)\varphi(t)$$

სადაც  $A(t)$  წარმოადგენს დეტერმინირებულ მომვლელ ფუნქციას,  $\varphi(t)$  კი სტაციონარული შემთხვევით პროცესია.

გამოსახულებიდან ჩანს რომ სეისმურ აჩქარებათა სიხშირული სპოექტი უცვლელია. აღნიშნული მახასიათებლის ცვლილების გათვალისწინება შესაძლებელი ხდება ფორმულის ჯამის სახით ჩაწერის შემთხვევაში:

$$a(t) = \sum_k A_k(t) \varphi_k(t)$$

მომვლები ფუნქციის მისაღებად ვ. ვ. ბოლოტინის მოცემული აქვს მსგავსი ინტეგრალური მახასიათებლების აქსელეროგრამების (ასეთების არ არსებობისას ერთი აქსელეროგრამის) დამუშავების მეთოდოლოგია, რის საფუძველზეც ჩაიწერება აჩქარების საშუალო კვადრატული მნიშვნელობა  $\overline{a^2}(t)$ . მომვლები ფუნქციის აპროქსიმაციისათვის კი იყენებს გამოსახულებებს:

$$A(t) = A_0 e^{-ct}; A(t) = A_0 (e^{-c_1 t} - \nu e^{-c_2 t})$$

სადაც,  $A_0$ ,  $e$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  და  $\nu$  მიწისძვრის მახასიათებელი პარამეტრებია.  $\varphi(t)$  სტაციონარული შემთხვევითი პროცესისთვის ავტორს აქვს პირობა:

$$\int_0^\infty \varphi(\omega) d\omega = 1.$$

ძლიერ მიწისძვრებზე ინსტრუმენტალური დაკვირვებების/ფიქსირების დაწყებიდან, ცალკეული ავტორების მიერ ხდებოდა ჰორიზონტალური და ვერტიკალური სეისმური აჩქარებების მიღებული მნიშვნელობებისა თანაფარდობათა ანალიზი.

ს. ვ. მედვედევა დაამუშავა ამერიკელი სეისმოლოგების მიერ მე-20 საუკუნის 60-იან წლებამდე ჩაწერილი ძლიერი მიწისძვრების აქსელეროგრამები, რის საფუძველზეც აჩვენა რომ მაქსიმალური ვერტიკალური სეისმური აჩქარებების მნიშვნელობებმა შეადგინა შესაბამისი ჰორიზონტალური აჩქარებების 60-70%. ამასთან აღნიშნული აჩქარებების ცვლილების ინტერვალი იყო [0,08g - 0,26g].

მომდევნო წლებში დაფიქსირებულ და რიგი ავტორების მიერ დამუშავებულ მასალაშიც, ვერტიკალური სეისმური აჩქარების მნიშვნელობები თანხვედრაშია

ზემოთ მითითებულ მონაცემებთან. მიუხედავად იმისა რომ ვხვდებით ვერტიკალური სეისმური აჩქარების მნიშვნელობების ცალკეულ „ამოვარდნებსაც“ (მაგალითად 1,3 გ დაფიქსირებული გაზლის მიწისძვრისას) ვერ იქნება ვერტიკალური აჩქარების მახასიათებელი.

**სადისერტაციო ნაშრომის მეორე თავი შეეხება** საწარმო და საზოგადოებრივ შენობებში არსებულ დიდმალიან კონსტრუქციებს; მათი ნორმატიული გაანგარიშების მეთოდებს ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე.

სამოქალაქო და სამრეწველო შენობების მოცულობით-გეგმარებითი გადაწყვეტა უმეტეს შემთხვევაში მოითხოვს მათში დიდი განფენის მქონე სივრცის არსებობას. აღნიშნული სივრცე შენობის ფუნქციონალური და/ან კომპოზიტური „დატვირთვის“ შესაბამისად შეიძლება სრულად მოიცავდეს შენობის მთელ ჰორიზონტალურ განფენას (მაგალითად ერთსართულიანი, ერთმალიანი სამრეწველო-საწარმო შენობები, სტადიონები, სავაჭრო ობიექტები და ა.შ), შეიძლება ნაწილობრივ (მაგალითად სხვადასხვა დანიშნულების საზოგადოებრივი შენობები).

ზოგადად მეტად წინააღმდეგობრივად ვითარდებოდა და შეიძლება ითქვას ახლაც რჩება დიდმალიან კონსტრუქციათა კლასიფიცირების საკითხი. განსხვავებული იყო აღნიშნულ საკითხთან არქიტექტურული და კონსტრუქციული მიმართება: არქიტექტორებისთვის პირველადი კლასიფიკაციის იყო კონსტრუქციათა კლასიფიცირება ფორმათწარმოქმნის მიხედვით (გარსი, გუმბათი, კამარა და ა.შ) მაშინ როდესაც კონსტრუქტორებისათვის პირველადია მასალა (რკინაბეტონი, ფოლადი, ხე) და მუშაობის პირობები (დატვირთვები, გარემო).

გამომდინარე ჩვენი საკვლევი თემიდან (ვერტიკალური სეისმური ზემოქმედება კონსტრუქციულ ელემენტებზე) და დიდმალიანი კონსტრუქციების ზემოთ აღწერილი კლასიფიციიდან (მაკლასიფიცირებელ ნიშნებთან მიკუთვნება), დიდმალიან კონსტრუქციებად განვიხილავთ კონსტრუქციულ ელემენტებს, მალით 24-60 მ ინტერვალში. აღნიშნული ტიპის ლითონის კონსტრუქციული ელემენტები

ფართოდ არის გავრცელებული სამრეწველო/საწარმოო და სამოქალაქო დანიშნულებით შენობა-ნაგებობებში.

დიდმალიანი კონსტრუქციული ელემენტები, რომლებიც ჩვენი განხილვის სფეროში ხვდება. ძირითადად გამოიყენება ერთსართულიანი საწარმოო და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობებში და წარმოადგენენ გადახურვის მზიდ კონსტრუქციულ ელემენტებს. ქვემოთ განხილულია ამ ტიპის შენობების კონსტრუქციული გადაწყვეტები, მათი გადახურვის ტიპები ბრტყელი დიდმალიანი კონსტრუქციული ელემენტებით. ვინაიდან ასეთი გადახურვების ყველაზე რაციონალური გადაწყვეტა შესრულებულია ფოლადში, ძირითადი აქცენტი კეთდება ფოლადის კონსტრუქციულ სისტემებსა და ელემენტებზე.

ჩარჩო უნდა იყოს ნებისმიერი მიმართულებით უცვლელი. ეს უზრუნველყოფილია ხისტი ელემენტების საშუალებით. ჩარჩოს ელემენტები უნდა იყოს ძლიერი, ხისტი და სტაბილური როგორც ექსპლუატაციის, ასევე მონტაჟის დროს.

კარკასული ტიპის შენობები უნდა დაპროექტდეს ისე რომ სეისმური დატვირთვის „ამდები“ იყოს უშუალოდ კარკასი (მისი ელემენტები) ან აუცილებელ შემთხვევებში ვერტიკალური კავშირებით და/ან დიაფრაგმებით სვეტებს შორის. ამასთან ერთად არის რიგი კონსტრუქციული მოთხოვნები, რომლებიც გათვალისწინებული უნდა იქნეს შენობის პროექტირების დროს. სეისმური დატვირთვის გათვალისწინებით გაანგარიშება წარმოებს პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის (მზიდუნარიანობა) შესაბამისად.

**ნაშრომის მესამე თავი** მთლიანად დათმობილი აქვს ნორმატიული მეთოდისა და სტატისტიკური თეორიის ფარგლებში, ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე დიდმალიანი კონსტრუქციების გაანგარიშების შემოთავაზებულ მეთოდოლოგიებს.

