



საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტი
1922 წლიდან

ნინო ჰავლიაშვილი

შენობის დიდმალიანი კონსტრუქციული ელემენტების ვერტიკალური სეისმური რბევები

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა მშენებლობა

შიფრი 0732

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0160, საქართველო

2023წ

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ფაკულტეტი სამშენებლო

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით **ნინო პავლიაშვილის** მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: **შენობის დიდმალიანი კონსტრუქციული ელემენტების ვერტიკალური სეისმური რხევები** და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო, ტექნოლოგიური და საბუნებისმეტყველო საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

14, ივლისი 2023 წელი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი/ხელმძღვანელები: პროფესორი სერგო ესაძე

რეცენზენტი: პროფესორი ლამარა ავალიშვილი

რეცენზენტი: პროფესორი დავით რამიშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2023 წ

ავტორი: ნინო პავლიაშვილი

დასახელება: შენობის დიდმალიანი კონსტრუქციული ელემენტების

ვერტიკალური სეისმური რხევები

სადოქტორო პროგრამა: მ შ ე ნ ე ბ ლ ო ბ ა

მისანიჭებელი კვალიფიკაცია: მშენებლობის ინჟინერიის დოქტორი

სხდომა ჩატარდა ----, ----- 2023 წ.

ინდივიდუალური პროცენტების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა _____

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე. ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

სეისმური დატვირთვის განსაზღვრა და შენობა-ნაგებობათა სეისმომდეგობის უზრუნველყოფა დედამიწის სეისმურად აქტიური რეგიონებისთვის, მათ შორის ჩვენი ქვეყნისთვის, საქართველოსთვისაც უაღრესად მნიშვნელოვანი და ამასთან ერთად აქტუალური საკითხია. სეისმომდეგობის უზრუნველყოფა გულისხმობს ძლიერი მიწისძვრების შედეგად მინიმალურ მატერიალური ზარალს და ყველა პირობის შექმნას მსხვერპლის თავიდან ასაცილებლად.

აღნიშნული საკითხი არის წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის მთავარი თემა. ნაშრომი ეხება სეისმომექტიურ რეგიონებში მშენებარე და/ან არსებული კონკრეტული ტიპის - გადახურვის დიდმალიანი კონსტრუქციული სისტემის სეისმომდეგობის უზრუნველყოფის ამოცანას.

ძლიერი მიწისძვრების შედეგების ინჟინრული ანალიზი, განსაკუთრებით ეპიცენტრული ზონებისათვის აჩვენებს სეისმური აჩქარების ვერტიკალური მდგენლის დამანგრეველ გავლენას კონსტრუქციულ სისტემებსა და მათ ელემენტებზე. აღნიშნული არის საფუძველი იმისა რომ თითქმის ყველა, სეისმომდეგობის მოქმედი ნორმატივები/კოდეზი მოითხოვენ აღნიშნული მდგენლის გათვალისწინებას ცალკეული ტიპის კონსტრუქციული სისტემებისა და ელემენტებისთვის.

თანამედროვე საწარმოო და/ან საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობები უმეტეს შემთხვევაში მოითხოვს ისეთ მოცულობით - გეგმარებით გადაწყვეტებს, რომლებიც უზრუნველყოფს დიდი განფენის სივრცეების არსებობას. ასეთი მოთხოვნის დაკმაყოფილება კი შეიძლება დიდმალიანი გადახურვების (ბრტყელ ან სივრცული მზიდი სისტემით) მოწყობით. შესაბამისად მათი სეისმომდეგობის უზრუნველყოფა მოითხოვს გაანგარიშებას დატვირთვათა განსაკუთრებულ შეთანწყობაზე სეისმური აჩქარების ვერტიკალური მდგენლის გათვალისწინებით. ამასთან საანგარიშო მოდელი (საანგარიშო სქემა - გაანგარიშების ალგორითმი) იგივეა რაც ჰორიზონტალური მდგენლის გათვალისწინებით გაანგარიშებისათვის.

სეისმომდეგობაზე გაანგარიშების ნორმატიული მეთოდისა (იგულისხმება ასევე რეალური აქსელეროგრამების გამოყენებაც) და სტატისტიკური თეორიის ფარგლებში, ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე კონკრეტული ტიპის დიდმალიანი კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდოლოგიის დამუშავებისათვის ნაშრომში განხილული და დასაცავად წარმოდგენილია შემდეგი საკითხები:

- შენობა-ნაგებობების და მათი კონსტრუქციული ელემენტების სეისმომდეგობის უზრუნველყოფი დეტერმინირებული და ალბათური საანგარიშო მოდელები;
- სეისმური აჩქარების ვერტიკალური მდგენელი - მისი გავლენა შენობა-ნაგებობებზე/მათ კონსტრუქციულ ელემენტებზე;
- გადახურვის ბრტყელი დიდმალიანი კონსტრუქციული ელემენტები, კოჭური ფერმები; მათზე სეისმური აჩქარების ვერტიკალური მდგენლის გავლენა;

- დიდმალიანი ბრტყელი კონსტრუქციული ელემენტების დატვირთვის განსაკუთრებულ შეთანწყობაზე გაანგარიშება ვერტიკალური სეისმური აჩქარების გათვალისწინებით;
- დიდმალიანი ბრტყელი კონსტრუქციული ელემენტების შემთხვევით ვერტიკალური სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშება;
- რიცხვითი რეალიზაციები და მათი შედარებითი ანალიზი.

ნაშრომში განხილული საკითხები განაწილებულია შემდეგი სახით:

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

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

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

მეოთხე თავში მოცემული ფოლადის დიდმალიანი კოჭური წამწის გაანგარიშება ნორმატიული - (წრფივ სპექტრალური და რეალური აქსელეროგრამა, პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით) და შემოთავაზებული ორი მეთოდოლოგიით; მოცემული მიღებული შედეგების შედარებითი ანალიზი.

სეისმოაქტიური რეგიონებისათვის მოქმედი მარეგულირებელი ნორმატიული დოკუმენტების მოთხოვნების შესაბამისად დიდმალიანი კონსტრუქციული ელემენტისათვის წარმოდგენილ ნაშრომში მიღებული გვაქვს დეტერმინირებულ (ნორმატიულ) ვერტიკალურ სეისმურ დატვირთვაზე გაანგარიშების მეთოდოლოგია, რომელიც ითვალისწინებს საანგარიშო სქემის დაზუსტებასა და ამის შედეგად მომიჯნავე მზიდი ელემენტების გავლენას კონსტრუქციის დინამიკურ მახასიათებლებზე, შესაბამისად ვერტიკალური სეისმური დატვირთვის მნიშვნელობაზე.

ზოგადად მიწისძვრა წარმოადგენს შემთხვევით მოვლენას. შემთხვევითი სიდიდეებია მისი მახასიათებელი პარამეტრები. შესაბამისად შემთხვევითი 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 მომვლენები 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 შემფოთებები.

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 larg-span structural elements, we have adopted a methodology for the calculation 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.

შინაარსი

შინაარსი.....	8
ცხრილების ნუსხა.....	10
ნახაზების ნუსხა.....	11
შესავალი.....	15
თავი 1 ლიტერატურის მიმოხილვა სეისმური დატვირთვების შესახებ.....	20
1.1 შენობა-ნაგებობების დეტერმინირებული სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშების მეთოდების განვითარების ეტაპები და თანამედროვე მდგომარეობა.	
1.2 შენობა-ნაგებობების სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშების ნორმატიული უზრუნველყოფის შესახებ.	28
1.3 შემთხვევით სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშების შესახებ.....	33
1.4 ძირითადი ცნებები ფუძისა და ნაგებობის ვერტიკალური სეისმური აჩქარებების შესახებ.....	37
თავი 2. ძირითადი ნაწილი დიდმალიანი კონსტრუქციები საწარმოო და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობებში	47
2.1 დიდმალიან კონსტრუქციათა კლასიფიცირების შესახებ.....	47
2.2 დიდმალიანი ერთსართულიანი საწარმოო და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობები - კონსტრუქციული გადაწყვეტების შესახებ.....	49
2.3 დიდმალიანი ერთსართულიანი საწარმოო და საზოგადოებრივი შენობები - ნორმატიული ვერტიკალური სეისმური დატვირთვა გადახურვის კონსტრუქციაზე	63
თავი 3 დეტერმინირებული და შემთხვევითი სეისმური ზემოქმედება დიდმალიან კონსტრუქციებზე.....	67
3.1 გადახურვის დიდმალიანი კონსტრუქციის დინამიკური მახასიათებლების განსაზღვრის შესახებ	67
3.2 ვერტიკალური სეისმური დატვირთვები გადახურვის დიდმალიან კონსტრუქციაზე საყრდენების გავლენის გათვალისწინებით.	77
3.3 შემთხვევითი ვერტიკალური სეისმური დატვირთვები გადახურვის დიდმალიან კონსტრუქციაზე.....	82
თავი 4 დიდმალიანი კონსტრუქციების გაანგარიშება ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე.....	86
4.1 გადახურვის დიდმალიანი კონსტრუქციის გაანგარიშება ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე - ნორმატიული მეთოდიკა	86
4.2 გადახურვის დიდმალიანი კონსტრუქციის გაანგარიშება ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე.....	97
4.3 გადახურვის დიდმალიანი კონსტრუქციის გაანგარიშება შემთხვევით სეისმურ ზემოქმედებაზე.....	104

4.4 რეალური აქსელეროგრამებითა და ნორმაში არსებული სპექტრული მრუდების გამოყენებით, დიდმალიანი კონსტრუქციის სეისმომედეგობაზე გაანგარიშების შედეგების შედარებითი ანალიზი.....	105
დასკვნა.....	111
გამოყენებული ლიტერატურა	113

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. კონსტრუქციაში მუდმივი დატვირთვითა და X და Z ღერძის გასწვრივ მოქმედი სეისმური დატვირთვით აღძრული მაქსიმალური ძალოვანი ფაქტორები.....	91
ცხრილი 2. კონსტრუქციის მუდმივი დატვირთვითა და X და Z ღერძის გასწვრივ მოქმედი სეისმური დატვირთვით გამოწვეული გადაადგილება	94
ცხრილი 3. მოდალური ანალიზის შედეგები.....	97
ცხრილი 4.....	104
ცხრილი 5.....	110

ნახაზების ნუსხა

ნახაზი 1. ფ. ომორის საანგარიშო მოდელი.....	21
ნახაზი 2. ნ. მონონობეს საანგარიშო მოდელი.....	22
ნახაზი 3. N თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემის სეისმური რხევა.	25
ნახაზი 4. სეისმომედეგობის თეორიის განვითარების ეტაპები.	28
ნახაზი 5. კონსტრუქციული სისტემის კონსოლური საანგარიშო მოდელი საანგარიშო სეისმური დატვირთვის განსაზღვრისათვის.....	30
ნახაზი 6. სეისმური აჩქარების ჩანაწერი, როგორც სამი მონაკვეთის ერთობლიობა	38
ნახაზი 7. მაქსიმალური ვერტიკალური და ჰორიზონტალური სეისმური აჩქარებების თანაფარდობის დამოკიდებულება ეპიცენტრალურ მანძილთან [28].....	41
ნახაზი 8. მაქსიმალური ვერტიკალური და ჰორიზონტალური სეისმური აჩქარებების ცვლილება ზედაპირიდან სიღრმესთან მიმართებით [29]	42
ნახაზი 9. ვერტიკალური სეისმური აჩქარებების მახასიათებლები: ა) აქსელეროგრამები; ბ) ფურიეს ამპლიტუდების სპექტრი; გ) რეაქციის სპექტრი; დ) არიესის ინტენსივობა	43
ნახაზი 10. გადახურვის ფოლადის მზიდი კონსტრუქციები - ა) ფოლადის ბრტყელი ტრაპეციული ფერმები.....	50
ნახაზი 11. გადახურვის ფოლადის მზიდი კონსტრუქციები - ფოლადის ბრტყელი კოჭოვანი ფერმები.....	50
ნახაზი 12. გადახურვის ფოლადის მზიდი კონსტრუქციები - ფოლადის ბრტყელი კოჭოვანი ფერმები.....	51
ნახაზი 13. ორსაფეხურიანი სამრეწველო ნაგებობის ჩარჩოს სტრუქტურული სქემა: 1 - სვეტები; 2 - წამწები; 3 - ამწქვეშა კოჭები; 4 - სვეტებს შორის კავშირები.....	52
ნახაზი 14. სვეტებზე დაყრდნობილი წამწები.....	53
ნახაზი 15. კავშირი კოლონებს შორის	54
ნახაზი 16. კავშირები წამწის სარტყლის სიბრტყეში	54
ნახაზი 17. 1 - W ტიპის წამწე; 2 – N ტიპის წამწე; 3 - ტრაპეციული; 4 - სამკუთხა; 5 - მრუდხაზოვანი (თაღოვანი).	56
ნახაზი 18. PK-01 სერიის ტიპური უნიფიცირებული წამწები.....	57
ნახაზი 19. ტიპური უნიფიცირებული გრძივი მიმართულების წამწე.....	57
ნახაზი 20. „MOLODECHNO“ ტიპის სახურავის ფერმები.....	58
ნახაზი 21. წამწის კვანძები:.....	58
ა - დაწყვილებული კუთხოვანები.....	58
ბ - ფართო თაროებიანი გ - წრიულ მილებიანი დ - ერთმანეთთან შედუღებული მილკვადრატის პროფილები.....	58

ნახაზი 22. გრძივი წამწის სქემები	59
ნახაზი 23. გრძივი მიმართულების წამწის სქემა 1.460.3-15 სერიის მიხედვით	59
ნახაზი 24. ფართო თაროიანი ორტყეობის სარტყელიანი წამწის კვანძები: ა - საყრდენი კვანძი; ბ - ირიბნების სარტყელთან შეერთება; გ - ქვედა სარტყლის შეერთება.	60
ნახაზი 25. სახსრულად დაყრდნობილი წამწის ზედმეტი ელემენტი.	60
ნახაზი 26. წამწის ელემენტების შეერთების ტიპები.....	62
ნახაზი 27. წამწის სარტყლის გადაბმის დეტალი	63
- დიდმალიანი წამწის რხევის პირველი ფორმის შესაბამისი პერიოდის განსაზღვრა. ერთმალიანი, სახსრულად დაყრდნობილი წამწისთვის აღნიშნული მახასიათებელი (განზომილება წმ-ია) შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით: .	65
ნახაზი 28. პარაბოლური თაღის ფორმა.	65
ნახაზი 29.	70
ნახაზი 30.....	72
ნახაზი 31.....	73
ნახაზი 32. განაწილებული მასის ჩანაცვლება კონცენტრირებული მასებით	74
ნახაზი 33.....	76
ნახაზი 34. დამყოლ საყრდენზე მდებარე სამმასიანი კოჭი	78
ნახაზი 35. ერთეული ძალის გამოყენება.....	79
ნახაზი 36. ფოლადის დიდმალიანი კონსტრუქციის საანგარიშო მოდელი	86
ნახაზი 37. მუდმივი დატვირთვით აღძრული N მკუმშავი/გამჭიმავი ძალა (ტ).....	88
ნახაზი 38. X ღერძის გასწვრივ მოქმედი სეისმური დატვირთვით აღძრული N მკუმშავი/გამჭიმავი ძალა (ტ)	88
ნახაზი 39. Z ღერძის გასწვრივ მოქმედი სეისმური დატვირთვით აღძრული N მკუმშავი/გამჭიმავი ძალა (ტ)	89
ნახაზი 40. მუდმივი დატვირთვით აღძრული M_x მღუნავი მომენტი (ტ*მ)	89
ნახაზი 41. X ღერძის გასწვრივ მოქმედი სეისმური დატვირთვით აღძრული M_x მღუნავი მომენტი (ტ*მ)	89
ნახაზი 42. Z ღერძის გასწვრივ მოქმედი სეისმური დატვირთვით აღძრული M_x მღუნავი მომენტი (ტ*მ)	90
ნახაზი 43. მუდმივი დატვირთვით აღძრული Q_z განივი ძალა (ტ)	90
ნახაზი 44. X ღერძის გასწვრივ მოქმედი სეისმური დატვირთვით აღძრული Q_z განივი ძალა (ტ)	90
ნახაზი 45. Z ღერძის გასწვრივ მოქმედი სეისმური დატვირთვით აღძრული Q_z განივი ძალა (ტ)	91

ნახაზი 69. ნორმაში არსებული სპექტრული მრუდების გამოყენებით ანგარიშისას, წამწის Z ღერძის მიმართ გადაადგილება.	109
ნახაზი 70. რეალური აქსელეროგრამების გამოყენებით ანგარიშისას, წამწის Z ღერძის მიმართ გადაადგილება.	109

შესავალი

დედამიწის სეისმურ რეგიონებში, რომელსაც საქართველო მიეკუთვნება, შენობა-ნაგებობების მშენებლობისას აქტუალური იყო და არის მათი სეისმომდეგობის უზრუნველყოფა. 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. მათი უდიდეს უმრავლესობა ძირითადად დაფუძნებულია წრფივ-სპექტრალურ თეორიაზე. ამ უკანასკნელის არსი მდგომარეობს სეისმური დატვირთვის განსაზღვრისას, წრფივი დრეკადი კონსტრუქციული სისტემის დინამიკური მახასიათებლის რეაქციის ნორმატიული სპექტრებით განსაზღვრა. მიღებული დატვირთვის კონსტრუქციულ სისტემაზე სტატიკური მოდება სისტემის საანგარიშო მოდელის გეომეტრიული და ინერციული მახასიათებლების შესაბამისად.