ზოგადად ყოველი წამწე წარმოადგენს მრავალი თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემას. წამწის თითოეული კონსტრუქციული ელემენტი - ღერო ასრულებს რხევით მოძრაობებს როგორც ინდივიდუალურად, ასევე როგორც სისტემის - წამწის

ნაწილი. თეორიულად და ექსპერიმენტალურად დადგენილია რომ ცალკეული ელემენტების - ღეროების რხევა მისივე ღერძის მიმართ უმნიშვნელოა მთლიანი წამწის რხევასთან შედარებით. ეს გარემოება საშუალებას გვაძლევს უგულებელვყოთ ცალკეული ელემენტების რხევა და ჩავთვალოთ რომ ისინი არ ასრულებენ რხევით მოძრაობებს (ანუ არ იცვლიან მოხაზულობას) წამწის, როგორც ერთიანი სისტემის რხევის დროს. ამის საფუძველზე საანგარიშო მოდელის ფორმირება ხდება წამწის ღეროების მასების წამწის კვანძებში კონცენტრირებით. შესაბამისად საანგარიშო მოდელი წარმოადგენს გრძივი ძალებით ერთმანეთთან დაკავშირებული მატერიალური წერტილების (მასების) ერთობლიობას. ამ უკანასკნელთ გადაეცემა წამწის საკუთარი წონა და მასზე მოქმედი დატვირთვები. თითოეული კვანძის ჯამური გადაადგილება განისაზღვრება მისი გადაადგილებით ორი მთავარი ღერძის მიმართულებით. ამრიგად, მრავალი თავისუფლების ხარისხის რაოდენობა მცირდება იმ თავისუფლების ხარისხამდე, რომელიც ტოლია წამწის კვანძების გაორმაგებულ რაოდენობას მინუს მასთან დაკავშირებული ელემენტების რაოდენობა. საყრდენებში, გადაადგილება შეზღუდულია გადაადგილების პირობების შესაბამისად.

მრავალი სიხშირის განსაზღვრა ხშირ შემთხვევებში საჭირო არ არის და/ან დასასაბუთებელია რამდენად საჭიროა ასეთი მოთხოვნის (მრავალი სიხშირის განსაზღვრა) უზრუნველყოფელი საანგარიშო მოდელი. აღნიშნული გარემოებებით არის განპირობებული წამწის დინამიკური მახასიათებლების განვსაზღვრისათვის მიახლოებითი მეთოდების (ანუ მეთოდების რომლებიც არ მოითხოვენ მახასიათებელი განტოლებების ამოხსნას) გამოყენება. გამოთვლითი ტექნიკისა და მათი პროგრამული უზრუნველყოფის ფართოდ გავრცელებამდე არსებობდა დინამიკური მახასიათებლების (ამ შემთხვევაში უმცირესი სიხშირის/სიხშირეების) განსაზღვრის მრავალი მეთოდი. ცალკეულმა მათგანმა დღეს დაკარგა თავისი აქტუალობა, ცალკეული მათგანის გამოყენება კი დღესაც მიზანშეწონილი და რაციონალურია.

ქვემოთ მოკლედ აღწერილია რამოდენიმე ასეთი მიახლოებითი მეთოდი რომლებიც გამოყენებადია ფერმებთან მიმართებაში. ეს მეთოდებია: ენერგეტიკული მეთოდი, ექვივალენტური კოჭით შეცვლის მეთოდი და განაწილებული მასის კონცენტრირებული მას(ებ)ით ჩანაცვლების მეთოდი.

• **ენერგეტიკული მეთოდი**

მეთოდი ეფუძნება ეფუძნება რხევის ნებისმიერ მომენტში კინეტიკური და პოტენციური ენერგიების ჯამის მუდმივობას.

ჩატარებული გამოთვლების გამოცდილებამ აჩვენა, რომ მიახლოებითი მეთოდის გამოყენებისას მიღებული სიხშირეების სიდიდის სხვაობა მცირეა და შესაძლოა 1.5%-ს შეადგენს.

• **ექვივალენტური კოჭით შეცვლის მეთოდი**

ეს მეთოდი მდგომარეობს იმაში, რომ წამწე იცვლება რიგელით, რომლის სიხისტე წამწის ექვივალენტურია, ხოლო რხევის სიხშირე უნდა განვსაზღვროთ რიგელისთვის.

სასურველი რიგელის ინერციის მომენტი განისაზღვრება, წამწისა და მისი ექვივალენტური რიგელის ჩაღუნვით, მაგალითად, კონსტრუქციის შუაში ან ადგილზე სადაც კონცენტრირებულია მასზე მოქმედი ყველაზე დიდი დატვირთვა.

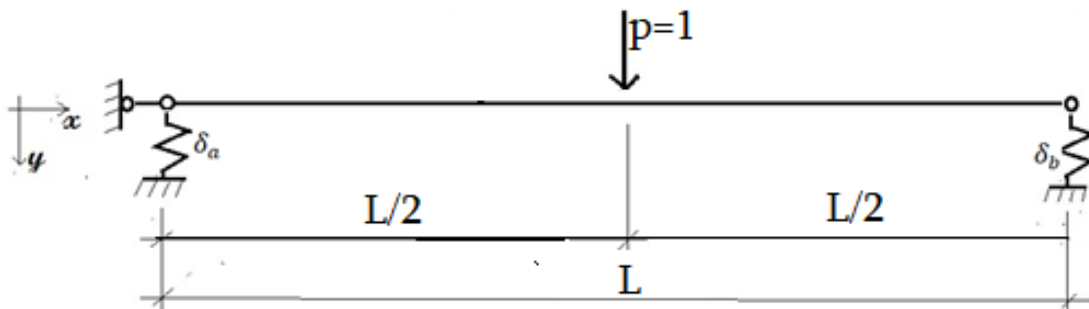
მარტივი წამწეებისთვის, ექვივალენტურ რიგელზე გადასვლა დამაკმაყოფილებელ შედეგებს იძლევა. შეიძლება აღინიშნოს, რომ მასში გამოთვლითი პროცესი გარკვეულწილად უფრო მარტივია, ვიდრე ენერგეტიკული მეთოდით, რადგან ექვივალენტური რიგელის ინერციის მომენტის დასადგენად, აუცილებელია ჩაღუნვის გამოთვლა ერთ წერტილში და არა ყველა კვანძში.

ნორმატიული მეთოდოლოგიით სეისმური დატვირთვის განსაზღვრისას, ყველა ტიპის შენობა-ნაგებობა და/ან მათი კონსტრუქციული ელემენტი გაანგარიშებულ უნდა იქნეს ფუძის აჩქარების ჰორიზონტალური მდგენლის ზემოქმედებაზე. სეისმური აჩქარების ვერტიკალური მდგენლის გათვალისწინების საჭიროება ნორმატიულად მოთხოვნილია კონკრეტული ტიპის კონსტრუქციული

ელემენტისთვის. ასეთ კონსტრუქციულ ელემენტებს სხვადასხვა ტიპის კონსტრუქციულ ელემენტებთან ერთად ასევე მიეკუთვნება დიდმალიანი ფოლადის ბრტყელი წამწები. როგორც წესი, ყველა მოქმედ ნორმატიულ დოკუმენტებში ამ ტიპის კონსტრუქციების ვერტიკალურ სეისმურ დატვირთვაზე გაანგარიშებისთვის გამოიყენება იგივე პრინციპები და გამოსახულებები, რაც გამოიყენება ჰორიზონტალური მდგენლის ზემოქმედებაზე გაანგარიშებისათვის. განსხვავებულია მხოლოდ ცალკეული კოეფიციენტების მნიშვნელობები.

კონსტრუქციებისათვის, მათზე სეისმური ზემოქმედების განსაზღვრისთვის არსებითი მნიშვნელობა ენიჭება მისი დინამიკური მახასიათებლების განსაზღვრას. აღნიშნული ამოცანის გადაწყვეტა ხდება რიცხვითი (რეალიზებული სპეციალური პროგრამული კომპლექსებით) და/ან ანალიტიკური მეთოდებით. ეს უკანასკნელი არ გამორიცხავს (უმეტეს შემთხვევაში კი საჭიროებს) ამოცანის გადაჭრის ცალკეულ ეტაპებზე გამოთვლით მეთოდების გამოყენებით. ჩვენი და მსგავსი ტიპის ამოცანების გადაჭრისას, ზემოთ ხსენებული მეთოდებისგან რომელიმეს შერჩევისთვის არსებითია მიღებული შედეგის სიზუსტის ხარისხი და გადაჭრის ალგორითმის ეფექტურობა საინჟინრო პრაქტიკისთვის.

განვიხილოთ დიდმალიანი ფოლადის ბრტყელი დიდმალიანი წამწის ვერტიკალური სეისმური რხევა. წამწე წარმოადგენს ერთსართულიანი საწარმოო საზოგადოებრივი შენობის გადახურვის ელემენტს. აღნიშნულ კონსტრუქციაზე ნორმატიული მეთოდით სეისმური დატვირთვის განსაზღვრისთვის არსებითი ეტაპია მისი დინამიკური მახასიათებლების განსაზღვრა.





ჩვენს მიერ განხილული იქნება საყრდენი კონსტრუქციების გავლენა დინამიკურ მახასიათებლებზე.

წარმოდგენილია „შემცვლელი კოჭის“ მოდიფიცირებული მეთოდი, საშუალებას იძლევა მარტივად განისაზღვროს თავისუფალი რხევის მეორე და მესამე ფორმა; წამოდგენილი მიდგომა გულისხმობს კონსტრუქციის საანგარიშო კომპიუტერული მოდელის გამარტივების დიდმალიანი კოჭური წამწის „შემცვლელი კოჭის“ სახით წარმოდგენით; დინამიკური საკვლევი კონსტრუქციის მახასიათებლების დაზუსტება განხილული იქნა ექვივალენტური სიხისტის დამყოლი საყრდენების გავლენის გათვალისწინებით.

ქვემოთ მოცემულია გადაწყვეტა, რომელიც ითვალისწინებს საყრდენი კონსტრუქციების გავლენის საძიებელ დინამიკურ მახასიათებლებზე. ასეთი მიდგომის საჭიროება განპირობებულია: საყრდენი წერტილების ჰორიზონტალური ღერძის მიმართ ასიმეტრიული აჩქარებით, რისი განმაპირობებელიც არის კონსტრუქციაზე დატვირთვის განსხვავებული სტატიკური და დინამიკური ეფექტები, საყრდენი კონსტრუქციების არარეგულარობა. განიხილება დიდმალიანი კოჭური წამწე არარეგულარული საყრდენებით ანუ განსხვავებული დამყოლობის მქონე სარტყელებით. ძირითადი რხევის განსაზღვრისთვის საანგარიშო მოდელი წარმოდგენილია დამყოლ საყრდენებზე მდებარე სამ მასიანი კოჭით (ნახაზი 36) წამწეზე მოსული მთლიანი მასის ნახევარი კონცენტრირებულია ძალის შუა წერტილში, დანარჩენი მასა გადანაწილებულია დამყოლ საყრდენებზე. ამ გზით ხდება ვერტიკალური რხევის მახასიათებელი ზემოთ ხსენებული თავისებურებების ასახვა/გათვალისწინება.

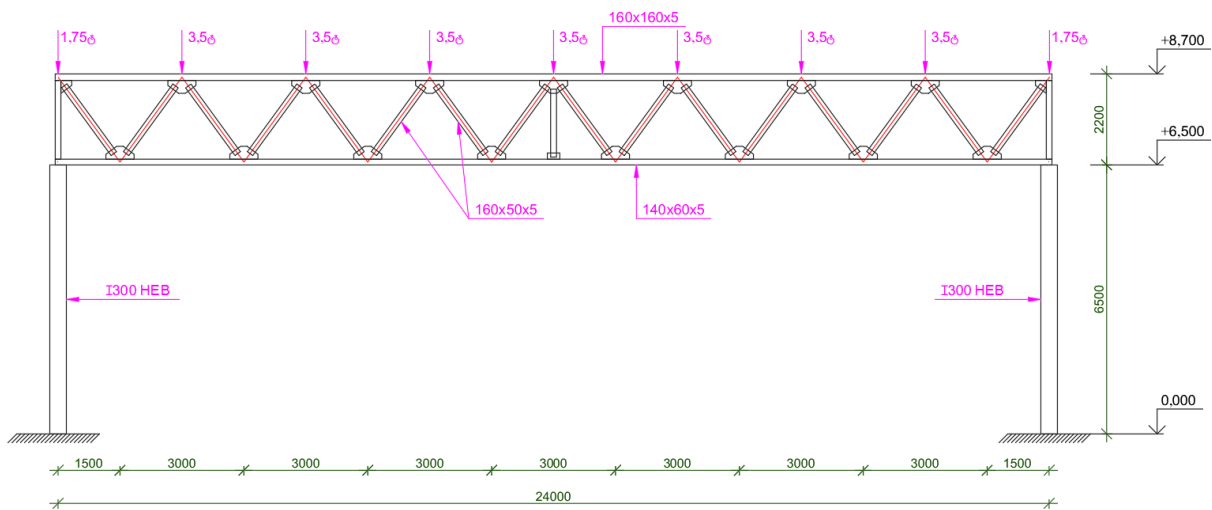
ერთეული ძალის მოქმედების შედეგად აღძრული გადაადგილების განსაზღვრისთვის კონსტრუქციის შუა წერტილზე და საყრდენებზე ვიყენებთ გამოსახულებას:

$$6EIy(x) = R_x a^3 + \Gamma_x (a - x)^3 + (C_x + \Delta_x)a + \Delta_b$$

სადაც,  $R_x = -\left(1 - \frac{x}{l}\right)$ ;  $C_x = -\frac{1}{l}(3x^2l - 2xl^2 - x^3)$ ;  $\Delta_a = \frac{6EI}{l}(\delta_a R_x + \delta_b \frac{x}{l})$ ;

$\Delta_b = -3EI\delta_a$ ,  $\Gamma_x$  არის ფუნქციონალურ შემაფერხებელს, შემდეგი მახასიათებლებით:  $\Gamma_x = 0$  როდესაც  $a < x$ ;  $\Gamma_x = 1$  როდესაც  $a > x$ .  $\delta_a$  და  $\delta_b$  არის დრეკადი საყრდენების დამყოლობა:  $x$  და  $a$ , შესაბამისად, არის კონსტრუქციის ერთეული გადაადგილებისა და კონცენტრირებული მასების წერტილების კოორდინატები.

**მეთოხე თავში** მოცემული ფოლადის დიდმალიანი კოჭური წამწის გაანგარიშება ნორმატიული (პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით) და შემოთავაზებული ორი მეთოდოლოგიით; მოცემული მიღებული შედეგების შედარებითი ანალიზი.



**ფოლადის დიდმალიანი კონსტრუქციის საანგარიშო მოდელი**

გეოფიზიკური კვლევების მიზანია სეისმური საშიშროების შეფასება, გრუნტის კატეგორიის განსაზღვრა და შესაბამისი გრუნტის ლოკალური თვისებების გამოყენებით აქსელეროგრამების პაკეტის შედგენა. გრუნტის თვისებების გამოკვლევა საინჟინრო პრობლემების გადაწყვეტისათვის ერთ-ერთ უმთავრეს ამოცანას წარმოადგენს.

გეოფიზიკური კვლევების შედეგად მივიღეთ, რომ საანგარიშო ჰორიზონტალური აჩქარების მნიშვნელობა (პნ 01.01-09-ს შესაბამისად) შეადგენს

0.22g-ს (2.158 მ/წმ<sup>2</sup>), რომელზეც უნდა გამრავლდეს შენობების გაანგარიშების დროს ნორმირებული აქსელეროგრამები.