გაანგარიშების გარდა ზემოთ აღნიშნული მიდგომისა, შენობა-ნაგებობათა დანიშნულებისა და მათი კონსტრუქციული გადაწყვეტების ცალკეული მახასიათებლების შესაბამისად ხდება შენობა-ნაგებობათა გაანგარიშება რეალური და/ან სინთეზირებული აქსელეროგრამების გამოყენებით. აღნიშნული მიდგომის

საჭიროება განაპირობა ზემოთ ნახსენებმა წრფივ-სპექტრალური თეორიისა და ცაკლეულმა ნაკლოვანმა მხარეებმა კონკრეტულ კონსტრუქციულ გადაწყვეტებთან მიმართებაში, რომელთაგან ძირითადია რეალური ზემოქმედების ადექვატური აღწერა.

ამ უკანასკნელი ამოცანის გადაჭრას ემსახურება სეისმური დატვირთვის შემთხვევითი პროცესის სახით წარმოდგენაც. თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას რომ ძლიერი მიწისძვრების განმაპირობებელი დამახასიათებელი ფაქტორები წარმოადგენენ შემთხვევით სიდიდეებს, მაშინ ნათელი ხდება ამ მოვლენის შემთხვევითი ფიზიკური არსი. რიგი მკვლევარების აღნიშნულ მიდგომას სეისმომედეგობის სტატისტიკურ თეორიასაც უწოდებენ და მიიჩნევენ რომ ეს შეიძლება იყოს მოვლენის ყველაზე მეტად შესატვისი საანგარიშო მოდელის საფუძველი. ამ თეორიის ანალიტიკურ ბაზისად განიხილება შემთხვევით პროცესთა თეორია. ამ თეორიის ზღვრებში, დატვირთვის და მისგან აღნიშნული რეაქციის კვლევის მეთოდებიდან ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული (სეისმომედეგობის ამოცანებისთვის) არის კორელაციური მეთოდი.

ცნობილია რომ სეისმური დატვირთვის ორიენტაცია სივრცეში შეიძლება იყოს ნებისმიერი. ის წამოდგენილია სამი ურთიერთორთოგონალურ მდგენელის - ორი ჰორიზონტალური, ერთი ვერტიკალური - სახით. ჰორიზონტალური მდგენელები წარმოადგენს იმ ძირითად სეისმურ ზემოქმედებას, რომლის გავლენაზეც უნდა იანგარიშებოდეს სეისმოაქტიურ რეგიონში მშენებარე ნებისმიერი ტიპის შენობა-ნაგებობა. რაც შეეხება სეისმომედეგობაზე გაანგარიშებისას ვერტიკალური მდგენელის გათვალისწინებას, თითქმის ყველა მოქმედი ნორმატივები მოითხოვენ ამ პროცედურას ცალკეული კონსტრუქციული ელემენტებისთვის. აღნიშნულის საჭიროებაზე ასევე მიუთითებს ძლიერი ეპიცენტრული მიწისძვრების შედეგების ინჟინრული ანალიზი. ზემოთ აღნიშნულ კონსტრუქციულ ელემენტთა ჩამონათვალში, რომელისთვისაც აუცილებელია დატვირთვის განსაკუთრებულ შეთანწყობაზე ანგარიში ვერტიკალური სეისმური დატვირთვის გათვალისწინებით. თითქმის ყოველთვის არის დიდძალიანი

კონსტრუქციები (მალის სხვადასხვა მნიშვნელობით, მაგალითად 24 მ¹; 20 მ² და ა.შ). ამასთან ნორმატიული ვერტიკალური სეისმური დატვირთვის განსაზღვრისათვის გამოიყენება იგივე გამოსახულებები, რაც ჰორიზონტალური მდგენელისათვის.

თანამედროვე საწარმოო და/ან საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობები უმეტეს შემთხვევაში მოითხოვს ისეთ მოცულობით - გეგმარებით გადაწყვეტებს, რომლებიც უზრუნველყოფს დიდი განფენის სივრცეების არსებობას. ასეთი მოთხოვნის დაკმაყოფილება კი შეიძლება დიდმალიანი გადახურვების (ბრტყელ ან სივრცული მზიდი სისტემით) მოწყობით. შესაბამისად მათი სეისმომდეგობის უზრუნველყოფა მოითხოვს გაანგარიშებას დატვირთვათა განსაკუთრებულ შეთანწყობაზე სეისმური აჩქარების ვერტიკალური მდგენელის გათვალისწინებით.

სადისერტაციო ნაშრომის მიზანი: ზემოთ აღწერილი ურთიერთდაკავშირებული საკითხების გათვალისწინებითა და მათ შესაბამისად ყალიბდება სეისმომდეგობაზე გაანგარიშების ნორმატიული მეთოდისა და სტატისტიკური თეორიის ფარგლებში, ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე დიდმალიანი კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდოლოგიის დამუშავება. რის მისაღწევადაც წარმოდგენილი და დამუშავებულია შენობა-ნაგებობების და მათი კონსტრუქციული ელემენტების სეისმომდეგობის უზრუნველყოფი დეტერმინირებული და ალბათური საანგარიშო მოდელები და სეისმური აჩქარების ვერტიკალური მდგენელის და შემთხვევითი ვერტიკალური ზემოქმედების გავლენა შენობა-ნაგებობებზე, კოჭურ წამწებზე, დიდმალიან ბრტყელ კონსტრუქციებზე.

წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის **სამეცნიერო სიახლე:**

- მიღებულია გადახურვის დიდმალიანი ბრტყელი კონსტრუქციული ელემენტის დეტერმინირებულ (ნორმატიულ) ვერტიკალურ სეისმურ დატვირთვაზე გაანგარიშების მეთოდოლოგია;
- მიღებულია გადახურვის დიდმალიანი ბრტყელი კონსტრუქციული ელემენტის შემთხვევით (დეტერმინირებული მომვლელი ფუნქციისა და

¹ (СП – 8 – 57. Нормы и правило строительство в сейсмических районах.)

² (eurocode 8. design of structures for earthquake resistance)

სტაციონარული შემთხვევითი პროცესის ნამრავლი) ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშების მეთოდოლოგია.

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

წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, 4 თავის, დასკვნებისა და ლიტერატურის ჩამონათვალისგან. „შენობის დიდძალიანი კონსტრუქციული ელემენტების ვერტიკალური სეისმური რხევები“ წარმოდგენილია 118 ნაბეჭდ ფურცელზე, ნაშრომში არის 70 ნახაზი, 5 ცხრილი.

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

მეორე თავი შეეხება საწარმო და საზოგადოებრივ შენობებში არსებულ დიდძალიან კონსტრუქციებს; მათი ნორმატიული გაანგარიშების მეთოდებს ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე.

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

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

ნაშრომის აპრობაცია და გამოქვეყნებული პუბლიკაციები:

ნაშრომში ფორმულირებული ძირითადი დებულებები და კვლევის მასალები ასახულია 3 სამეცნიერო სტატიაში.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა სასწავლო პროცესში 3 კოლოქვიუმსა და სტუდენტთა საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე - „ინოვაციური ტექნოლოგიები ინჟინერიაში“, თბილისი 2023.

თავი 1 სეისმური დატვირთვების შესახებ.

1.1 შენობა-ნაგებობების დეტერმინირებული სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშების მეთოდების განვითარების ეტაპები და თანამედროვე მდგომარეობა.

მიწისძვრის რეალიზაცია დედამიწის ზედაპირზე და მისი შესაბამისი მათემატიკური მოდელები განიხილებოდა და ამჟამად 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:

$$S_{max} = \frac{Y_{0max}}{g} mg = K_c Q \quad (1.1)$$

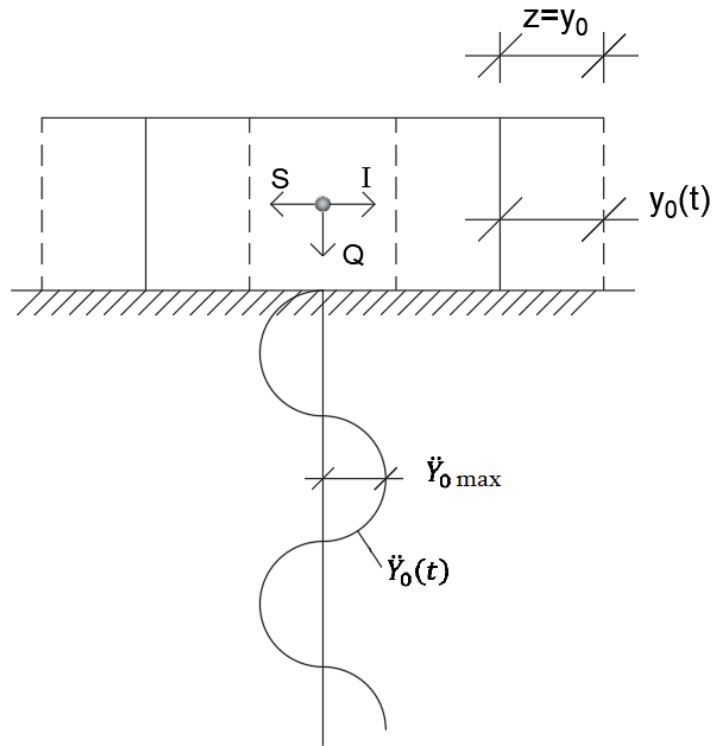
სადაც, m - ნაგებობის მასაა;

\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 (ნახაზი 1).



ნახაზი 1. ფ. ომორის საანგარიშო მოდელი.

იმის გათვალისწინებით რომ მიწისძვრის აჩქარების მიმართულება შეიძლება იყოს ნებისმიერი, (i) გამოსახულებაში არ არის ნიშანი მინუსი და შემოწმება უნდა მოხდეს აჩქარების მაქსიმალური სიდიდისათვის, მოქმედების ნებისმიერი საშიში მიმართულებისთვის.

სეისმურობის კოეფიციენტის K_c განსაზღვრისათვის ფ. ომორი განიხილავდა \dot{y}_{0max} აჩქარებებს, რომლებიც შეესაბამებოდა აგურის სვეტების რღვევას (მზიდი კონსტრუქციის იმ დროს გავრცელებული ტიპი), რისთვისაც ჩაატარა ამ ტიპის კონსტრუქციების გამოცდა ჰარმონიული კანონის რხევად პლატფორმებზე.

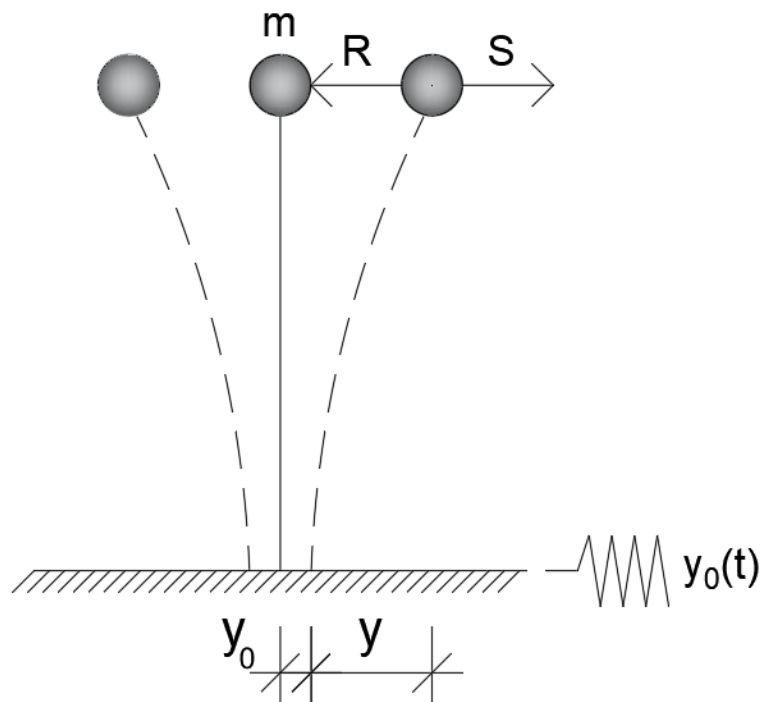
ფ. ომორის თეორიის (იგივე სტატიკური თეორიის) ძირითადი ნაკლი მდგომარეობს იმაში, რომ ის რეალურთან ახლო შედეგებს იძლევა მხოლოდ იმ შემთხვევებისთვის, როდესაც კონსტრუქციის საკუთარი სიხშირეები აღემატება ზემოქმედების სიხშირეს. მხოლოდ ისეთ შემთხვევაში შეიძლება ნაგებობა განიხილებოდეს როგორც აბსოლუტურად ხისტი.

მიუხედავად აღნიშნულისა, სტატიკურმა თეორიამ მნიშვნელოვანი როლი შეასრულა სეისმომედევობის თეორიის ჩამოყალიბებაში, რამდენადაც წარმოიდგენდა ნაგებობაზე მოქმედი სეისმური დატვირთვის განსაზღვრის პირველ ცდას.

შემდგომი მნიშვნელოვანი ნაბიჯი სეისმომდეგობის თეორიის განვითარებაში დაკავშირებულია ნ. მონონობეს სახელთან. სეიმური დატვირთვის განსაზღვრისათვის ის ითვალისწინებდა ნაგებობის დეფორმაციულობას, რისთვისაც ამ უკანასკნელს განიხილავდა გრუნტში ჩამაგრებული ერთი თავისუფლების ხარისხის მქონე წრფივ სისტემად. მოდელის (ნახაზი 2) რხევა ხდებოდა ჰარმონიული კანონით. საანგარიშო მოდელის შესაბამისად ინერციის S და რეაქციის R ძალები ერთმანეთთან დაკავშირებულია გამოსახულებით

$$m\ddot{y} + ky = -m\ddot{y}_0(t) \quad (1.2)$$

სადაც, K - სისტემის სიხისტეა.



ნახაზი 2. ნ. მონონობეს საანგარიშო მოდელი.

თვლიდა რა ფუძის რხევას ჰარმონიულად $\ddot{y}_0(t) = \ddot{y}_{0max} \sin \theta t$ გამოსახულება (1.2) ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\ddot{y} + \varphi^2 y = \frac{p_0}{m} \sin \theta t \quad (1.3)$$

სადაც, $\varphi^2 = k/m$; $p_0 = -m\ddot{y}_{0max}$

იღებდა რა დროის საწყისი მომენტისთვის სისტემის გადაადგილებასა და სიჩქარეს ნულის ტოლად, განიხილავდა (ითვალისწინებდა) სისტემის მხოლოდ

იძულებით რხევებს, შესაბამისი მათემატიკური გარდაქმნებით ³, მაქსიმალური სეისმური დატვირთვისათვის მიიღო შემდეგი გამოსახულება

$$S_{max} = \mu_0 \frac{\ddot{Y}_{0max}}{g} mg = \mu_0 k_c Q \quad (1.4)$$

სადაც, μ_0 არის დინამიკურობის კოეფიციენტი და მისი მნიშვნელობა ტოლია

$$\mu_0 = \left(1 - \frac{T^2}{T_0^2}\right)^{-1} \quad (1.5)$$

გამოსახულებაში (1.5) T სისტემის საკუთარი რხევის პერიოდია, T_0 - მიწისძვრის ფუძის რხევის პერიოდი, K_c კი სეისმურობის კოეფიციენტი.