განხილულია სეისმური ძალის ზემოქმედების ორი მიმართულება:

X ღერძისა და Z ღერძის გასწვრივ.

სეისმური დატვირთვა გამოითვლება ფორმულით  $S = k_0 k_1 k_2 k_3 k_\psi A Q$ , სადაც  $k_0=1$ ,  $k_1=0.25$ ,  $k_2=1.0$ ,  $k_3=1.0$ ,  $k_\psi = 1$ ,  $A=0.17$

გრუნტის კატეგორია სეისმური თვისებების მიხედვით არის მეორე.

დინამიკური დატვირთვები არის ნიშანცვლადი და ურთიერთგამომრიცხავი, რისი გათვალისწინებაც ხდება ძალების საანგარიშო შეხამების ანგარიშისას.

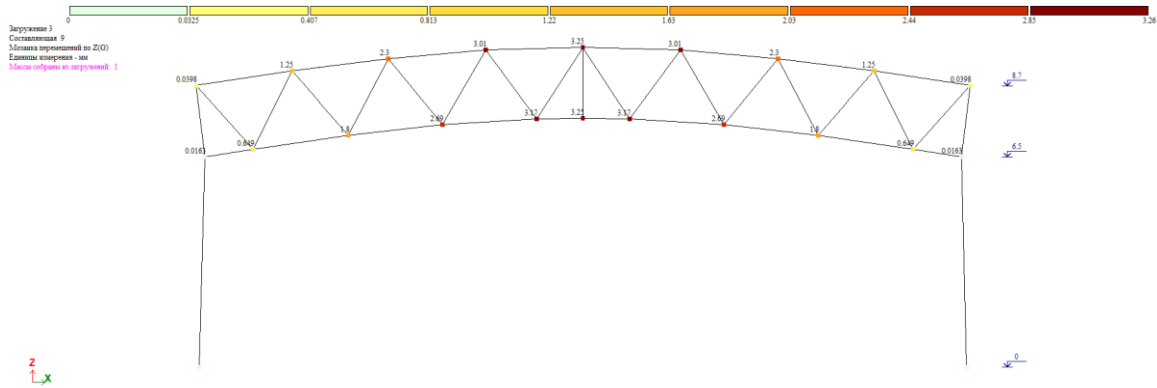
ძალები სეისმური დატვირთვისგან გამოითვლება ფორმულით

$$N = \sqrt{\sum_{i=1}^{k_f} N_i^2}$$

$N_i$  არის რხევის  $i$ -ური ფორმის შესაბამისი ძალვა;

$k_f$  რხევის ფორმების რაოდენობა.

კონსტრუქციაში მუდმივი დატვირთვითა და X და Z ღერძის გასწვრივ მოქმედი სეისმური დატვირთვით აღძრული მაქსიმალური ძალოვანი ფაქტორები					
№	ძალები	მუდმივი დატვირთვა	სეისმური დატვირთვა (X ღერძი)	სეისმური დატვირთვა (Z ღერძი)	სიდიდე
1	N მკუმშავი ძალა	37.4	1.77	2.64	ტ
2	Q <sub>z</sub> გადამჭრელი ძალა	1.51	1.19	0.1	ტ
3	M <sub>y</sub> მღუნავი მომენტი	4.59	6.09	0.3	ტ*მ



**დეფორმაციული სქემა Z ღერძის გასწვრივ მოქმედი ვერტიკალური სეისმური ზემოქმედებისგან (გადაადგილება Z ღერძის გასწვრივ, მმ)**

კონსტრუქციის მუდმივი დატვირთვითა და X და Z ღერძის გასწვრივ მოქმედი სეისმური დატვირთვით გამოწვეული გადაადგილება					
№	გადაადგილება	მუდმივი დატვირთვა	სეისმური დატვირთვა (X ღერძი)	სეისმური დატვირთვა (Z ღერძი)	სიდიდე
1	X ღერძის გასწვრივ	7.19	14.3	0.47	მმ
2	Z ღერძის გასწვრივ	47.9	0.26	3.25	მმ

მახასიათებელ წერტილთა გადაადგილება (დეფორმაციები):

მაქსიმალური გადახრა სეისმიკისგან:

X ღერძის გასწვრივ  $f_x = 14.3$  მმ (ნახ. 4.12);

Z ღერძის გასწვრივ  $f_z = 3.25$  მმ (ნახ. 4.16); რხევის საკუთარი პერიოდი  $T_x = 0.81$  წმ;

წარმოდგენილ ნაშრომში განხილული იყო გადახურვის დიდმალიანი კონსტრუქციის დინამიკური მახასიათებლების განსაზღვრა და შესაბამისად ვერტიკალური სეისმური დატვირთვის განსაზღვრის ალგორითმი. ქვემოთ წარმოდგენილია მათი რიცხვითი რეალიზაცია. ზემოთ მითითებულის შესაბამისად, რეალიზაციისათვის საჭირო საწყისი მონაცემები არის შემდეგი: კოჭური წამწის მალი  $l = 24$  მ; საკვლევი კონსტრუქციის მთლიანი მასა სატვირთო მოედნიდან (სიგანე 6 მ)

მოსულ დატვირთვისთან ერთად შეადგენს  $m = 14 \cdot 10^3$  კგ. აღნიშნული მასა კონცენტრირებულია შემცვლელი კოჭის სამ წერტილში - საყრდენები და მალის შუა წერტილი, შესაბამისად  $m/u$  და  $m/2$  ანუ  $m_1 = m_3 = 3,5 \cdot 10^3$  კგ.  $m_2 = 7,0 \cdot 10^3$  კგ. (იხილეთ ნახაზი 62). შემცვლელი კოჭის ინერციის მომენტი შეადგენს  $I = 0,8 \cdot 10^{-2}$  მ<sup>4</sup>. მასალის დრეკადობის მოდული  $E = 2,1 \cdot 10^4 \frac{\text{ნ}}{\text{მ}^2}$  საყრდენების დამყოლობისთვის ვიღებთ რამდენიმე მნიშვნელობას/თანაფარდობას:

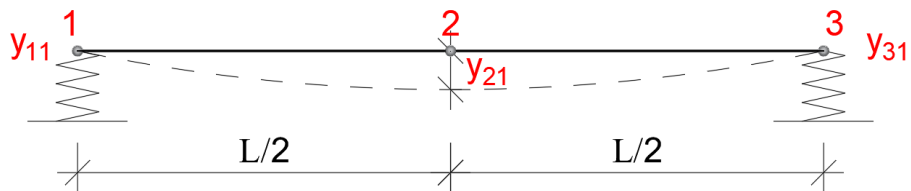
$$1) \frac{\delta_a}{\delta_b} = 1; \delta_a = \delta_b = 0,8 \cdot 10^{-7} \text{ მ/ნ.}$$

რხევის პირველი, მეორე და მესამე ფორმის შესაბამისი სიხშირეებისა და პერიოდისთვის გვექნება: რხევის პირველი ფორმისთვის  $\frac{1}{14 \cdot 10^{-5} \omega_1^2} = 10,947$ , საიდანაც  $\omega_1 = 25,57 \frac{\text{რად}}{\text{წმ}}$ ;  $T_1 = 0,245$  წმ. ანალოგიურად მეორე და მესამე ფორმებისთვის შესაბამისად:  $\omega_2 = 59,76 \frac{\text{რად}}{\text{წმ}}$ ;  $T_2 = 0,105$  წმ;  $\omega_3 = 67,42 \frac{\text{რად}}{\text{წმ}}$ ;  $T_3 = 0,093$  წმ.