ფ. ომორის სტატიკური მეთოდისგან განსხვავებით მონონობეს მიდგომის შესაბამისად ხდება ნაგებობის იძულებითი რხევების გავლენა μ_0 დინამიკურობის კოეფიციენტის საშუალებით. პირველად მიექცა ყურადღება სეისმური ზემოქმედების ფორმირებაში შენობის მახასიათებლების გავლენას.

(1.4) გამოსახულების ანალოგიური გამოსახულება სეისმური დატვირთვის განსაზღვრისთვის, მონონობესგან დამოუკიდებლად მიღებულ იქნა კ. ზავრიევის მიერ 1927 წელს. მან პირველმა 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 (1.4)-დან მიიღო მნიშვნელობა:

$$\mu_{D1} = 2 * \left(1 - \frac{T^2}{T_0^2}\right)^{-1} \quad (1.6)$$

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. ბიოს მიერ შემოთავაზებულ

³ (Полеков С. В, 1983)

სპექტრალურ მეთოდთან, რომელიც დღესაც რჩება სეისმომდეგობის თეორიის წრფივი ამოცანების გადაწყვეტის საბაზისო მეთოდად. ამ მეთოდით შესაძლებელი გახდა დიუამელის ინტეგრალი შეცვლილიყო უფრო მარტივი გადაწყვეტით, რაც გამოსახებოდა აჩქარებათა სპექტრებით. მეთოდის სახელწოდებიდანაც ჩანს რომ საწყისი სეისმოლოგიური ინფორმაცია მასში მოცემულია რეაქციის სპექტრების - ერთმასიანი ოსცილატორების აჩქარებათა დამოკიდებულება მათსავე პერიოდთან - საშუალებით.

სპექტრალურ აჩქარებათა სიდიდეები βAg (ან βa) სხვადასხვა პერიოდის მქონე ერთმასიანი ოსცილატორებისათვის განისაზღვრებოდა ექსპერიმენტალურად ანალოგიური გამოთვლითი მოწყობილობების საშუალებით. ბიოს მიერ შემოთავაზებულმა მეთოდმა განვითარება პოვა დ. ჰადსონის, ა. ნაბროვის, გ. ჰაუზანერის, ჯ. ადფორტის და სხვათა შრომებში.

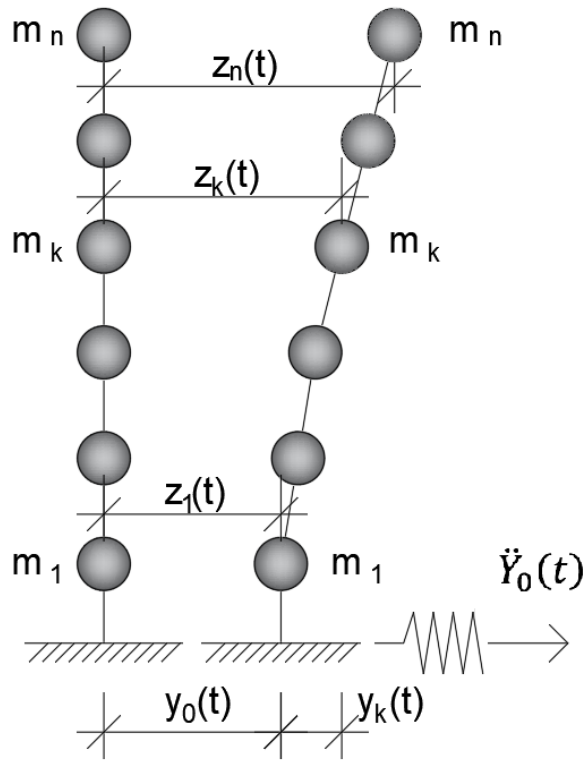
1958 წელს კალიფორნიელ ინჟინერთა ასოციაციის მიერ პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის რეკომენდებულ იქნა სტანდარტული სპექტრი $C(T) = \dot{Z}_{max}(T)/g$, რომლის გამოყენებითაც სეისმური დატვირთვის მაქსიმალური მნიშვნელობის განსაზღვრა შესაძლებელი იყო შემდეგი გამოსახულებით:

$$S = m\dot{Z}_{max}(T) = QC(T) \quad (1.7)$$

სეისმური რხევის ზემოთ მითითებული მოდელები წარმოადგენდა ერთმასიან ოსცილატორებს. მრავალმასიანი (n) კონსოლის (ნახ. 3) მიღვევის გარეშე გადატანილი რხევის განხილვის შემთხვევაში K წერტილში მოქმედი ჯამური სეისმური დატვირთვის მნიშვნელობას ვიღებთ ყველა n ფორმის რხევებისას აღებული. სეისმური S_{ki} დატვირთვების აჯამებით:

$$S_{k(t)} = \sum_{i=1}^n S_{ki(t)} = m_k \sum_{i=1}^n \varphi_i n_{ki} D_{i(t)} = m_k \sum_{i=1}^n \varphi_i^2 X_{ki} \varphi_{i(t)} \quad (1.8)$$

სადაც, $D_i = \int_0^t \ddot{y}_0(\tau) e^{-\varepsilon(t-\tau)} \sin\varphi(t-\tau) d\tau$.



ნახაზი 3. n თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემის სეისმური რხევა.

1.8 გამოსახულება საშუალებას იძლევა დროის ნებისმიერი t მომენტისთვის განისაზღვროს სეისმური დატვირთვა მასის კონცენტრაციის k წერტილში.

თუ ერთი თავისუფლების ხარისხის სისტემისთვის სეისმური დატვირთვის განსაზღვრის გამოსახულებას

$$\ddot{z}(t) = -\varphi^2 y(t) = \varphi D \quad (1.9)$$

შევადარებთ რხევის i -ური ფორმისთვის ჩაწერილ გამოსახულებას (1.8) ვნახავთ რომ $\varphi = \varphi^2$ -სათვის ისინი ერთმანეთს ემთხვევა დროისგან t დამოუკიდებელი n_{ki} მამრავლამდე სიზუსტით.

მაგალითად,

$$\ddot{Z}_{ki}(t) = \varphi_i n_{ki} D_d(t) = \varphi n_{ki} D_d(t) = n_{ki} \ddot{Z}(t) \quad (1.10)$$

1.10 გამოსახულებებიდან ჩანს რომ ერთი თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემისთვის მიღებული \ddot{Z}_{max} აჩქარების სპექტრები შეიძლება გამოყენებულ იქნას n თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემის k წერტილში მაქსიმალური სეისმური აჩქარების \ddot{Z}_{max} განსაზღვრისათვის, მისი i -ური ფორმით რხევისას. ამ მიღებული სიდიდის შესაბამისად ამ მთავარი ფორმისათვის k წერტილში მოქმედი სეისმური დატვირთვა განისაზღვრება გამოსახულება:

$$S_{ki} = \frac{\dot{y}_{0max}}{g} * \frac{\dot{y}_{max}(T_i, \varepsilon_\tau)}{\dot{y}_{0max}} n_{ki} m_k g = K_c \beta_i \eta_{ki} Q_k \quad (1.11)$$

K_c სეისმურობის კოეფიციენტი 1.11 გამოსახულებაში დამოკიდებულია მხოლოდ ფუძის რხევის ინტენსივობაზე; β_i - სპექტრების არსებობის შემთხვევაში ნაგებობის დინამიკურ მახასიათებლებზე; n_{ki} - კოეფიციენტი კი განისაზღვრება განსაზღვრული i -ური რხევის ფორმით, კონცენტრირებული m_i მასების სიდიდით და მდებარეობით.

ერთი თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემისათვის $\eta = 1$, ხოლო n თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემისათვის:

$$\sum_{i=1}^n \eta_{ki} = 1 \quad (1.12)$$

სეისმომედეგობის დინამიკური თეორიის განვითარებაში არსებითი წვლილი შეიტანა ი.ლ.კორჩინსკიმ. სეისმური დატვირთვის განსაზღვრისათვის საბაზისო გახდა მის მიერ მიღებული გამოსახულებები. 1954 წელს მის მიერ იქნა დასაბუთებული 1.11 გამოსახულება და შემოთავაზებული იქნა რეკომენდაციები ამ ფორმულაში შემავალი კოეფიციენტების განსაზღვრისათვის. სეისმური რხევას ის განიხილავდა როგორც მიღევადი სინუსოიდების ჯამს:

$$y_0(t) = \sum_{i=1}^n a_{0ni} e^{-\Sigma_{0ni} t} \sin(\omega_0 t + \gamma h) \quad (1.13)$$

თუმცა შემდგომ მის ერთ მდგენელს ითვალისწინებდა ზემოთ აღნიშნულის საფუძველზე, სეისმური დატვირთვის განსაზღვრისათვის. მრავალი თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემისთვის ის მივიდა გამოსახულებამდე

$$S_{ki} = \frac{a_0 \omega^2}{g} \beta_i n_{ki} Q_k \quad (1.14)$$

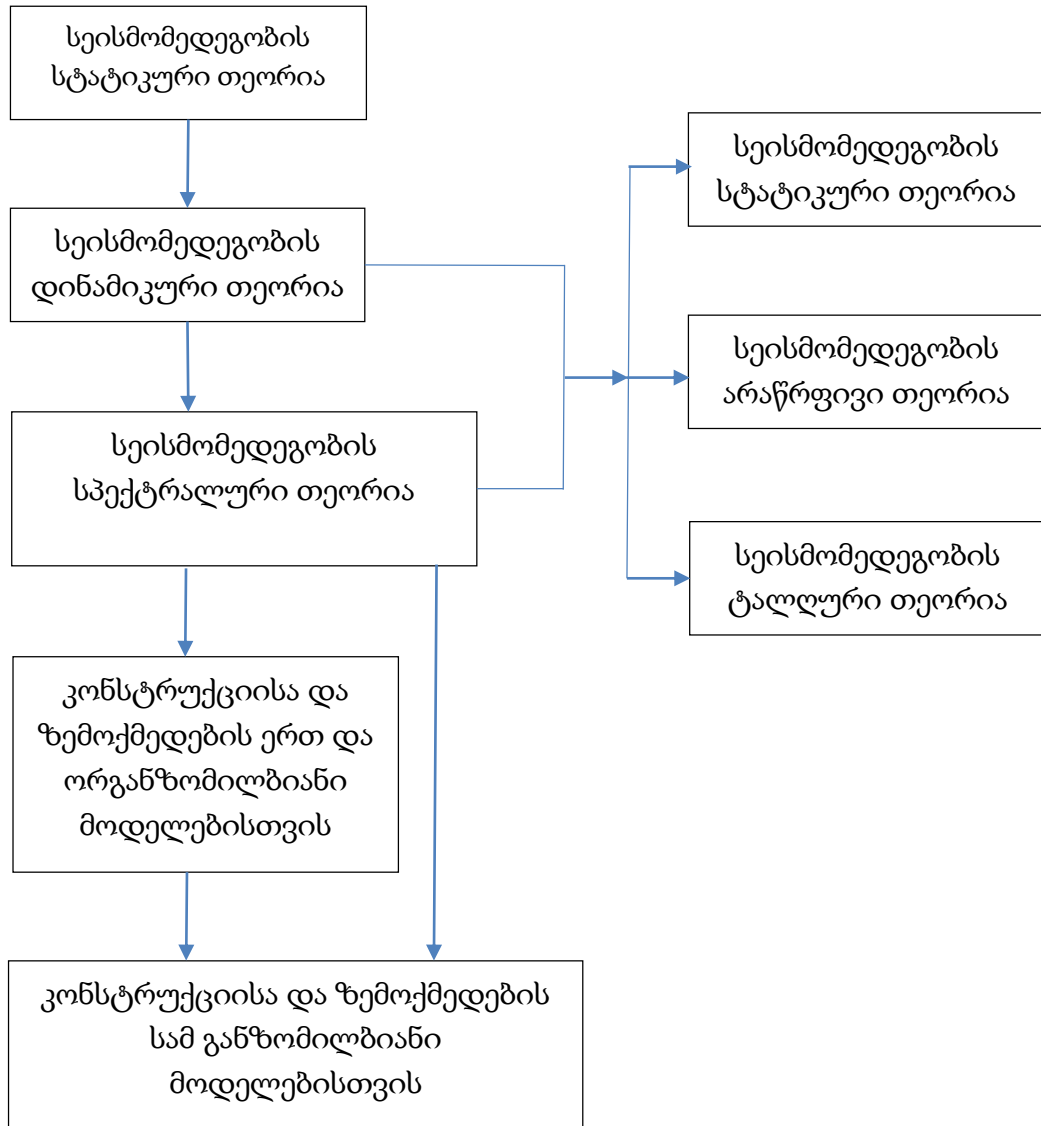
β კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის ი. კორჩინსკიმ მიიღო მისი დამოკიდებულება ω/φ ფარდობასთან ერთი თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემებისთვის, რაც შემდგომში იმ პერიოდისთვის ახალი ჩანაწერების მიხედვით იქნა კორექტირებული და შევიდა 1957 წელს გამოცემულ ნორმებში.⁴ (ნორმატიული უზრუნველყოფის შესახებ დეტალურად იხილეთ თავი 1.2).

⁴ (СП – 8 – 57. Нормы и правило строительство в сейсмических районах.)

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. მეტი თვალსაჩინოებისათვის, მე-4 ნახაზზე სქემატურად არის წარმოდგენილი სეისმომდეგობის თეორიის განვითარების ზემოთ აღნიშნული ეტაპები.

სამშენებლო ნორმები და წესები სეისმომდეგ მშენებლობაში წარმოადგენენ დროის კონკრეტული პერიოდისთვის ამ დარგში სამეცნიერო, საპროექტო და პრაქტიკული ცოდნის განზოგადებას ნორმატიული დოკუმენტების სახით. ისინი წარმოადგენენ სახელმძღვანელო დოკუმენტებს სახელმწიფოში სეისმომდეგი პროექტირება-მშენებლობის წარმოებისათვის. მათ შესახებ არსებითად იხილეთ მომდევნო პარაგრაფში.



ნახაზი 4. სეისმომედეგობის თეორიის განვითარების ეტაპები.

1.2 შენობა-ნაგებობების სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშების ნორმატიული უზრუნველყოფის შესახებ.

დღევანდელი დღის მდგომარეობით მსოფლიოში სახელმწიფოებს (მათ შორის საქართველოსაც) აქვთ ნორმები, რომელთა საფუძველზეც რეგულირდება სეისმომედეგი მშენებლობა.⁵ მათი უდიდესი უმრავლესობა ეფუძნება რა დიდი მოცულობის თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევების შედეგებს წარმოადგენს სეისმურ დატვირთვის პირობითი სტატისტიკური დატვირთვის სახით,

⁵ (სამშენებლო ნორმების და წესების – „სეისმომედეგი მშენებლობა“ (პნ 01.01-09), 2009)

განსაზღვრულს კონსტრუქციული სისტემის სპექტრალური გაანგარიშების (დინამიკური მახასიათებლების გათვალისწინება) საფუძველზე.

ქვემოთ წარმოდგენილია ⁶ ⁷ ნორმების შესაბამისად გაანგარიშების ალგორითმი კონსოლური საანგარიშო მოდელისთვის n კონცენტრირებული მასებით. კონსოლი ხისტად არის ჩამაგრებული, ფუძეში და ჰორიზონტალური სეისმური დატვირთვა მოქმედებს მასათა ცენტრებზე. სისტემის მოძრაობა იშლება რხევის საკუთარ ფორმების მიხედვით, სეისმური დატვირთვა განისაზღვრება ცალ-ცალკე რხევის თითოეული საკუთარი ფორმისათვის.