ამპლიტუდების თანაფარდობები:

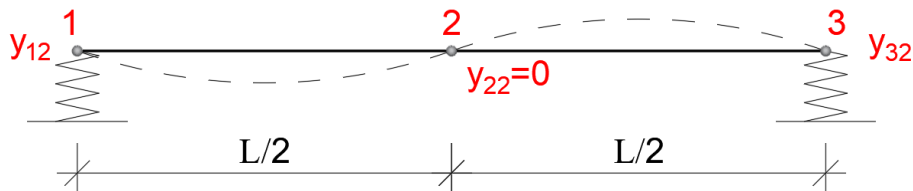
$$\rho_{11} = \frac{y_{11}}{y_{11}} = 1; \rho_{21} = \frac{y_{21}}{y_{11}} = 4,48; \rho_{31} = \frac{y_{31}}{y_{11}} = 1;$$

შესაბამისად რხევის I ფორმისათვის გვექნება



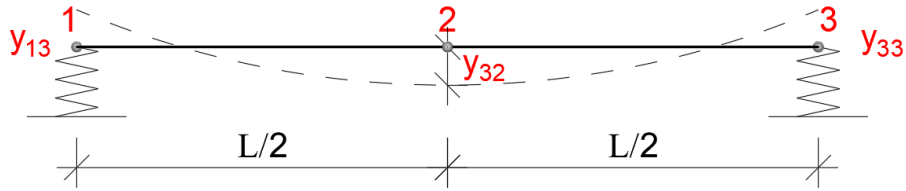
$$\rho_{12} = \frac{y_{12}}{y_{12}} = 1; \rho_{21} = \frac{y_{22}}{y_{12}} = 0; \rho_{31} = \frac{y_{32}}{y_{12}} = 1;$$

შესაბამისად რხევის მეორე ფორმისთვის გვექნება:



$$\rho_{13} = \frac{y_{13}}{y_{13}} = 1; \rho_{23} = \frac{y_{23}}{y_{13}} = -0,23; \rho_{33} = \frac{y_{33}}{y_{13}} = 1;$$

შესაბამისად რხევის მესამე ფორმისთვის გვექნება:



2) საყრდენების დამყოლობის სხვა თანაფარდობებისთვის

$$\frac{\delta_a}{\delta_b} = 1; \delta_a = \delta_b = 0,4 \cdot 10^{-7} \text{ მ/წ.}$$

ზემოთ (იხილეთ ფ 3.2) აღნიშნავდით განტოლებათა სისტემის დეტერმინანტის გასახსნელად, კონკრეტული რიცხვითი რეალიზაციის პირობებისთვის არსებული მეტი მოხერხებულობის/სიმარტივის შესახებ. შესაბამისად ჩავწეროთ აღნიშნული განტოლებათა სისტემა მოცემული კონკრეტული შემთხვევის რიცხვითი რეალიზაციისთვის. მივიღებთ:

$$\frac{2 \cdot 0,4 \cdot 10^{-7}}{4} = 0,2 \cdot 10^{-7}; 1,7 \cdot 10^{-7} + 0,2 \cdot 10^{-7} = 1,9 \cdot 10^{-7};$$

$$\frac{m}{4} \delta_a = 3500 \cdot 0,4 \cdot 10^{-7} = 1400 \cdot 10^{-7} = 1,4 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{m}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \delta_a = 1,4 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{m}{4} \cdot \frac{1}{2} \cdot \delta_a = 3500 \cdot 0,5 \cdot 0,4 \cdot 10^{-7} = 700 \cdot 10^{-7} = 7 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{m}{2} \cdot 1,9 \cdot 10^{-7} = 7000 \cdot 1,9 \cdot 10^{-7} = 133 \cdot 10^{-5}$$

გამარტივების შემდეგ მივიღებთ:

$$(2 - k_i)y_{1i} + 2y_{2i} + 0 = 0$$

$$y_{2i} + (19 - k_i)y_{2i} + y_{3i} = 0 \quad (4.2)$$

$$0 + 2y_{2i} + (2 - k_i)y_{3i} = 0$$

მისი დეტერმინანტი იქნება:

$$\begin{bmatrix} 14 \cdot 10^{-5} \omega_i^2 - 1 & 14 \cdot 10^{-5} \omega_i^2 & 0 \\ 7 \cdot 10^{-5} \omega_i^2 & 133 \cdot 10^{-5} \omega_i^2 - 1 & 7 \cdot 10^{-5} \omega_i^2 \\ 0 & 14 \cdot 10^{-5} \omega_i^2 & 14 \cdot 10^{-5} \omega_i^2 - 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{სადაც, } k_i = \frac{1}{\frac{M \cdot 1}{4} \cdot \frac{1}{2} \delta_a \omega_i^2} = \frac{1}{7 \cdot 10^{-5} \omega_i^2};$$

(2)-ს დეტერმინანტის ნულიდან ტოლობით

$$\begin{bmatrix} 2 - k_i & 2 & 0 \\ 1 & 19 - k_i & 1 \\ 0 & 2 & 2 - k_i \end{bmatrix} = 0 \quad (4.3)$$

$$(2 - k)^2 = (4 - 4k + k^2)(19 - k)$$

$$(4 - 4k + k^2)(19 - k) = 76 - 4k - 76k + 4k^2 + 19k^2 - k^3 = 76 - 80k + 23k^2 - k^3$$

$$(2 - k) \cdot 1 \cdot 2 = 4 - 2k$$

$$-(4 - 2k) - (4 - 2k) = -4 + 2k - 4 + 2k = -8 + 4k$$

გამარტივების შემდეგ მივიღებთ:

$$68 - 76k_i + 23k_i^2 - k_i^3 = 0 \quad (4.4)$$

განტოლების ფესვების მნიშვნელობებისათვის გვექნება:

$$k_1 = 19,232; \quad k_2 = 2; \quad k_3 = 1,768;$$

შესაბამისად რხევის პირველი, მეორე და მესამე ფორმის შესაბამისი სიხშირეებისა და პერიოდისთვის გვექნება: რხევის პირველი ფორმისთვის  $\frac{1}{7 \cdot 10^{-5} \omega_i^2} = 19,232$ , საიდანაც  $\omega_1 = 27,217 \frac{\text{რად}}{\text{წმ}}$ ;  $T_1 = 0,231$  წმ. ანალოგიურად მეორე და მესამე ფორმებისთვის შესაბამისად:  $\omega_2 = 84,515 \frac{\text{რად}}{\text{წმ}}$ ;  $T_2 = 0,08$  წმ;  $\omega_3 = 91,287 \frac{\text{რად}}{\text{წმ}}$ ;  $T_3 = 0,068$  წმ.

რხევის ფორმების განსაზღვრისათვის (4.2) განტოლებათა სისტემა რხევის პირველი ფორმისთვის ( $k_1 = 19,23$ ) გადაიწერება შემდეგი სახით:

$$(2 - 19,23) + 2\rho_{2i} + 0 = 0$$

$$1 + (19 - 19,23)\rho_{2i} + \rho_{3i} = 0$$

$$0 + 2\rho_{2i} + (2 - 19,23)\rho_{3i} = 0$$

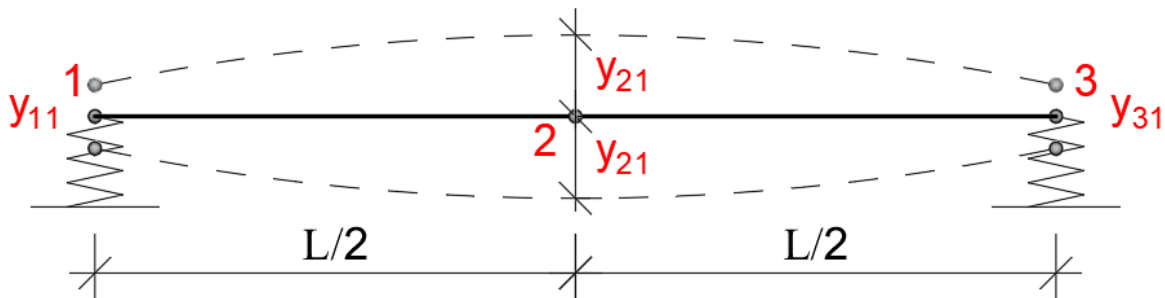
$$\text{აქ } \rho_{ni} = \frac{y_{ni}}{y_{1i}};$$

$i$  – რხვის ფორმა,  $n$  – მასის მიმართულება,  $\rho_{ni}=1$  -ს ვიღებთ 1-ის ტოლად.