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, შემდეგი გამოსახულებით:

$$S_{in} = k_1 k_2 S_{oik} \quad (1.15)$$

სადაც, k_1 კოეფიციენტი ითვალისწინებს დასაშვებ დაზიანებებს, k_2 - შენობა-ნაგებობის კონსტრუქციულ გადაწყვეტას, S_{oik} კი m_k მასაზე მოქმედ რხევის საკუთარი i ფორმის შესაბამის საანგარიშო სეისმურ დატვირთვას და განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$S_{oik} = Q k_3 A \beta_i k_\psi \eta_{ik} \quad (1.16)$$

სადაც $Q_k = mkg$ არის k -ური მასის შესაბამისი წონა;

k_3 - შენობა-ნაგებობის მნიშვნელობის მახასიათებელი კოეფიციენტი;

A - სეისმურობის კოეფიციენტი, ნორმირებული თავისუფალი ვარდნის აჩქარებით;

β_i - დინამიკურობის კოეფიციენტი; იცვლება საკუთარი რხევის i -ური ფორმის შესაბამისი T_i პერიოდისა და სეისმურობის მიხედვით გრუნტის კატეგორიის შესაბამისად;

k_ψ - მიღვევის კოეფიციენტი;

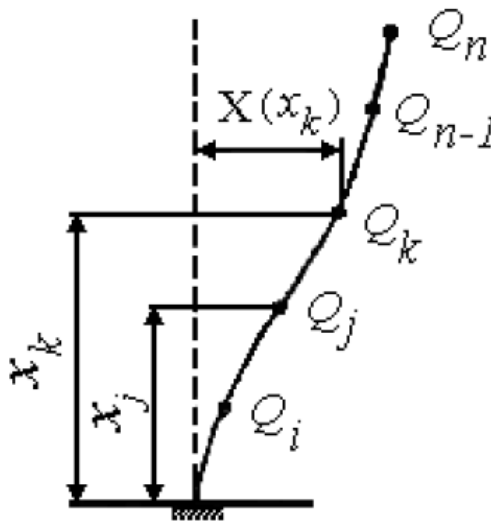
⁶ (Позняк Е. В., 2019)

⁷ (Ушаков. О. ю., 2015)

η_{ik} - ფორმის კოეფიციენტი; დამოკიდებულია i ფორმით საკუთარი რხევისას დეფორმაციის ფორმებზე და დატვირთვის მდებარეობაზე; განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\eta_{ik} = \frac{x_i(x_k) \sum_{j=1}^n Q_j x_i(x_j)}{\sum_{j=1}^n Q_j x_i(x_j)} \quad (1.17)$$

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 5).



ნახაზი 5. კონსტრუქციული სისტემის კონსოლური საანგარიშო მოდელი საანგარიშო სეისმური დატვირთვის განსაზღვრისათვის.

მთლიანი სეისმური ზემოქმედების S_{ik} (1.15) საანგარიშო სიდიდეების მიღების შემდეგ, საკუთარი რხევის თითოეული i ფორმის შესაბამისად. სტატიკური გაანგარიშებით უნდა განისაზღვროს შენობა-ნაგებობათა კონსტრუქციული ელემენტების კვეთებში აღძრული ძალები N_i , ამ უკანასკნელთა განსაზღვრის შემდეგ, ჩნდება სირთულე დაკავშირებული იმ გარემოებასთან რომ (1.15) და (1.16) გამოსახულებებით განსაზღვრული სეისმური ძალების მაქსიმალური მნიშვნელობები მიიღწევა დროის სხვადასხვა მომენტისათვის. შესაბამისად სუპერპოზიციის პრინციპის გამოყენება ამ შემთხვევაში არ შეიძლება. შესაბამისად მაქსიმალური ძალების განსაზღვრის ამოცანა, რომელიც

ფაქტობრივად ძირითად განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს. სპექტრალურ თეორიაში, აღნიშნულ საკითხთან მიმართებაში მიღებული და ნორმების უმრავლესობაში ასახულია, განხილული მდგენელებისათვის განსაზღვრული ძალებთან, საშუალო კვადრატული მნიშვნელობის მიღება საანგარიშო ძალვად.

ე.წ SRSS – square root of the sum of the squares მეთოდი შემოთავაზებული ლ. გულმანის ე. რობენზლიუეტის და ნ.მ. ნიუმარკის მიერ ⁸.

$$N_n = \sqrt{\sum_{i=1}^n N_i^2} \quad (1.18)$$

ამ შემთხვევაში, n - გაანგარიშებაში გათვალისწინებული რხევის ფორმების რაოდენობაა. ნორმები ითვალისწინებენ საკუთარი რხევების არანაკლებ სამ ფორმას, თუ პირველი ფორმის პერიოდი T_1 აღემატება 0.4 წამს და რხევის მხოლოდ პირველ ფორმას, თუ $T_1 \leq 0.4$ წმ.

ზემოთ აღწერილი მეთოდის გარდა, ცალკეული განსაკუთრებული მნიშვნელობის ან გარკვეული (არატიპური) კონსტრუქციული გადაწყვეტის მქონე ობიექტებისთვის გამოიყენება პირდაპირი დინამიკური გაანგარიშებები სეისმომდეგობაზე. ამ ტიპის გაანგარიშებები წარმოებს საანგარიშო აქსელეროგრამების გამოყენებით.

$$a(t) = A_i y_i(t) \quad (1.19)$$

(1.19) 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/სინთეზირებული აქსელეროგრამებით გაანგარიშების მეთოდსაც უწოდებენ. საანგარიშო აქსელეროგრამები აიგება უშუალოდ მშენებლობის ადგილზე ან ამ ადგილის მსგავსი პირობების მქონე არეში დარეგისტრირებული აქსელეროგრამების დამუშავების საფუძველზე. მსგავს პირობებში იგულისხმება მახასიათებელი სეისმოლოგიური მონაცემები: მაგნიტუდა, ეპიცენტრალური მანძილი, კერის სიღრმე, საინჟინრო-გეოლოგიური პირობები და ა.შ.

⁸ (Newmark, N. M., 1973)

გაანგარიშების თეორიული საფუძველი ერთ შემთხვევაში შეიძლება იყოს დიუამელის ინტეგრალის რიცხვითი რეალიზაცია თუ მოცემული გვაქვს (ამ შემთხვევაში გვაქვს) ფუნქციის აჩქარების $a(t)$ რეალური ან სინთეზირებული (მიიღება არსებული ჩანაწერების შესაბამისი დამუშავების გზით) ჩანაწერები.

მეორე მიდგომა კი მდგომარეობს რხევის განტოლებების რიცხვით ინტეგრირებაში. ამისათვის კონსტრუქციული სისტემის რხევათა განტოლებების სისტემა წარმოდგენილი იქნება პირველი რიგის ჩვეულებრივი დიფერენციალური განტოლებების სახით ე.წ. ნორმალური ფორმით. ან განტოლებების რიცხვითი ინტეგრირების გზით (მაგალითად რუნჯ-კუტას მეთოდი) მიიღება განზოგადებული კოორდინატის მნიშვნელობა დროის ნებისმიერი მომენტისათვის, რის შემდეგაც შესაძლებელია სეისმური დატვირთვის განსაზღვრა K მასაზე i -იური ფორმით რხევის დროს.

არსებობს ამ მეთოდის გამოყენების სხვადასხვა მოდიფიკაციები ნაგებობების დინამიკის ამოცანებთან მიმართებაში, რომლებიც ასევე შეიძლება განზოგადებულ იქნეს ნაგებობების სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშებებისათვის.

კონსტრუქციული სისტემების კონსოლურ საანგარიშო მოდელებთან ერთად სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშების პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება ბრტყელი და სივრცული საანგარიშო სქემები. აღნიშნულის საჭიროებას განაპირობებს თანამედროვე შენობა-ნაგებობების რთული კონსტრუქციული გადაწყვეტები, დიდი მასები და სიმაღლეები და ა.შ. შესაბამისად ჩნდება ისეთი საანგარიშო მოდელის ფორმირების საჭიროება, რომელიც მეტად შეესაბამება კონსტრუქციული სისტემის რეალურ მუშაობას სეისმური ზემოქმედების პირობებში.

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

1.3 შემთხვევით სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშების შესახებ.

სეისმომდეგობის თეორიის განვითარების ეტაპების ზემოთ აღწერილი სურათი (იხ. § 1.1) კიდევ ერთხელ ნათლად წარმოაჩენს რომ სეისმომდეგობის თეორიის განვითარების გზაზე მთავარი დაბრკოლება იყო და რჩება გრუნტის სეისმური რხევის ზუსტი ანალიტიკური ჩაწერის შეუძლებლობა.

ბევრი ავტორი ^{9 10 11} მიუთითებს რომ იმდენად რამდენადაც სეისმური ზემოქმედება არის შემთხვევითი მოვლენა, სეისმომდეგობის თეორიის ანალიტიკური საფუძველიც უნდა იყოს ალბათობის თეორიისა და მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდები.

აღნიშნული მიდგომა არის შედეგი იმ გარემოების რომ ძლიერი მიწისძვრის მახასიათებელი თითქმის 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.¹² ის აგებდა რეაქციის სპექტრებს ფუძის რხევითი მოძრაობებისთვის, განიხილავდა რა ამ უკანასკნელის ერთნაირი ამპლიტუდების მქონე შემთხვევით იმპულსების სერიების (II-სებრი უბნების მიმდევრობა აჩქარება-დროის გრაფიკზე) სახით.

მომდევნო წლებში, სეისმური ზემოქმედების, როგორც შემთხვევით პროცესის სახით განხილული მოდელები შეიძლება გაიყოს ორ დიდ ჯგუფად:

- მოდელები, რომლებიც გრუნტის მოძრაობას ძლიერი მიწისძვრების დროს განიხილავენ როგორც სტაციონარულ შემთხვევით პროცესს.

- მოდელები, რომლებიც ითვალისწინებენ რეალური პროცესის არასტაციონარულობას.

- სტაციონარული მოდელების ჯგუფს შეგვიძლია მივაკუთვნოთ მ. ბარშტეინის მოდელი - ის სეისმურ აჩქარებას განიხილავდა როგორც სტაციონარულ ერგოდიულ პროცესს.

⁹ (Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф., 1988)

¹⁰ (Лужин О. В., 1983)

¹¹ (Барштейн, М.Ф., 1960)

¹² (George W. Housner, 1947)

ცნობილია რომ ზოგადად სეისმური რხევა წარმოადგენს არასტაციონარულ პროცესს, მაგრამ არის ისეთი ტიპის პროცესები, რომლებიც დროის სკალის შესაბამისი დასაშვები შერჩევით შეგვიძლია მივიჩნიოთ როგორც სტაციონარული. გ. მარშეტინის მიერ სწორედ ჩანაწერები იქნა შერჩეული სეისმური აჩქარებების ჩანაწერების სერიიდან შემდგომი კვლევისათვის. შერჩეულ ჩანაწერები საკმარისად დიდ ინტერვალზე ხასიათდებოდნენ საშუალოდ დამყარებული რხევით. ასეთ აქსელეროგრამებს შეესაბამება სეისმური დატვირთვის მაღალი სიდიდე. განხილული ჩანაწერების ნორმირებული კორელაციური ფუნქციის მაპროექსიმირებელ გამოსახულებად ავტორი განიხილავს გამოსახულებას

$$R(\tau) = e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta t \quad (1.20)$$

$$\alpha = 6 \dots 8,5 \text{ წმ}^{-1}, \quad \beta = 14 \dots 20 \text{ წმ}^{-1}$$

შესაბამისი სპექტრალური სიმკვრივისთვის კი წარმოდგენილია გამოსახულება

$$S(\omega) = 2B(0) \int_0^\infty e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta \tau \cos \omega \tau d\tau = 2B(0) \alpha \frac{\omega^2 + m^2}{\omega^4 + 2a\omega^2 + m^4} \quad (1.21)$$

$$\text{სადაც } m^2 = \alpha^2 + \beta^2; \quad a = \alpha^2 - \beta^2$$

(1.21) გამოსახულებიდან განისაზღვრება განსახილველი აქსელეროგრამების დომინირებადი პერიოდების მნიშვნელობები აღნიშნული მიდგომის საფუძველზე ავტორს ერთი და სასრული თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემებისთვის მიღებული აქვს რეაქციისა და დინამიკურობის კოეფიციენტის საშუალო კვადრატული მნიშვნელობები.

ზემოთ ხსენებული პირველი ჯგუფის მოდელებს მიეკუთვნება მოდელები, რომლებშიც გრუნტის სეისმური აჩქარებები განიხილება „თეთრი ხმაურის“ სახით. აღნიშნული ტიპის შემთხვევათა პროცესი ხასიათდება ყველა სიხშირისათვის ნულოვანი საშუალო მნიშვნელობათა და მუდმივი სპექტრალური სიმკვრივით, ანუ სიმძლავრე ყველა სიხშირეზე თანაბრად არის განაწილებული, ანალოგიურად „თეთრი“ სინათლისა, რომლის ხილვად სიხშირულ კომპონენტები თანაბრად არიან განაწილებული. ამ ტიპის ზემოქმედებები განხილული აქვთ ბაიკროფტის¹³, როზენბლუეტსა და ბუსტამანტს¹⁴.

¹³ (Bycroft, G. N., 1976)

¹⁴ (E. Rosenblueth, J.I Bustamante, 1962)

ზოგადად როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ სეისმური აჩქარებების დამოკიდებულება დროსთან წარმოადგენს არასტაციონარულ შემთხვევით პროცესს.¹⁵ გამოთვლითი მოდელის სახით, ამ ტიპის პროცესის განხილვისას თავს იჩენს ვ. ვ. ბოლოტინის მიერ შემოთავაზებული მეთოდი¹⁶ წარმოადგენს ერთ-ერთ საუკეთესო მიგნებას. აღნიშნული მოდელის შესაბამისად ფუძის სეისმური აჩქარება ჩაიწერება გამოსახულებით:

$$a(t) = A(t)\varphi(t) \quad (1.22)$$

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

(1.22) გამოსახულებიდან ჩანს რომ სეისმურ აჩქარებათა სიხშირული სპექტრი უცვლელია. აღნიშნული მახასიათებლის ცვლილების გათვალისწინება შესაძლებელი ხდება (1.23) ფორმულის ჯამის სახით ჩაწერის შემთხვევაში:

$$a(t) = \sum_k A_k(t)\varphi_k(t) \quad (1.23)$$

მომვლები ფუნქციის მისაღებად ვ. ვ. ბოლოტინის მოცემული აქვს მსგავსი ინტეგრალური მახასიათებლების აქსელეროგრამების (ასეთების არ არსებობისას ერთი აქსელეროგრამის) დამუშავების მეთოდოლოგია¹⁷, რის საფუძველზეც ჩაიწერება აჩქარების საშუალო კვადრატული მნიშვნელობა $\overline{a^2}(t)$. მომვლები ფუნქციის აპროქსიმაციისათვის კი იყენებს გამოსახულებებს:

$$A(t) = A_0 e^{-ct}; A(t) = A_0(e^{-c_1 t} - v e^{-c_2 t}) \quad (1.24)$$

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

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

ზემოქმედების მთლიანად განსაზღვრის შემდეგ, სისტემის შემთხვევითი სეისმური რხევის ამოცანა გადაწყდება კორელაციური თეორიის მეთოდებით. არასტაციონარული სეისმური რხევების ამოცანას განსხვავებული მიდგომით ხსნის ა. ჟაროვის მეთოდი.¹⁸ ის ეფუძნება შემთხვევითი პროცესის სიხშირულ და სიხშირულ-დროით აღწერას. სეისმური აჩქარება ჩათვლილია. ჰარმონიზებულ

¹⁵ (Tajimi, H. A., 1960)

¹⁶ (Болотин В.В., 1965)

¹⁷ (Болотин В.В., 1979)

¹⁸ (Жаров А.М., 1964)

არასტაციონარულ შემთხვევით პროცესად ანუ პროცესად, რომლისთვისაც განზოგადდება სტაციონარული შემთხვევითი პროცესისათვის მიღებული ვინერ-ხინჩინის სპექტრალური თანაფარდობანი. შემთხვევითი პროცესის ალბათური დახასიათებისათვის ავტორი იყენებს სიხშირის მიხედვით კორელაციის ფუნქციასა $Q(\omega, \omega')$ და სიხშირულ-დროით კორელაციის $S(\omega, t)$ ფუნქციას, რომელთათვისაც ავტორის მიერ, მახასიათებელი თანაფარდობანი პირველად იქნა მიღებული.

ვ.ვ. ბოლოტინის მოდელის მსგავსად, სეისმურ ზემოქმედებას დეტერმინირებული მომვლები ფუნქციისა და სტაციონარული შემთხვევითი პროცესის ნამრავლის სახით (განსხვავებული დაშვებებითა და ფუნქციათა განსხვავებული სტრუქტურით) განიხილავენ გოტო და ტოკი¹⁹, სიუ და ბერნარდი²⁰, რ.ნ და ს.ნ იენგარები²¹.

ი.მ აიზენბერგის²² მოდელს საფუძვლად უდევს კონცეფცია, რომლის მიხედვითაც განიხილება არა ერთი, არამედ განსხვავებული მახასიათებლების მქონე სეისმურ ზემოქმედებათა ნაკრები, რომელთაგან ცალ-ცალკე თითოეულის მახასიათებელი პარამეტრები (გაბატონებული სიხშირე, სპექტრის სიგანე და ფორმა, მომვლები ფუნქცია) ერთმანეთთან დაკავშირებულია მარტივი მათემატიკური დამოკიდებულებებით. ამრიგად აღნიშნული მოდელის მიხედვით სეისმური ზემოქმედება წარმოდგენილია როგორც დისკრეტული სიმრავლე არასტაციონარული გაუსის ტიპის მულტიპლიკატიური პროცესებისა და მისი ყოველი j -იური ელემენტი, \bar{m}_{max} და \bar{m}_{min} გაბატონებული სიხშირეებით შემოსაზღვრულ ინტერვალში ავტორის მიერ წარმოდგენილია შემდეგი სახით:

$$\Phi(t, \bar{m}_j) = A(t, \bar{m}_j)\Phi(t, \bar{m}_j)$$

სადაც $\Phi(t, \bar{m}_j)$ არის გაუსის ტიპის სტაციონარული პროცესი; $A(t, \bar{m}_j)$ - მომვლები ფუნქცია, ნორმირებული იმგვარად რომ $|A|_{max} = 1$.

¹⁹ (Goto H., Toki K, 1969) (Hsu T – J, Bernard M.C., 1978)

²⁰ (Hsu T – J, Bernard M.C., 1978)

²¹ (Iyengar R.N., Iyengar K.T.S.R., 1969)

²² (Айзенберг Я.М., 1980)

1.4 ძირითადი ცნებები ფუძისა და ნაგებობის ვერტიკალური სეისმური აჩქარებების შესახებ

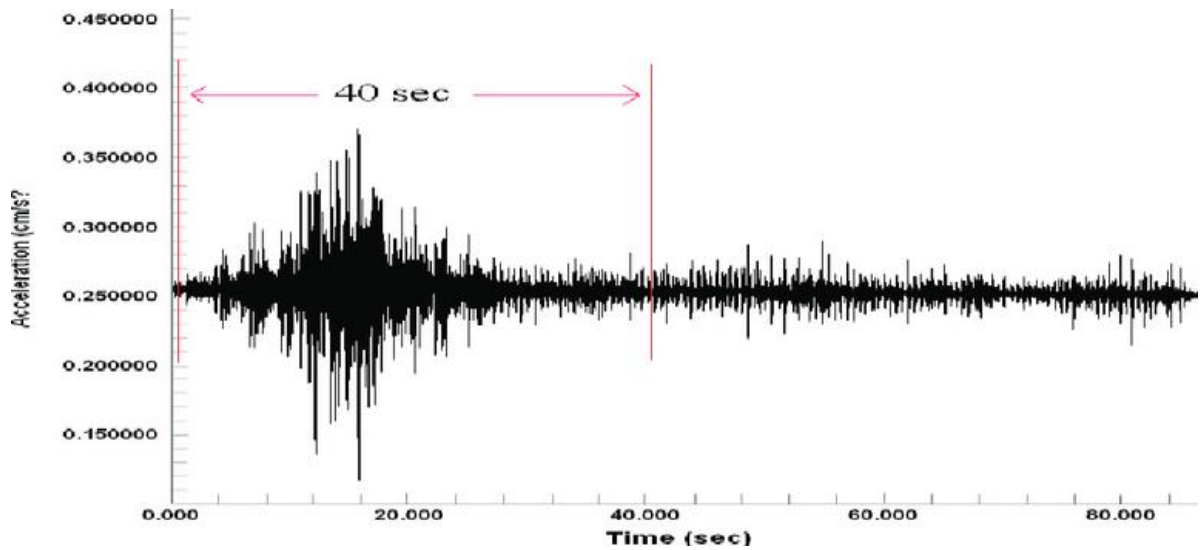
ძლიერი მიწისძვრები ზოგადად არათანაბარი ზედაპირული გავლენით ხასიათდება - განსხვავებულად ზემოქმედებენ თავიანთი მოქმედების არეალში მდებარე შენობა-ნაგებობებზე. ანალოგიურად შეიძლება ითქვას სეისმური ზემოქმედების ვერტიკალური მდგენელის შესახებ - მისი გავლენა მაქსიმალურია მიწისძვრის ეპიცენტრულ ზონაში. ამ უკანასკნელისგან დაცილებასთან ერთად კი მისი ინტენსივობა მცირდება. შესაბამისად ეპიცენტრული ზონისთვის სეისმური ზემოქმედების ვერტიკალური მდგენელის გავლენა მაქსიმალურია.

არსებობს ეპიცენტრული მანძილის მიხედვით მიწისძვრათა პირობითი კლასიფიკაცია²³. ამ კლასიფიკაციის მიხედვით განასხვავებენ ახლო, საშუალო სიშორისა და შორეულ მიწისძვრებს. პირველისთვის, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ ფუძის ვერტიკალური სეისმური რხევები მაქსიმალურ სიდიდეს აღწევს, ხოლო დანარჩენი ორისთვის შესაბამისად ნაკლებსა და უმნიშვნელოს. აუცილებელია აქვე აღინიშნოს ის გარემოება რომ დედამიწის ზედაპირთან ახლოს მდებარე შრეებში კლდოვანი გრუნტების არსებობის პირობებში ვიღებთ მზარდ ვერტიკალურ აჩქარებას განპირობებულს გრძივი და განივი ტალღების გავრცელების მიმართულებების ურთიერთდაახლოებით.

ვერტიკალურ სეისმურ აჩქარებათა აქსელეროგრამები (ნახაზი 6) ჰორიზონტალურის მსგავსად (იხილე ზემოთ თავი) სამი უბნისაგან შედგება. საწყისი პირველი უბანი ფორმირდება ჰიპოცენტრიდან გამოტყორცნილი გრძივი ტალღებით. მისი ამპლიტუდებისა და პერიოდების მნიშვნელობები არის მცირე სიდიდის; ძირითადი ანუ მეორე უბანი ხასიათდება რხევის ამპლიტუდების მაღალი მნიშვნელობებით, მისი პერიოდები კი უმნიშვნელოდ აღემატება ან ტოლია პირველი უბნის პერიოდების; ის ფორმირებულია განივი და სხვადასხვა ტიპის არეკლილი ტალღებით. აქსელეროგრამებზე არ ფიქსირდება საწყის ორ უბანს შორის მკვეთრი გამიჯვნა. აქსელეროგრამის საბოლოო უბნის ამპლიტუდებისთვის დამახასიათებელია მონოტონური შემცირება, ხოლო პერიოდების მნიშვნელობები მეტია საწყისი და ძირითადი უბნის შესაბამისი

²³ (ვ. ზავრიევი, შ. ნაფეტვარიძე, გ. ქარცივაძე, მ. ჯაბუა, ა. ჩურაიანი, 1980)

მახასიათებლების მნიშვნელობებზე. არც დამამთავრებელი უბანი არ არის მკვეთრად გამიჯნული მისი წინა უბნისაგან.



ნახაზი 6. სეისმური აჩქარების ჩანაწერი, როგორც სამი მონაკვეთის ერთობლიობა ძლიერ მიწისძვრებზე ინსტრუმენტული დაკვირვებების/ფიქსირების დაწყებიდან, ცალკეული ავტორების მიერ ხდებოდა ჰორიზონტალური და ვერტიკალური სეისმური აჩქარებების მიღებული მნიშვნელობებისა თანაფარდობათა ანალიზი.

ს. ვ. მედვედევა დაამუშავა²⁴ 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^{25 26 27 28} მიერ დამუშავებულ მასალაშიც, ვერტიკალური სეისმური აჩქარების მნიშვნელობები თანხვედრაშია ზემოთ მითითებულ მონაცემებთან. მიუხედავად იმისა რომ ვხვდებით ვერტიკალური სეისმური აჩქარების მნიშვნელობების ცალკეულ

²⁴ (С.В. Медведев, 1960)

²⁵ (Поляков С.В, 1983)

²⁶ (Housner G.W., Jennings P.C., 1972)

²⁷ (Takada S., Hassani N., 1995)

²⁸ (Tezean S.S., Yerlici V., Durgunoglu H.T., 1978)

„ამოვარდნებსაც“ (მაგალითად 1,3 გ დაფიქსირებული გაზლის მიწისძვრისას²⁹) ვერ იქნება ვერტიკალური აჩქარების მახასიათებელი.

დაკვირვებისა და ფიქსაციის დიდი მოცულობის მასალა ვერტიკალურ-ჰორიზონტალურ სეისმურ აჩქარებათა თანაფარდობის შესახებ მოცემულია კობეს მიწისძვრის (17.01.1995) ფუკუშიმასა და ირიკურას მიერ ჩატარებულ საინჟინრო ანალიზში³⁰. ნაშრომში სხვა საკითხებთან ერთად განხილულია ორ ასეულზე მეტი აქსელეროგრამა (ვერტიკალური/ჰორიზონტალური) სხვადასხვა ეპიცენტრალური მანძილისთვის, რომელთაგან ყველაზე მცირე ნახევარი კილომეტრის ზღვრებშია. ჩანაწერების უმეტეს ნაწილში ვერტიკალური აჩქარება ტოლი იყო ჰორიზონტალური აჩქარების დაახლოებით ნახევრის და ვერტიკალური აჩქარების მომეტებული მნიშვნელობების დაფიქსირებისას ასევე ფიქსირდებოდა თანაფარდობის ზრდისკენ ტენდენცია. დაფიქსირებულია ე.წ. „ამოვარდნებიც“ - ცალკეულ შემთხვევებში დაფიქსირებულ ვერტიკალური სეისმური აჩქარებები აჭარბებდა შესაბამის ჰორიზონტალურ აჩქარებებს. აღნიშნულის გარდა ავტორებს ჩაწერილი აქვთ საძიებო თანაფარდობის ეპიცენტრულ მანძილთან დამოკიდებულებია ემპირიული გამოსახულება.

ძლიერ მიწისძვრათა შედეგების ინჟინრული ანალიზის გზით მაქსიმალური ვერტიკალური სეისმური აჩქარების დადგენის შესაძლებლობა (ამასთან მისი მეტად მაღალი მნიშვნელობა) განიხილება³¹ -ში. მახასიათებლად რომლის საშუალებითაც ირიბად დგინდება საძიებო სიდიდე განიხილება საფლავის ქვების დაძვრა. პარალელურად განიხილება ასევე ირიბად, მხოლოდ ამ შემთხვევაში ანალიტიკური გზით ურთიერთორთოგონალურ აჩქარებათა თანაფარდობის კოეფიციენტი. ეპიცენტრული ზონისათვის ავტორები დასაშვებად თვლიან იმ გარემოებას რომ ერთ-ერთი ლოკაციისთვის ვერტიკალური სეისმური აჩქარების სიდიდე ათჯერ აჭარბებდა ჰორიზონტალურს.

ცვლადი ეპიცენტრული მანძილისთვის (5კმ-დან 270კმ-მდე), რამდენიმე ასეულ შენობასა და ნაგებობაზე და გრუნტზე მათ ქვემოთ და ირგვლივ დაფიქსირებული იქნა სეისმურ აჩქარებათა ჩანაწერები ნორტრიჯის 1994 წლის 17

²⁹ (Газлийские землетрясения 1976 г. Инженерный анализ последствий, 1982)

³⁰ (Fukushima Y., Irikura K., 1997)

³¹ (Манукян А.В., Амбарцумян В.А.)

იანვრის მიწისძვრის ³² დროს. ჩანაწერების ძირითადი ნაწილისათვის ვერტიკალური სეისმური აჩქარების მნიშვნელობა შეადგენდა ჰორიზონტალურის 2/3. ცალკეული მოკლე ეპიცენტრული მანძილებისთვის კი ტოლი ან მეტი იყო ჰორიზონტალურ აჩქარებაზე. ცალკეულ შემთხვევებში დაფიქსირდა ვერტიკალური აჩქარების ძალიან მაღალი მნიშვნელობა ან მნიშვნელობები რომლებიც აღმატებოდა იმავე წერტილში დაფიქსირებული ჰორიზონტალური სეისმური აჩქარების მნიშვნელობას.

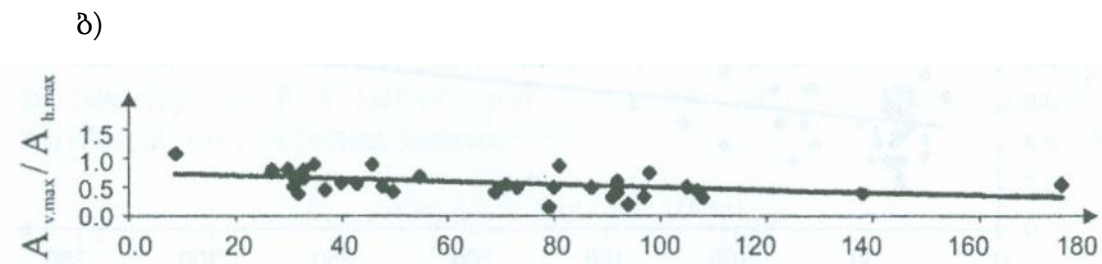
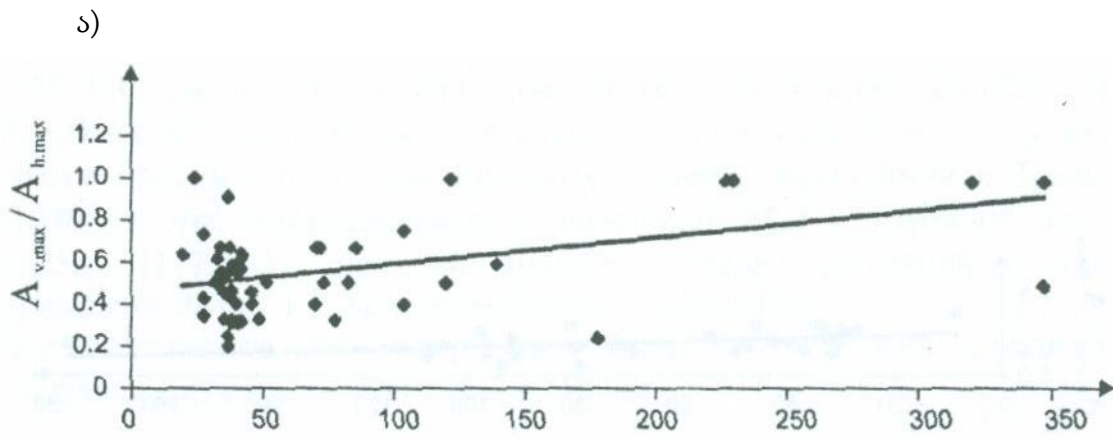
საინტერესოა ამავე მიწისძვრის დროს გრუნტსა და შენობაზე დაფიქსირებული ვერტიკალური სეისმური აჩქარებების თანაფარდობა, ასევე აღნიშნულ აჩქარებათა პერიოდების მნიშვნელობები, რომლებიც ავტორებს განხილული აქვთ ³³ [12]-ში. ეპიცენტრული მანძილი იცვლებოდა ინტერვალში [8კმ - 71კმ]; შენობების სართულიანობა 4 - 12 სართული. შენობის კონსტრუქციული ელემენტებიდან აღებულმა ვერტიკალური აჩქარებების მნიშვნელობებმა, ამავე შენობათა ფუძის გრუნტებიდან აღებულს გადააჭარბა ყველაზე მცირე 1,1-ჯერ; ყველაზე მეტი - 6,4-ჯერ. სხვადასხვა ეპიცენტრული მანძილისთვის ავტორებს ასევე აქვთ აგებული რეაქციის სპექტრები ორივე მდგენელისთვის. ავტორები დასაშვებად მიიჩნევენ ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშებისათვის შესაბამისი კოეფიციენტით შემცირებული ჰორიზონტალური სპექტრალური მრუდის გამოყენებას.