მიღებულ სისტემაში ერთი განტოლება ზედმეტია. მოვიცილებთ მესამეს, შესაბამისად ამპლიტუდების თანაფარდობებისთვის მივიღებთ:

$$\rho_{11} = \frac{y_{11}}{y_{11}} = 1; \rho_{21} = \frac{y_{21}}{y_{11}} = 8.62; \rho_{31} = \frac{y_{31}}{y_{11}} = 1;$$

შესაბამისად რხვის I ფორმისათვის გვექნება



რხვის მეორე ფორმისთვის:

$$(2 - 2) + 2\rho_{22} + 0 = 0$$

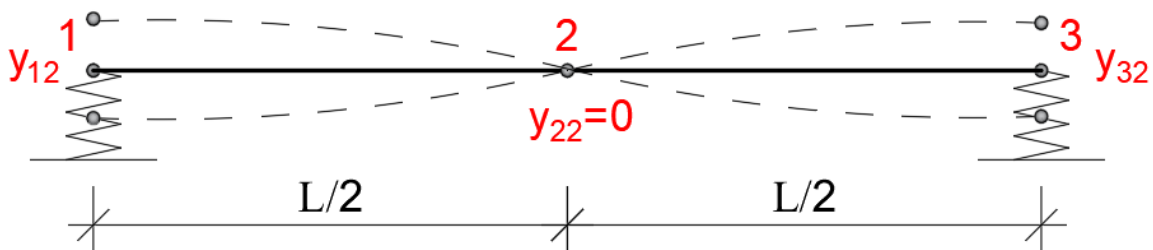
$$1 + (19 - 2)\rho_{22} + \rho_{32} = 0$$

$$0 + 2\rho_{22} + (2 - 2)\rho_{32} = 0$$

მივიღებთ

$$\rho_{12} = \frac{y_{12}}{y_{12}} = 1; \rho_{21} = \frac{y_{22}}{y_{12}} = 0; \rho_{31} = \frac{y_{32}}{y_{12}} = -1;$$

შესაბამისად რხვის მეორე ფორმისთვის გვექნება



რხვის მესამე ფორმისთვის

$$(2 - 1.77) + 2\rho_{23} + 0 = 0$$

$$1 + (19 - 1.77)\rho_{23} + \rho_{33} = 0$$

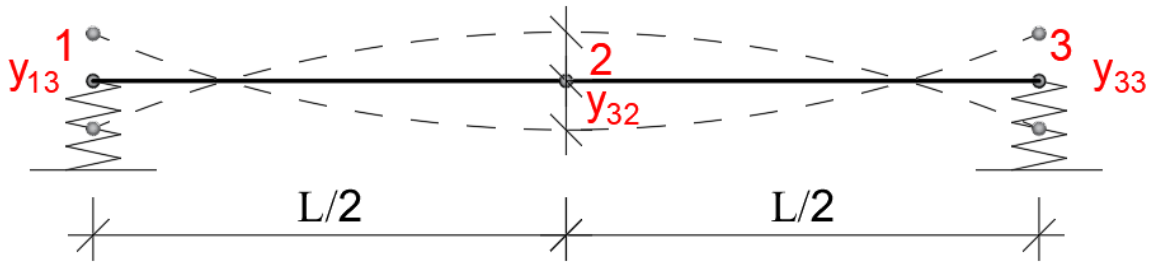


$$0 + 2\rho_{23} + (2 - 1.77)\rho_{33} = 0$$

მივიღებთ

$$\rho_{13} = \frac{y_{13}}{y_{13}} = 1; \rho_{23} = \frac{y_{23}}{y_{13}} = -0,12; \rho_{33} = \frac{y_{33}}{y_{13}} = 1;$$

შესაბამისად რხევის მესამე ფორმისთვის გვექნება



დაკმაყოფილებულია ასევე რხევის მთავარი ფორმების ურთიერთორთოგონალობის პირობა.

დიდმალიანი კონსტრუქციის შემთხვევით სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშებისას კონსტრუქციის და მისი ელემენტების გეომეტრიული და ინერციული მახასიათებლები იგივეა, რომლებიც განხილული იყო ზემოთ მოცემული გაანგარიშებებისთვის, დანარჩენი ზემოქმედების მახასიათებლებისთვის კი ვიღებთ შემდეგ მონაცემებს:  $\alpha = 6 \text{ წმ}^{-1}$ ;  $\beta = 30 \text{ წმ}^{-1}$ ;  $C = 0,4 \text{ წმ}^{-1}$ ;  $A = 2,8 \text{ } \frac{\text{მ}}{\text{წმ}^2}$ ;

სეისმური ზემოქმედების შესაბამისი აჩქარების სტანდარტის განსაზღვრისთვის ვხელმძღვანელობთ ( ) პირობით. ზემოქმედების სპექტრალური სიმკვრივის გამოსახულებაში შეტანით გვექნება:

$$\int_0^\infty \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma^2}{\pi} \cdot \frac{\alpha}{(\omega - \beta)^2 + \alpha^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma^2}{\pi} \cdot \frac{\alpha}{(\omega + \beta)^2 + \alpha^2} \right) d\omega =$$

$$= \frac{\sigma^2 \alpha}{2\pi} \int_0^\infty \frac{d\omega}{(\omega - \beta)^2 + \alpha^2} + \frac{\sigma^2 \alpha}{2\pi} \int_0^\infty \frac{d\omega}{(\omega + \beta)^2 + \alpha^2} = 1$$

შესაბამისი აღნიშვნების  $\omega - \beta = l$ ;  $\omega + \beta = l$ ;  $d\omega = dl$ ; შემოტანითა და შესაბამის გამოსახულებებში ჩასმით მივიღებთ

$$\frac{\sigma^2}{2\pi} \left[ \frac{\pi}{2} + \arctan \frac{\beta}{\alpha} + \frac{\pi}{2} - \arctan \frac{\beta}{\alpha} \right] = \frac{\sigma^2 \pi}{2\pi} = 1;$$

საიდანაც,  $\sigma = 10,414$  ზემოქმედების მახასიათებელი ყველა საწყისი მონაცემის დაზუსტების შემდეგ, მასების კონცენტრაციის წერტილების გადაადგილებების დასადგენად თავდაპირველად ისაზღვრება შესაბამისი ფორმებით განსაზღვრული სიდიდეების მნიშვნელობები, რომლის მიხედვითაც დგინდება მასების კონცენტრაციის წერტილების გადაადგილებები. ზემოქმედების მოცემული პარამეტრებისათვის გვაქვს: 1 და 3 მასები კონცენტრირების წერტილების გადაადგილება  $\cong 0$  (0,000612 მ), ხოლო მე-2 მასის კონცენტრირების წერტილი (შუაწერტილი) – 0,03611 მ  $\cong 3,61$  მ.