დიდი მოცულობის მასალა ჰორიზონტალური და ვერტიკალური სეისმური აჩქარებების თავისებურებებისა და თანაფარდობის შესახებ წარმოდგენილი აქვს ე.ხაჩიანს ³⁴. საკითხის დეტალური შესწავლისათვის ავტორის მიერ განიხილება ორი კალიფორნიული მიწისძვრის - სან-ფერნანდოს (9.02.1971) და ლომა-პრიეტას (17.10.1989) სამკომპონენტო ჩანაწერები. არსებული მრავალი ჩანაწერიდან მკვლევრის მიერ შეირჩა ჩანაწერები, რომლებიც დაფიქსირებული იქნა გრუნტზე „alluvium“, შესაბამისად 43 და 39 სადგურის მონაცემები. აღნიშნული მიწისძვრებისათვის მიღებული მახასიათებლებიდან ჩვენთვის საინტერესოა სურათი 7-ზე წარმოდგენილი თანაფარდობები.

³² (Shakal A.F., Huang M.J., Darragh R.B., 1995)

³³ (Bozorgnia Y., Mahin S.A., Brady A.G.)

³⁴ (Э. Хачиян, 2015)


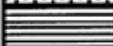


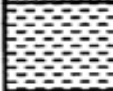

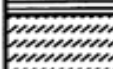


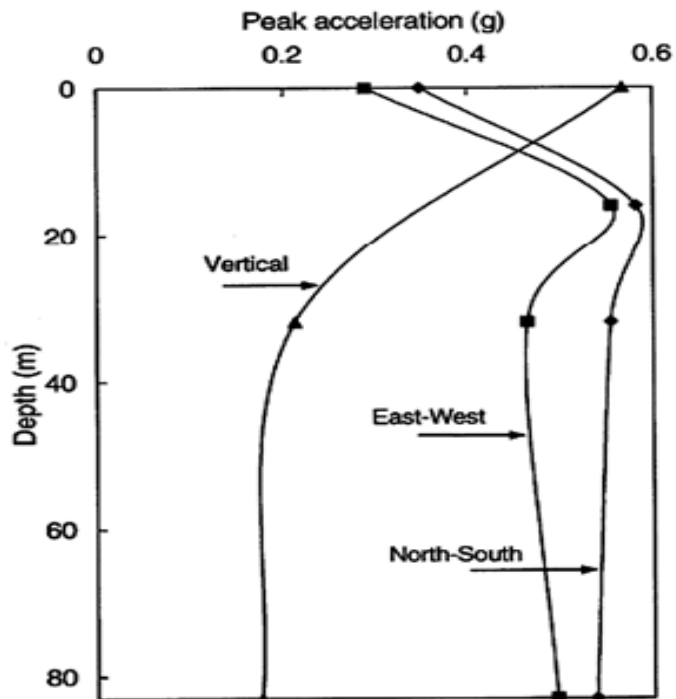
ნახაზი 7. მაქსიმალური ვერტიკალური და ჰორიზონტალური სეისმური აჩქარებების თანაფარდობის დამოკიდებულება ეპიცენტრალურ მანძილთან [28]

ავტორის მიერ მიღებული გრაფიკებიდან ჩანს რომ ვერტიკალური სეისმური აჩქარების ჰორიზონტალურთან შეფარდების მნიშვნელობა მცირდება ეპიცენტრული მანძილის ზრდასთან ერთად. სან-ფერნანდოსთვის (ნახ. 7ა) აღნიშნული თანაფარდობა იცვლება 1,2-დან 0,25-მდე, ხოლო ლომა-პრიეტასათვის (ნახ. 7ბ) 1,1-დან 0,11-მდე. ამასთან ორივე შემთხვევისთვის როდესაც ეპიცენტრული მანძილი არ აღემატება 50კმ-ს და სადაც ჰორიზონტალური სეისმური აჩქარება აღემატება 0,1გ-ს საძიებო თანაფარდობა არის არა ნაკლებ 0,7-ის.

კობეს მიწისძვრის მონაცემებმა ასევე აჩვენა³⁵ რომ პიკური ჰორიზონტალური სეისმური აჩქარებების შემცირება ხდებოდა ტალღების ზედაპირთან მიახლოებისას, ხოლო ვერტიკალური აჩქარების მნიშვნელობა კი იზრდებოდა (ნახაზი 8); შედეგად ზედაპირზე თანაფარდობა აჩქარებებს შორის იცვლებოდა 1,5-დამ 2,0-მდე, რაც არსებითად აღემატება საინჟინრო პრაქტიკაში დამკვიდრებულ 2/3-ის ტოლ სიდიდეს.

³⁵ (D. Varevac, H. Draganić, G. Gazić, 2010)

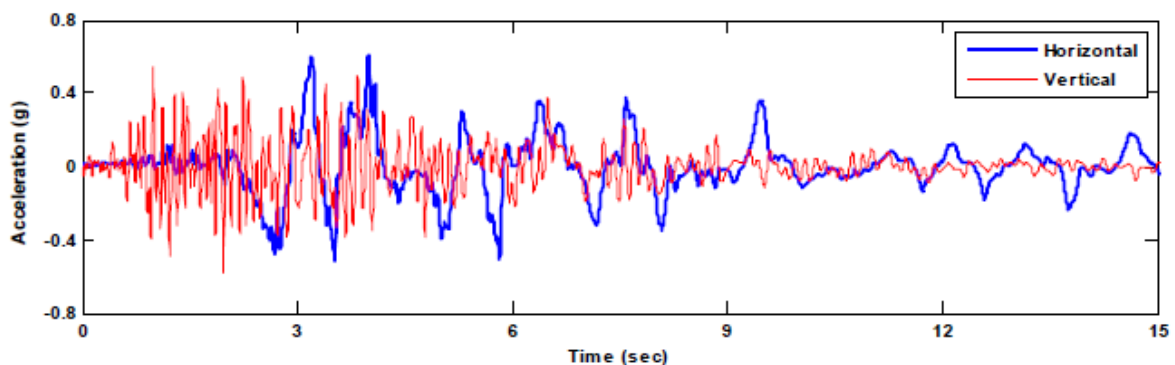
Soil Type	Soil Description
	Sandy gravel (reclaimed)
	Alluvial clay
	Alluvial sand
	Sand with gravel
	Diluvial sand
	Diluvial clay
	Sand with gravel



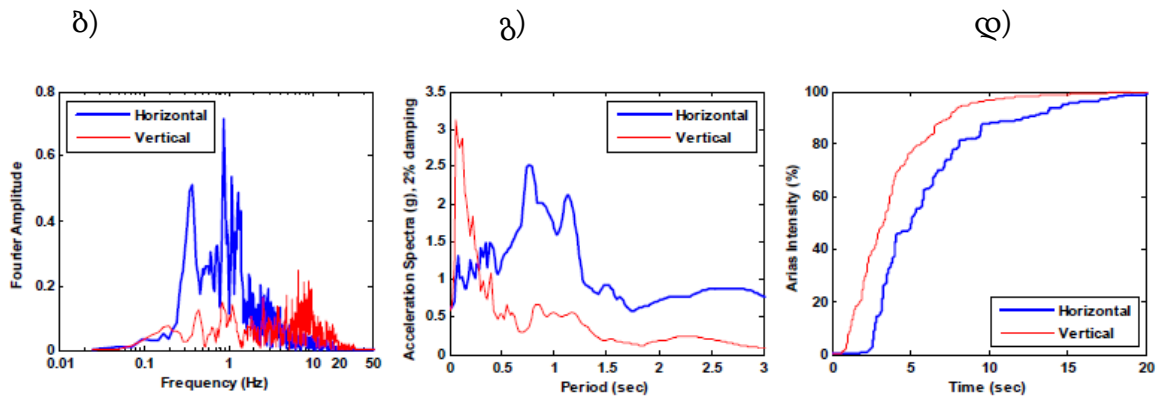
ნახაზი 8. მაქსიმალური ვერტიკალური და ჰორიზონტალური სეისმური აჩქარებების ცვლილება ზედაპირიდან სიღრმესთან მიმართებით [29]

ვერტიკალური სეისმური აჩქარებების სიხშირული სპექტრის შესახებ აღვნიშნავთ რომ ზოგადად ის ჰორიზონტალური მდგენელის იგივე მახასიათებელთან შედარებით გაცილებით მაღალსიხშირული მდგენელებით ხასიათდება. აღნიშნულს ადასტურებს მე-9 ნახაზზე წარმოდგენილი ნორტრიჯის მიწისძვრისას (17.01.1994) სიღმარის სადგურზე დაფიქსირებული აქსელეროგრამები, ფურიეს ამპლიტუდების სპექტრი, რეაქციის სპექტრი და არიესის ინტენსივობა³⁶. თუმცა ენერჯის მატარებელი სიხშირეების დიაპაზონი ვერტიკალური მდგენელისთვის ნაკლებია ჰორიზონტალურთან შედარებით და ხასიათდება ენერჯის სიხშირეთა ვიწრო ზოლში კონცენტრაციით.

ა)



³⁶ (S. J. Kim and A. S. Elnashai, 2008)



ნახაზი 9. ვერტიკალური სეისმური აჩქარებების მახასიათებლები:
 ა) აქსელეროგრამები; ბ) ფურიეს ამპლიტუდების სპექტრი; გ) რეაქციის სპექტრი; დ) არიასის ინტენსივობა³⁷.

ზემოთ წარმოდგენილი ინფორმაცია ვერტიკალურ სეისმურ აჩქარებებზე, მათ თანაფარდობებზე ჰორიზონტალურ აჩქარებებთან და დამოკიდებულებებზე მიწისძვრის სხვა მახასიათებლებთან, არის დადასტურება შენობა-ნაგებობებზე ძლიერი მიწისძვრებით წარმოქმნილ დამანგრეველ ეფექტზე მათი არსებითი გავლენის შესახებ, ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშების საჭიროებასა და მნიშვნელობაზე, აგრეთვე გაანგარიშების მეთოდებისა და ნორმატიულ დოკუმენტებში მათი ასახვის შესახებ იხილე მომდევნო პარაგრაფში.

ერთ-ერთი პირველი ვინც მიუთითებდა კონსტრუქციათა სეისმომდებლობაზე გაანგარიშებისას აჩქარების ვერტიკალური მდგენელის გათვალისწინების საჭიროებაზე ეპიცენტრული ზონისათვის, იყო ა.გ. ნაზაროვი, ეფუძნებოდა რა აშხაბადის მიწისძვრის (6.10.1948) შედეგების ინჟინრულ ანალიზს³⁸. ავტორი თვლიდა რომ ჰორიზონტალური მდგენელისთვის ჩაწერილი სეისმომდებლობის ძირითადი განტოლებები, ასევე მისაღებია ფუძის ვერტიკალური რხევის განხილვისას.

ტაშვენტის მიწისძვრამ (26.04.1966) რომლის მძიმე შედეგებშიც ნათლად იკვეთებოდა ვერტიკალური სეისმური აჩქარების გავლენა, დღის წესრიგში დააყენა აღნიშნული ეფექტის აუცილებელი გათვალისწინების საჭიროება. აღნიშნული შედეგების გათვალისწინებით საწყის ეტაპზე შემოთავაზებულ იქნა ცალკეული რეკომენდაციები³⁹. ისინი მოიცავდნენ სეისმური ზემოქმედების ორი ურთიერთორთოგონალური მდგენელების მოქმედებაზე კონსტრუქციების

³⁷ (S. J. Kim and A. S. Elnashai, 2008)

³⁸ (Назаров А.Г., 1959)

³⁹ (Рассказовский В.Т., Рашидов Т.Р., Абдурашидов К.С., 1967)

გაანგარიშებას; ეპიცენტრული ზონისათვის ვერტიკალური აჩქარების გავლენის გასათვალისწინებლად კი რეკომენდებული მეთოდის შესაბამისად განიხილება მზიდი კონსტრუქციის რხევები გრძივი მიმართულებით.

ვერტიკალური სეისმური აჩქარებისათვის სპექტრალური მრუდების აგებისთვის აღწერილია ^{40 41}-ში. ავტორები ვერტიკალურ აჩქარებათა ჩანაწერებს განიხილავენ როგორც სხვადასხვა ამპლიტუდიან ნახევარსინუსოიდათა რიგს და ადგენენ ოსცილატორის გადაადგილებებს დროის ფუნქციის სახით. მაქსიმალური გადაადგილებების შესაბამისად დგინდება მაქსიმალური აჩქარებები, რომელთა ნორმირებაც ხდება ფუძის მაქსიმალური აჩქარების შესაბამისად. ავტორების მიერ რეკომენდებული მომვლები მრუდის შესაბამისად β კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა პერიოდის 0,1 – 0,4 წმ-ების ინტერვალზე 2,5-ის ტოლია; $T=0$ -სათვის $\beta=1$. პერიოდების მომდევნო ინტერვალისთვის 1,05წმ-მდე $\beta=3,24-1,85T$; დამამთავრებელი უბნისთვის კი $\beta=1.3$.

სპექტრალური მრუდები სეისმური აჩქარების ვერტიკალური მდგენელისათვის ⁴² -ში მიიღება ზემოთ აღწერილი დეტერმინირებული მიდგომისაგან განსხვავებული გზით. კერძოდ სეისმური პროცესების ალბათური აღწერის საფუძველზე. ფუძის სეისმური აჩქარებისათვის (განხილულია ვერტიკალური მდგენელის 12 ჩანაწერი), როგორც სტაციონარული ერგოდიული შემთხვევითი პროცესისათვის აგებულია კორელაციური ფუნქციები, ვ.ტ. რასსკაზოვსკის მიერ ჰორიზონტალური მდგენელისათვის დამუშავებული მეთოდის ⁴³ მიხედვით. მიღებული ემპირიული კორელაციური ფუნქციების აპროქსიმაცია ხდება (II.3.2) გამოსახულებით. დათვლილია შესაბამისი სპექტრალური სიმკვრივები. შემდგომ ამისა β მრუდის მიღება დაფუძნებულია სისტემაში „შესვლაზე,, და სისტემიდან (ოსცილატორი) „გამოსვლაზე,, სპექტრალურ სიმკვრივებს შორის არსებულ კავშირზე (იხ.თავი I, აგრეთვე ²⁰). მიღებულია β მრუდები რხევის დეკრემენტის სამი $\beta = 0,15; 0,3; 0,5$ მნიშვნელობებისათვის. გრაფიკებიდან ჩანს რომ 0,1 - 0,5 ზღვრებში ისინი ნორმატიული მრუდებისაგან მცირედ განსხვავდებიან 0,5-დან კი აღემატებიან მას.

⁴⁰ (Ашрабов А.Б., Рассказовский В.Т., Мартемьянов А.И., 1968)

⁴¹ (Мартемьянов А.И., Широ́ва З.Х.)

⁴² (E. Rosenblueth, J.I Bustamante, 1962)

⁴³ (Рассказовский В.Т., Рашидов Т.Р., Абдурашидов К.С., 1967)

44 და 20-ში აღწერილი მეთოდების შესახებ ზემოთ აღნიშნულიდან შეიძლება გაკეთდეს დასკვნა რომ ავტორები რჩებიან რა კონსტრუქციის სეისმომდეგობაზე გაანგარიშების სპექტრალური მეთოდის ჩარჩოებში, საჭიროდ თვლიან ვერტიკალური მდგენელისათვის სპექტრალური მრუდების კორექტირებას და ამ გზით ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე კონსტრუქციათა გაანგარიშების შემდგომ დაზუსტებას. გადადგილების, სიჩქარისა და აჩქარების სპექტრები სინქრონულად ჩაწერილი სამი (ორი ჰორიზონტალური და ვერტიკალური) მდგენელისათვის მიღებული აქვს ა. ხაჩიანს ⁴⁵, ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანაზე ოსცილატორის რეალურ აქსელეროგრამებზე გაანგარიშების მეთოდით. სულ განხილულია 4 მიწისძვრის შესაბამისი 12 ჩანაწერი. მიღებული შედეგები ავტორს აძლევს საშუალებას გაკეთდეს შემდეგი დასკვნები: ვერტიკალური მდგენელის განსახილველი სპექტრალური პარამეტრები ყოველთვის ნაკლებია შესაბამის ჰორიზონტალურზე; მეორე და მეტად საყურადღებო დასკვნის მიხედვით, რამდენადაც ნაგებობათა ვერტიკალური რხევების პერიოდი რამდენჯერმე ნაკლებია ჰორიზონტალურ რხევათა პერიოდზე, ამდენად ნაგებობის ვერტიკალური მიმართულებით აღძრული აჩქარებები მნიშვნელოვნად აჭარბებენ აჩქარებათა მნიშვნელობებს ჰორიზონტალური მიმართულებით. ასე მაგალითად, 1,5 წამის და 0,3 წამის შემთხვევაში ავტორის მიერ მიღებული ვერტიკალური აჩქარების შესატყვისი სპექტრალური მრუდის ორდინატები, შესაბამისად 2,4-ჯერ და 2,9-ჯერ აღემატებიან ჰორიზონტალური მდგენელების სპექტრთა შესაბამისი ორდინატების მნიშვნელობებს. ეს კიდევ ერთხელ მიუთითებს აჩქარების ვერტიკალური მდგენელის გათვალისწინების მნიშვნელობაზე.

ზემოთ მოყვანილი ანალიზი ნათელი დადასტურებაა იმ მნიშვნელობისა რაც გააჩნია სეისმური დატვირთვის ვერტიკალურ კომპონენტს კონსტრუქციის მუშაობისას მიწისძვრის დროს.

ძლიერ მიწისძვრათა შედეგების ინჟინრული ანალიზი განსაკუთრებით ეპიცენტრული ზონებისათვის, უმრავლეს შემთხვევებში მიგვითითებს სეისმური აჩქარების ვერტიკალურ მდგენელზე, როგორც შენობის/მისი ცალკეული

⁴⁴ (Рассказовский В.Т., 1973)

⁴⁵ (Э. Хачиян, 2015)

ელემენტების დაზიანების/ნგრევის ერთ-ერთ ძირითად განმაპირობებელ ფაქტორზე. ზემოქმედების აღნიშნული ტიპი განსაკუთრებით საშიშა დიდმალიანი შენობებისათვის/ნაგებობებისათვის რომელთა დაპროექტება და მშენებლობა ინტენსიურად ხდება სეისმოაქტიურ რეგიონებში.

რეიზი და სარია იყვნენ მკვლევრები, ვინც შეისწავლა სამრეწველო ნაგებობათა დიდმალიანი ფერმებზე ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიწისძვრის ზემოქმედება.⁴⁶ მათ ეს კვლევა SAP 2000-ით ჩაატარეს და დაასკვნეს რომ ვერტიკალური კომპონენტი გაცილებით მნიშვნელოვანი იყო ვიდრე ჰორიზონტალური. დიდმალიან სტრუქტურებს შეიძლება ჰქონდეს კრიტიკული ბიძგის, რხევის ფაქტორი, რომელიც 5%-ზე ნაკლებია (1,5-2% მდე). ენერჯის კარგვამ შესაძლოა გამოიწვიოს გარკვეული წევრების მარაგების შემცირება.

იზოლაციის მქონე სტრუქტურების რეაგირება ვერტიკალური აჩქარების ეფექტზე იყო მაზასა და ვულკანოს სტატია.⁴⁷ მათ იანგარიშეს სეისმოიზოლაციის მქონე 5 სართულიანი სახლი. შეისწავლეს ვერტიკალური და ჰორიზონტალური აჩქარების მნიშვნელობები და დაასკვნეს, რომ როდესაც გათვალისწინებულია გრუნტის ვერტიკალური აჩქარება იზოლატორს შეუძლია დამაბულობის შემცირება. ჰისტოგრამა აჩვენებს რომ როდესაც განცალკევების ადგილი იგნორირებულია, დატვირთვა მერყეობს.⁴⁸

ბერნსომ კალიფორნიაში მომხდარი 5 მიწისძვრის ვერტიკალური ვიზრაცია შეისწავლა და გამოთქვა აზრი, რომ მკუმშავმა P ტალღებმა შესაძლოა გავლენა იქონიოს ვერტიკალურ კომპონენტზე.

რობინსონმა კვლევა ჩაატარა 4, 12 და 24 სართულიან შენობებზე და დაასკვნა რომ ვერტიკალური მიწისძვრის კომპონენტი ზრდის მდუნავ მომენტს რიგელებში და ღერძულ ძალებს სვეტებში. ამიტომ ეს ფაქტორები აუცილებლად უნდა იყოს გათვალისწინებული საანგარიშო მოდელის აგებისას.⁴⁹

⁴⁶ (Ruiz D and Sarria A., 2004)

⁴⁷ (Mazza F and Vulcano A., 2004)

⁴⁸ (Brian E KEHOE And Mourad R, 2000)

⁴⁹ (Robinson, W.H., and McVerry, G.H., 1993)

თავი 2. დიდმალიანი კონსტრუქციები საწარმოო და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობებში

2.1 დიდმალიან კონსტრუქციათა კლასიფიცირების შესახებ

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). მომდევნო პერიოდში და დღემდე არის მიმართება საერთო კლასიფიცირებისკენ, საკითხის ნორმატიულ რეგულირებად გადასაწყვეტად. ასეთი რეგულირების^{50 51} შესაბამისად დიდმალიან კონსტრუქციებად ჩათვლილია შენობათა და ნაგებობათა სამშენებლო კონსტრუქციები, რომელთან მალი ტოლია ან აღემატება:

- 18 მ-ს სამოქალაქო შენობა-ნაგებობებისათვის;
- 30 მ-ს სამრეწველო შენობა-ნაგებობებისათვის;

ამავე კლასიფიკაციად დიდმალიან კონსტრუქციებს მიეკუთვნება 9 მ და მეტი სიგრძის კონსოლები.

⁵⁰ (Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений, 2018)

⁵¹ (РАЗРАБОТАНЫ лабораторией металлических конструкций ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко - филиалом ФГУП "НИЦ "Строительство")

მალების აღნიშნული კლასიფიკაცია ასევე მოითხოვს მისი ზედა ზღვრის მითითებას, რაც გადაწყვეტილია ობიექტის სახელდებით, როგორც უნიკალური სამშენებლო ობიექტი. ეს უკანასკნელი განსაზღვრულია ობიექტის მნიშვნელობითა (მუდმივად და დროებით მასში მყოფი ადამიანების რაოდენობა; მორალური და მატერიალური ზარალი ავარიის შემთხვევაში) და ტექნიკური სირთულით. ამ უკანასკნელი კრიტერიუმით კი უნიკალურ ობიექტებს აკუთვნებენ შენობა-ნაგებობებს რომელთა მალეზიც არის 60 მ და მეტი, ახალი კონსტრუქციული გადაწყვეტილებისას და 100 მ და მეტი პრაქტიკაში არსებული გადაწყვეტების მსგავსი კონსტრუქციული გადაწყვეტების შემთხვევაში.

ასევე ნორმების მიხედვით, იმ სიბრტყეების რაოდენობის მიხედვით, რომლებშიც კონსტრუქციები მუშაობენ დატვირთვაზე, დიდმალიანი კონსტრუქციები იყოფა ორ ჯგუფად:

- ბრტყელი (კოჭები, წამწეები, ჩარჩოები, თაღები) - მუშაობენ მხოლოდ ვერტიკალურ სიბრტყეში;

- სივრცული (გარსები, შეკიდული სისტემები, სივრცული ღეროვანი კონსტრუქციები და ა.შ) - მუშაობენ ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ სიბრტყეებში.

გადახურვის ზემოთ ხსენებული ბრტყელი სისტემები უმეტესად გამოიყენება სწორკუთხა გეგმარების, მაგრამ დიდმალიან შენობებში. ამასთან უნდა აღინიშნოს რომ ბრტყელი დიდმალიანი კონსტრუქციები შედარებით მარტივი დამზადების ტექნოლოგიით, ტრანსპორტირებითა და მონტაჟით ხასიათდებიან და შესაბამისად ფართოდ გამოიყენებიან სამშენებლო სექტორში. იგივე მახასიათებლები სივრცული კონსტრუქციებისთვის შედარებით სირთულით ხასიათდება. ამდენად ისინი პირველთან შედარებით ნაკლებად გამოიყენება.

აქვე უნდა აღვნიშნოთ რომ დიდმალიან კონსტრუქციათა ზემოთ აღნიშნული დაჯგუფება წარმოადგენს უნივერსალურ მაკლასიფიცირებელ ნიშანს.

ზოგადად დიდმალიანმა გადახურვებმა უნდა იმუშაოს დატვირთვის ნებისმიერ ტიპზე/ტიპებზე. უმეტეს შემთხვევებში გადახურვის ამ ტიპის კონსტრუქციები არის მხოლოდ საკუთარი წონის, კლიმატური და სეისმური ზემოქმედებების ქვეშ. მხოლოდ ცალკეული კონსტრუქციული

შემთხვევებისათვის შეიძლება დამატებით მოქმედებდეს ტემპერატურული, ტექნოლოგიური, წინასწარ დაძაბვის, სამონტაჟო და ა.შ მიუხედავად ამისა მოქმედი დატვირთვებისგან ამ ტიპის კონსტრუქციებისთვის ჩვენი რეგიონის პირობებში გარდა უხვთოვლიანი მთიანი მხარეებისა, არსებით დატვირთვას წარმოადგენს დატვირთვა საკუთარი წონისგან და სეისმური ზემოქმედებისგან.

გამომდინარე ჩვენი საკვლევი თემიდან (ვერტიკალური სეისმური ზემოქმედება კონსტრუქციულ ელემენტებზე) და დიდმალიანი კონსტრუქციების ზემოთ აღწერილი კლასიფიციიდან (მაკლასიფიცირებელ ნიშნებთან მიკუთვნება), დიდმალიან კონსტრუქციებად განვიხილავთ კონსტრუქციულ ელემენტებს, ძალით 24-60 მ ინტერვალში.⁵² აღნიშნული ტიპის ლითონის კონსტრუქციული ელემენტები ფართოდ არის გავრცელებული სამრეწველო/საწარმოო და სამოქალაქო დანიშნულებით შენობა-ნაგებობებში. მათი კონსტრუქციული გადაწყვეტების და სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშების შესახებ იხილეთ მომდევნო 2.2 და 2.3 პარაგრაფებში.

2.2 დიდმალიანი ერთსართულიანი საწარმოო და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობები - კონსტრუქციული გადაწყვეტების შესახებ

დიდმალიანი კონსტრუქციული ელემენტები, რომლებიც ჩვენი განხილვის სფეროში ხვდება (იხილეთ ზემოთ § 2.1) ძირითადად გამოიყენება ერთსართულიანი საწარმოო და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობებში და წარმოადგენენ გადახურვის მზიდ კონსტრუქციულ ელემენტებს (სურათი 1.ა,ბ,გ) 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.

ლითონის კონსტრუქციების გამოყენების ფართო არეალს წარმოადგენს ერთსართულიანი ლითონის მზიდ კარკასიანი შენობები. ლითონის კონსტრუქციებით დაპროექტებული შენობების 70% მსგავს შენობებს მიეკუთვნება,

⁵² (International building code, 2015)

რომლებიც ძირითადად არის სამრეწველო შენობები, საწყობები და სავაჭრო ცენტრები.⁵³

ლითონის ერთსართულიანი კარკასის მქონე შენობები იყოფა ორად: მძიმე ინდუსტრიული, რომელიც ასოცირდება პირქუშ ექსტერიერთან და სხვა დანიშნულების მქონე შენობებად, რომლებიც ესთეტიკურად უფრო მისაღები და შედარებით მარტივად ასაწყობი მსუბუქი კონსტრუქციაა.



ნახაზი 10. გადახურვის ფოლადის მზიდი კონსტრუქციები - ა) ფოლადის ბრტყელი ტრაპეციული ფერმები



ნახაზი 11. გადახურვის ფოლადის მზიდი კონსტრუქციები - ფოლადის ბრტყელი კოჭოვანი ფერმები

⁵³ (owens, Buick Davison and Graham W., 2003)



ნახაზი 12. გადახურვის ფოლადის მზიდი კონსტრუქციები - ფოლადის ბრტყელი კოჭოვანი ფერმები

კონსტრუქციული გადაწყვეტა მრავალნაირი შეიძლება იყოს, მაგრამ მისი არჩევა ძირითადად განპირობებულია შენობის დანიშნულებით. სამშენებლო კონსტრუქციებში ფოლადის ხარჯის ნახევარზე მეტი მოდის ჩარჩოებზე, ამიტომ ჩარჩოს კონსტრუქციული გადაწყვეტისას, გარდა სიმტკიცისა და მდგრადობისა, ის ასევე ოპტიმალური და ეფექტური უნდა იყოს ეკონომიკური თვალსაზრისით. თანამედროვე დაპროექტების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კრიტერიუმი მშენებლობის დროისა და ღირებულების შემცირებაა.

ეს დიდწილად მიიღწევა კონსტრუქციების უნიფიცირებული ტიპური გადაწყვეტების ჩამოყალიბებით. ის საშუალებას იძლევა:

- შემცირდეს პროექტირების დრო;
- შემცირდეს სამონტაჟო ელემენტების რაოდენობა;
- გადასაზიდი სტანდარტული ელემენტების გავრცელების გამო, სამშენებლო

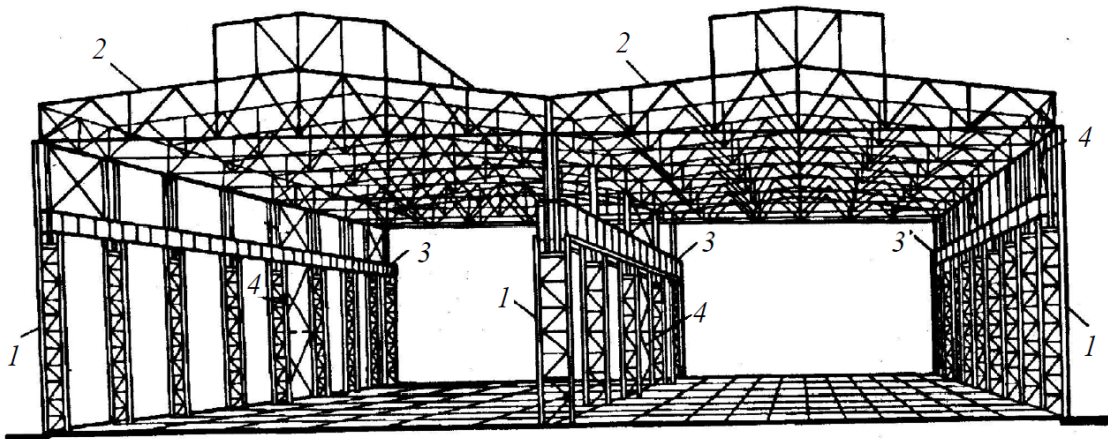
მოედანზე შემცირდეს კონსტრუქციის აწყობის დრო.

ერთსართულიანი სამრეწველო შენობის ფოლადის ჩარჩო არის კონსტრუქციული ელემენტების ერთ-ერთი, რომლებიც ერთმანეთთან არის დაკავშირებული და წარმოქმნის გეომეტრიულად უცვლელ სისტემას. ჩარჩოს

ძირითადი ელემენტებია სვეტები, წამწები, ამწის კონსტრუქციები, სარტყელი, კავშირები (ნახ. 13).