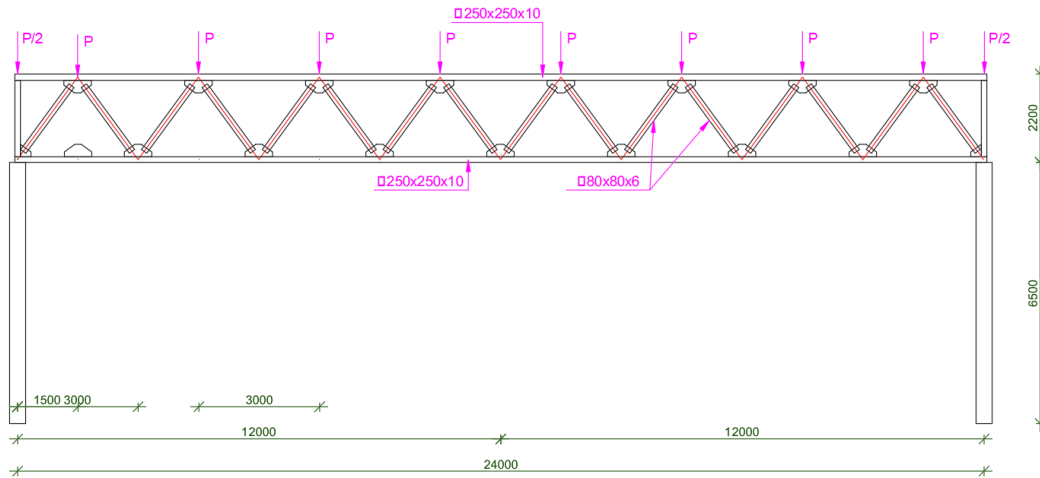
გეოფიზიკური კვლევების მიზანია სეისმური საშიშროების შეფასება, გრუნტის კატეგორიის განსაზღვრა და შესაბამისი გრუნტის ლოკალური თვისებების გამოყენებით აქსელეროგრამების პაკეტის შედგენა. გრუნტის თვისებების გამოკვლევა საინჟინრო პრობლემების გადაწყვეტისათვის ერთ-ერთ უმთავრეს ამოცანას წარმოადგენს.

ფოლადის დიდმალიანი წამწის ვერტიკალური (Z ღერძის მიმართ) გადაადგილება რეალური აქსელეროგრამებითა და ნორმაში არსებული სპექტრული მრუდების გამოყენებით ანგარიში ჩატარდა ლიცენზირებული გამოთვლითი კომპლექსის “Lira Sapr 2017”-ის მეშვეობით და გაკეთდა მისი შედარებითი ანალიზი.

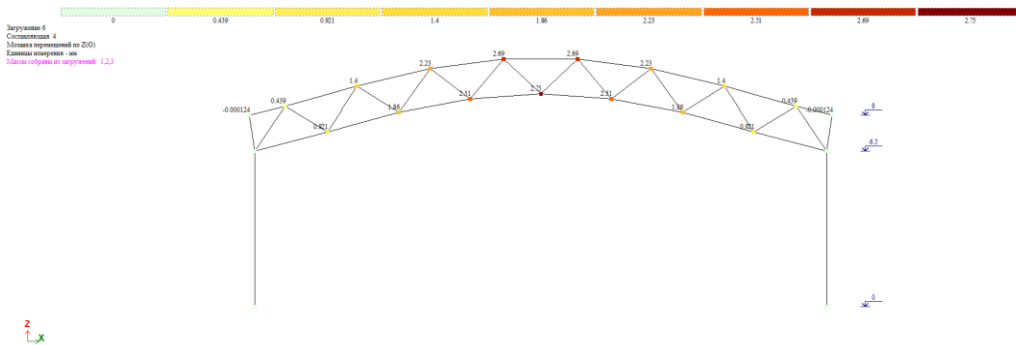
განხილულია სეისმური ძალის ზემოქმედების სამი მიმართულება:

X ღერძის გასწვრივ, Y ღერძის გასწვრივ და Z ღერძის გასწვრივ.

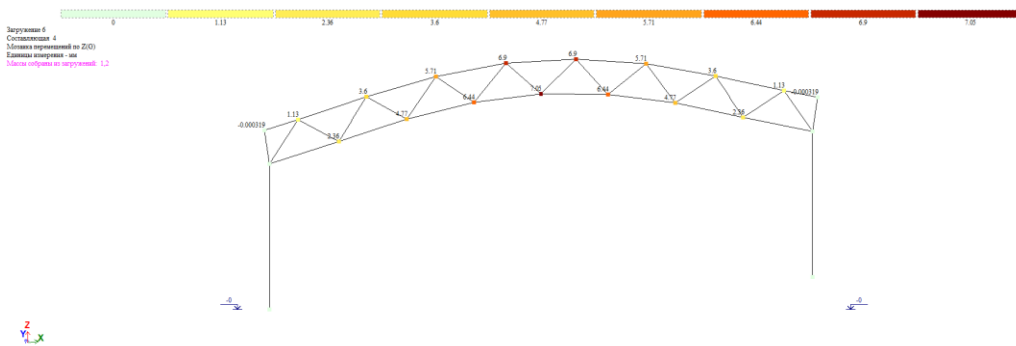
სეისმური დატვირთვა გამოითვლება ფორმულით  $S = k_0 k_1 k_2 k_3 k_\psi A Q$ , სადაც  $k_0=1$ ,  $k_1=0.25$ ,  $k_2=1.0$ ,  $k_3=1.0$ ,  $k_\psi =1$ ,  $A=0.17$ , რომელიც აღებულია ნორმაში არსებული სპექტრული მრუდებით ანგარიშისთვის. რეალური აქსელეროგრამებით ანგარიშისას კი გრუნტის აჩქარება არის  $A=0.22$ . დინამიკური დატვირთვები არის ნიშანცვლადი და ურთიერთგამომრიცხავი, რისი გათვალისწინებაც ხდება ძალების საანგარიშო შეხამების ანგარიშისას. გრუნტის კატეგორია სეისმური თვისებების მიხედვით არის მეორე. გათვალისწინებულია საკუთარი რხევის 20 ფორმა. სეისმური მასების მონაწილეობის ფაქტორი შეადგენს 88%-ს.



**სქემატური ნახაზი**



ნორმაში არსებული სპექტრული მრუდების გამოყენებით ანგარიშისას, წამწის Z ღერძის მიმართ გადაადგილება.



რეალური აქსელეროგრამების გამოყენებით ანგარიშისას, წამწის Z ღერძის მიმართ გადაადგილება.

	ნორმაში არსებული სპექტრული მრუდებით ანგარიშის შედეგები	რეალური აქსელეროგრამებით ანგარიშის შედეგები
გადაადგილება მუდმივი დატვირთვისგან	33.0 მმ	33.0 მმ
X დერძის მიმართულებით მოქმედი მიწისძვრის ჰორიზონტალური მდგენელი	0.02 მმ	0.05 მმ
Y დერძის მიმართულებით მოქმედი მიწისძვრის ჰორიზონტალური მდგენელი	33.3 მმ	112 მმ
Z დერძის მიმართულებით მოქმედი ვერტიკალური მდგენელი	2.75 მმ	7.05 მმ
წამწის რხევის პერიოდი ჰორიზონტალური მდგენელისგან $T_x$	1,56 წმ	1,49 წმ
წამწის რხევის პერიოდი ვერტიკალური მდგენელისგან $T_y$	0,34 წმ	0,34 წმ

წარმოდგენილი ნაშრომისათვის დასკვნის სახით აღვნიშნავთ შემდეგს:

- ❖ მიუხედავად იმისა, რომ დიდმალიანი კონსტრუქციების ანგარიშისას აუცილებელია ვერტიკალური სეისმური მდგენელის გათვალისწინება, ქვეყანაში არსებული სამშენებლო ნორმები და წესები არ გვავალდებულებს რეალური აქსელეროგრამების ჩანაწერებით მათ გაანგარიშებას.

ნორმაში არსებული სპექტრული მრუდებითა და რეალური აქსელეროგრამების გამოყენებით ჩატარებული ანგარიშის შედეგების მიხედვით, დიდმალიანი

წამწის Z ღერძის მიმართ გადაადგილება, ერთმანეთისგან 39%-ით (2,56-ჯერ) განსხვავდება.

- ❖ სეისმოაქტიური რეგიონებისათვის მოქმედი მარეგულირებელი ნორმატიული დოკუმენტები ითხოვენ დიდმალიანი კონსტრუქციული ელემენტების გაანგარიშებას სეისმური ზემოქმედების ვერტიკალური მდგენელის გათვალისწინებით. ამასთან საანგარიშო მოდელი (საანგარიშო სქემა - გაანგარიშების ალგორითმი) იგივეა რაც ჰორიზონტალური მდგენელის გათვალისწინებით გაანგარიშებისათვის. წარმოდგენილ ნაშრომში მიღებული გვაქვს გადახურვის დიდმალიანი ბრტყელი კონსტრუქციული ელემენტის დეტერმინირებულ (ნორმატიულ) ვერტიკალურ სეისმურ დატვირთვაზე გაანგარიშების მეთოდოლოგია, რომელიც ითვალისწინებს საანგარიშო სქემის დაზუსტებასა და მომიჯნავე მზიდი ელემენტების გავლენას კონსტრუქციის დინამიკურ მახასიათებლებზე, შესაბამისად სეისმურ დატვირთვაზე.

ჩატარებული ანგარიშის შედეგების მიხედვით, დიდმალიანი წამწის Z ღერძის მიმართ გადაადგილება, ნორმატიული მეთოდიკითა და საყრდენების დამყოლობის გათვალისწინებით ერთმანეთისგან განსხვავდება: საყრდენების დამყოლობის პირველი თანაფარდობისთვის 27,5%-ით (1,37-ჯერ) და საყრდენების დამყოლობის მეორე თანაფარდობისთვის 62,3%-ით (2,65-ჯერ);

- ❖ ზოგადად მიწისძვრა წარმოადგენს შემთხვევით მოვლენას. შემთხვევითი სიდიდეებია მისი მახასიათებელი პარამეტრები. შესაბამისად შემთხვევით ფუნქციათა თეორია არის ის ანალიტიკური ბაზისი რომლის საფუძველზეც მიღებული გაანგარიშების ალგორითმი ყველაზე ადეკვატურად ასახავს მოვლენის არსს. წარმოდგენილ ნაშრომში მიღებულია გადახურვის დიდმალიანი ბრტყელი კონსტრუქციული ელემენტის შემთხვევით (დეტერმინირებული მომვლები ფუნქციისა და სტაციონარული შემთხვევითი პროცესის ნამრავლი) ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშების მეთოდოლოგია, რომელიც საშუალებას იძლევა განხილულ იქნეს როგორც

ზემოქმედების სხვადასხვა რეალიზაცია (განსხვავებული ამპლიტუდურ-სიხშირითი მახასიათებლები), ასევე მომიჯნავე მზიდი ელემენტების განსხვავებული შეშფოთებები.

ჩატარებული ანგარიშის შედეგების მიხედვით, დიდმალიანი წამწის Z ღერძის მიმართ გადაადგილება, ნორმატიული მეთოდითა და შემთხვევითი სეისმური ზემოქმედების გათვალისწინებით ერთმანეთისგან 10%-ით (1.1-ჯერ) განსხვავდება.

### **ნაშრომის აპრობაცია და გამოქვეყნებული პუბლიკაციები**

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა სასწავლო პროცესში 3 კოლოქვიუმზე. ასევე კვლევის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო სტატია, დისერტაციის ძირითადი შედეგები მოხსენებულ იქნა სტუდენტთა სამეცნიერო კონფერენციაზე.

- N. Pavliashvili, S. Esadze. Vertical Seismic Load on a Long-span Steel Truss. სტუ-ს სამეცნიერო შრომების კრებული, თბილისი 2023, N2 (528) – ISSN 1512-0996

- N. Pavliashvili, S. Esadze. Vertical Seismic Vibration of the Large-span Trussed Beam. სტუ-ს სამეცნიერო შრომების კრებული, თბილისი 2022, N4 (526) – გვ.62-66. ISSN 1512-0996

- პავლიაშვილი ნ., რეალური აქსელეროგრამებითა და ნორმაში არსებული სპექტრული მრუდების გამოყენებით, დიდმალიანი კონსტრუქციის სეისმომედეგობაზე გაანგარიშების შედეგების შედარებითი ანალიზი. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №1(65), 2023. გვ.99-103 – ISSN 1512-3936

- პავლიაშვილი ნ., რეალური აქსელეროგრამებითა და ნორმაში არსებული სპექტრული მრუდების გამოყენებით, დიდმალიანი კონსტრუქციის სეისმომედეგობაზე გაანგარიშების შედეგების შედარებითი ანალიზი. სტუდენტთა საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია - „ინოვაციური ტექნოლოგიები ინჟინერიაში“, თბილისი 2023. გვ.137-142 – ISBN 978-9941-28-843-9.

## Abstract

Determining the seismic load and ensuring the seismic resistance of buildings is an extremely important and important issue for the seismically active regions of the Earth, including our country, Georgia. Ensuring seismic resistance means that the consequences of strong earthquakes will be less catastrophic and human deaths and material damage will be minimized as much as possible.

This issue is the main topic of the presented dissertation. The dissertation deals with the task of ensuring the seismic resistance of a specific type of the large-span structural system under construction and/or existing in seismically active regions.

Engineering analysis of the results of strong earthquakes, especially for epicentric zones, shows the destructive effect of the vertical coefficient of seismic acceleration on structural systems and their elements. This is the basis for the fact that almost all applicable seismic resistance norms/codes require consideration of the vertical coefficient for individual types of structural systems and elements.

Modern industrial and/or public purpose buildings in most cases require volume-planning solutions that ensure the existence of large spaces. Such demand can be met by arranging large roofs (with flat or spatial bearing system). Therefore, ensuring their seismic resistance requires the calculation of the special adjustment of loads, taking into account the vertical coefficient of seismic acceleration. Moreover, the calculation model (calculation scheme - calculation algorithm) is the same as for the calculation taking into account the horizontal multiplier.

within the framework of the normative method of calculating seismic resistance and statistical theory, the following issues were presented in the dissertation for the development of the methodology for calculating large-span constructions on vertical seismic impact:

- Deterministic and probabilistic accounting models ensuring seismic resistance of buildings and their structural elements;
- vertical coefficient of seismic acceleration - its influence on buildings / their structural elements;
- Roofing flat large-span structural elements, trussed beam; the influence of the vertical coefficient of seismic acceleration on them;
- Calculation of the special compliance of the load of large-span flat structural elements taking into account the vertical seismic acceleration;
- calculation of large-span flat structural elements on accidental vertical seismic impact;
- Numerical realizations and their comparative analysis.

The first chapter is devoted to the stages of development of seismic impact calculation methods, normative calculation; deterministic and random seismic impacts; Basic concepts of vertical seismic accelerations are introduced.

The second chapter deals with large-scale constructions in enterprise and public buildings; their normative calculation methods for vertical seismic impact.

The third chapter is entirely devoted to the proposed methodologies for the calculation of large-span constructions on vertical seismic impact within the framework of the normative method and statistical theory.

The calculation of the steel large-span truss is given in the fourth chapter by the normative (using software) and the proposed two methodologies; Comparative analysis of the given results.

In accordance with the requirements of the normative documents valid for the seismically active regions, in the dissertation presented for the large-span structural elements, we have adopted a methodology for the calculation of the normative vertical seismic load, which takes into account the scheme of the structure and, as a result, the influence of the adjacent load-bearing elements on the dynamic characteristics of the structure, respectively, on the value of the vertical seismic load.

Accordingly, the theory of random functions is the analytical basis according to which the calculation algorithm most adequately reflects the essence of the event. In the presented work, a methodology for calculating the accidental vertical seismic impact of a large-span flat structural element (a product of a deterministic function and a stationary random process) is adopted, which allows to consider both different realizations of the impact (different amplitude-frequency characteristics), as well as different concerns of adjacent load-bearing elements.