ჩარჩოები შეიძლება იყოს ერთსაფეხურიანი და მრავალსაფეხურიანი, მუდმივი ან ცვალებადი სიმაღლით.

ნახაზზე 13, მოცემულია მზიდი კარკასის ზოგადი სქემა, მისი შემადგენელი ელემენტებით.



ნახაზი 13. ორსაფეხურიანი სამრეწველო ნაგებობის ჩარჩოს სტრუქტურული სქემა: 1 - სვეტები; 2 - წამწები; 3 - ამწქვეშა კოჭები; 4 - სვეტებს შორის კავშირები.

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

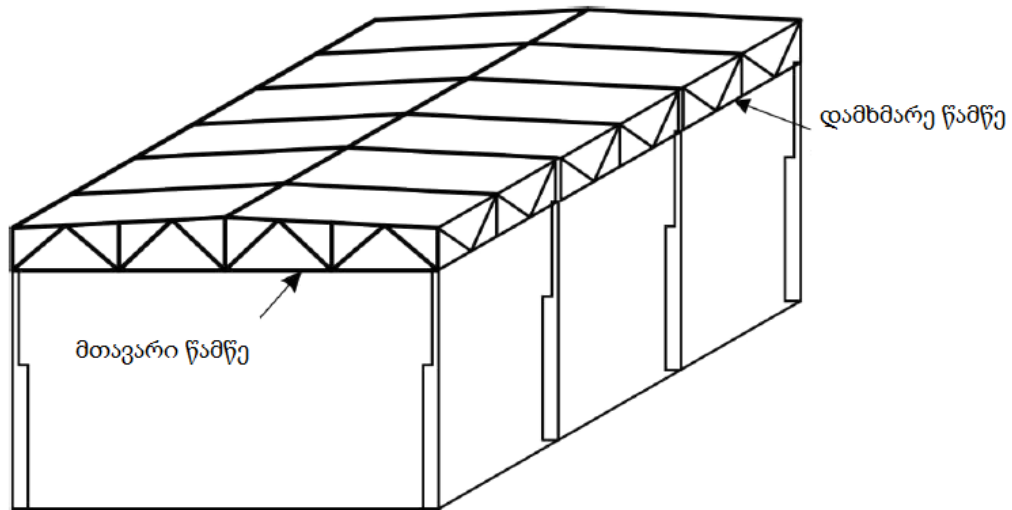
რეკომენდებულია მსუბუქი შემომზღუდავი კედლის კონსტრუქციების გამოყენება, როგორცაა ეფექტური იზოლაციის მქონე სენდვიჩ პანელები. ეს მნიშვნელოვნად ამცირებს მუდმივ დატვირთვას, რაც ლითონის ხარჯის შემცირებას ნიშნავს.

ფოლადის წამწები მზადდება მილკვადრატებისგან, წრიული მილებისგან ან სხვა ნაგლინი პროფილებისგან. მცირე მალეებისათვის ეფექტურია თხელკედლიანი პროფილების გამოყენება.

სამრეწველო შენობების უნიფიცირებულ პროექტებში ყველაზე ხშირად გამოყენებულია კუთხოვანისგან შექმნილი წამწები.

ერთსართულიანი ლითონის მზიდი კარკასისთვის შენობის მალი, სიგრძე და სიმაღლე ძირითად ზომებად ითვლება. სვეტების მწკრივებს შორის მანძილი არის

დამხმარე წამწის სიგრძე. მათი სიდიდის დანიშვნა როგორც აღვნიშნეთ შენობის დანიშნულების მიხედვით ხდება, მაგრამ ადრე კიდევ ერთი განმაპირობებელი ფაქტორი არსებობდა - მოდულის პრინციპი. ეს ნიშნავდა რომ ყველა სიდიდე უნდა ყოფილიყო 3 და 6 მეტრის ჯერადი. შესაბამისად, ხშირ შემთხვევაში, წამწეები დაპროექტებული იყო 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36 და ა.შ მეტრი მალისათვის. სვეტების სიმაღლე კი - 6, 12 და 18 მ.⁵⁴ ამჟამად ეს მოდულები აღარ მოქმედებს.



ნახაზი 14. სვეტებზე დაყრდნობილი წამწეები

ტექნოლოგიური პროცესის მომსახურებისთვის, როგორც წესი, საჭიროა ამწის აღჭურვილობა: ხიდურა ან დაკიდული ამწეები. ხიდურა ამწეები დამონტაჟებულია ამწქვეშა კოჭებზე ან წამწეებზე; დაკიდული ამწეები - დაკიდულია წამწის ქვედა სარტყლებზე.

განივი ჩარჩოს სიმაღლე განისაზღვრება ამწის რელსის თავის აწევით და ხიდურა ამწის ვერტიკალური ზომებით. იატაკის მოპირკეთების დონიდან ფერმის კონსტრუქციის ძირამდე მანძილი შენობის სასარგებლო სიმაღლეა.

კარკასის განივი მიმართულების ჩარჩოს სვეტების გარდა, კონსტრუქციული ელემენტების ერთმანეთთან დასამაგრებლად და სიხისტის შესაქმნელად, შესაძლოა გამოყენებული იყოს ჯვარედინი დიაფრაგმები.

ხისტ ჩარჩოიანი წამწე არის სტრუქტურული ჩარჩოს ტიპი, რომელიც შედგება ურთიერთდაკავშირებული ელემენტებისგან, რომლებიც წინააღმდეგობას უწევს

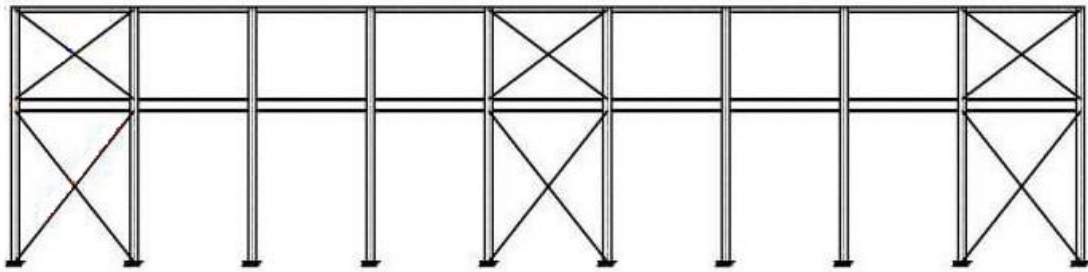
⁵⁴ (Копытов., 2012)

ღუნვასა და მგრეხ ძალებს. "ხისტი ჩარჩო" ნიშნავს იმას, რომ ელემენტებს შორის კავშირები ხისტია და არ იძლევა მოძრაობისა და ბრუნვის საშუალებას.

კავშირები განაპირობებს კარკასის ერთიან, სივრცული სისტემის გეომეტრიულ უცვლელობას, ელემენტების მდგრადობას, მონტაჟსა და ექსპლუატაციას. ის ასევე განაპირობებს კარკასზე მოქმედი დატვირთვების მზიდ ელემენტებზე გადანაწილებას, საძირკველზე მათი შემდგომი გადაცემისთვის.

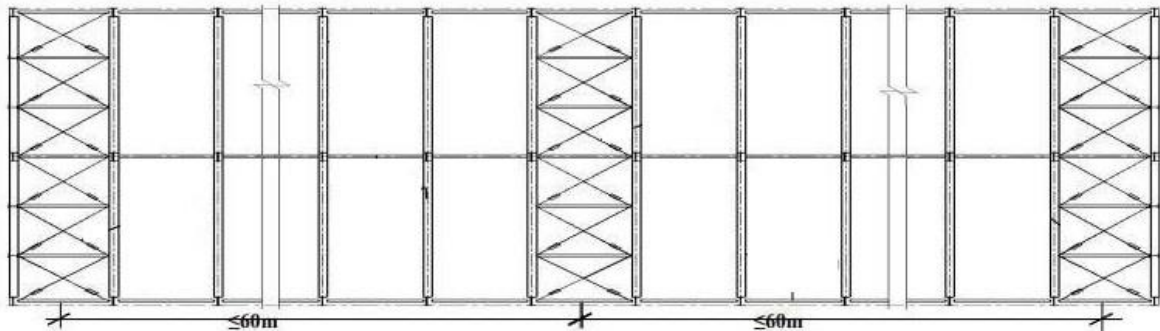
სამრეწველო შენობის კარკასებში კავშირები ეწყობა:

- კოლონებს შორის (ნახ. 15) და მათ კოლონებს შორის ვერტიკალურ კავშირებსაც უწოდებენ.



ნახაზი 15. კავშირი კოლონებს შორის ⁵⁵

- კავშირები სახურავის გასწვრივ, რომელიც უზრუნველყოფს წამწის შეკუმშული ელემენტების მდგრადობას.



ნახაზი 16. კავშირები წამწის სარტყლის სიბრტყეში ⁵⁶

ხისტი ჩარჩოს წამწეები ხშირად გამოიყენება დიდი ზომის ნაგებობებში, როგორცაა საწყობები, სამრეწველო შენობები და ხიდები, სადაც მოქმედებს დიდი დატვირთვები და კონსტრუქციები დიდმალიანებია. ხისტი ჩარჩოს წამწის

⁵⁵ (The Specification Of Portal Steel Frame Buildings, 2023)

⁵⁶ (Trusses, 2023)

ელემენტები, როგორც წესი, დამზადებულია ფოლადისგან ან სხვა მაღალი სიმტკიცის მასალებისგან.

ხისტი ჩარჩოს ერთ-ერთი მთავარი უპირატესობა მისი სიმტკიცე და სტაბილურობაა. იმის გამო, რომ ელემენტებს შორის კავშირები ხისტია, წამწეს შეუძლია გაუძლოს როგორც ღუნვის, ისე გრეხის ძალებს, რაც შეეფერება კონსტრუქციებს, რომლებიც ექვემდებარება დიდ დატვირთვასა და ქარის ან მიწისძვრის ძალებს.

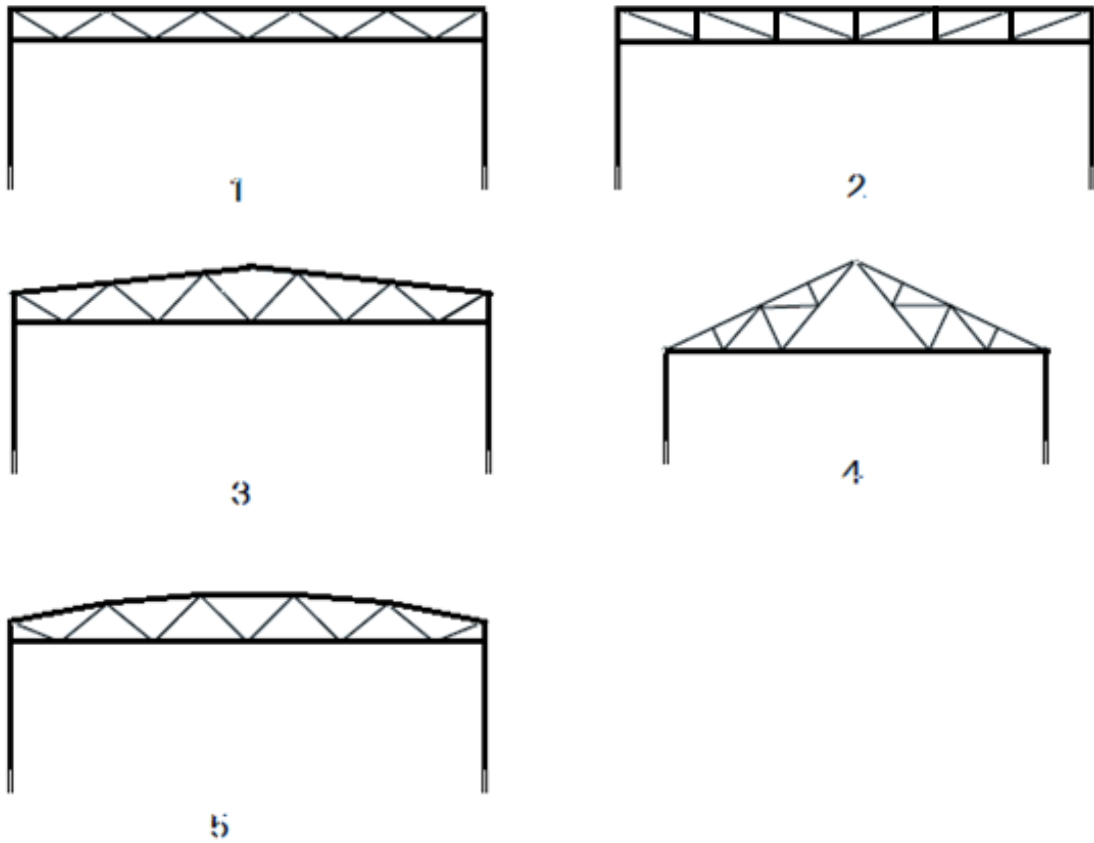
თუმცა, ხისტი ჩარჩოს წამწეების კონსტრუქცია, შეიძლება იყოს რთული და მოითხოვს დიდ გამოცდილებას. ელემენტებს შორის კავშირები საგულდაგულოდ უნდა იყოს დაპროექტებული, რათა უზრუნველყოფილი იყოს მათი სიმტკიცე და მდგრადობა მისი საექსპლუატაციო დროის განმავლობაში.

ჩარჩოს მუშაობაზე გავლენას ახდენს გარემოს აგრესიულობის ხარისხი, ტემპერატურა და ამწე აღჭურვილობის მუშაობის რეჟიმი, რომელიც ხასიათდება მისი მუშაობის ინტენსივობით. დაპროექტებისას ეს გარემოებები მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული.

დადგენილია გარემოს აგრესიულობის 4 ხარისხი. ისინი ხასიათდებიან კოროზიის სიჩქარით. არააგრესიულ გარემოში დაუცველი ლითონის კოროზიის სიჩქარეა 0,01 მმ/წელიწადში, ოდნავ აგრესიულ გარემოში - 0,05 მმ/წელიწადში, საშუალო აგრესიულ გარემოში - 0,1 მმ/წელიწადში. უაღრესად აგრესიული გარემო - 0.1 მმ-ზე მეტი წელიწადში. უაღრესად აგრესიული გარემოს მქონე შენობების დაპროექტებისას ყურადღება უნდა მიექცეს კოროზიისადმი მდგრადი ფოლადის კლასის არჩევას.

ერთსართულიანი სამრეწველო შენობები, როგორც წესი, პასუხისმგებლობის II კლასია. ნორმის მიხედვით, ამ შემთხვევაში, სტრუქტურების გაანგარიშებისას მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული პასუხისმგებლობის უსაფრთხოების ფაქტორი $\gamma_n = 1.0$. პასუხისმგებლობის კლასს ადგენს მთავარი კონსტრუქტორი. პასუხისმგებლობის გაზრდილი დონისთვის $\gamma_n = 1.1$; შემცირებისთვის - $\gamma_n = 0.8$.

დიდძალიან კონსტრუქციათა მრავალი გეომეტრიული ფორმა არსებობს. ერთსართულიანი დიდძალიან კონსტრუქციათა ზოგიერთი გავრცელებული ტიპი ნაჩვენებია ნახაზი 17-ზე.



ნახაზი 17. 1 - W ტიპის წამწე; 2 – N ტიპის წამწე; 3 - ტრაპეციული; 4 - სამკუთხა; 5 - მრუდხაზოვანი (თალოვანი).

წამწეები გამოიყენება დიდმალიან შენობა-ნაგებობებში, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც მნიშვნელოვანია წამწის ვერტიკალური ჩალუნვის კონტროლი და როდესაც გადახურვის კონსტრუქციამ მნიშვნელოვანი დატვირთვა უნდა გადაიტანოს საყრდენ კვანძებზე.

ჩარჩოს გეომეტრიული ზომები შენობის სიგრძე, სიმაღლე და სიგანეა. გეომეტრია დამოკიდებულია საწარმოო შენობის ტექნოლოგიურ პროცესზე და დგინდება საპროექტო მონაცემების მიხედვით.

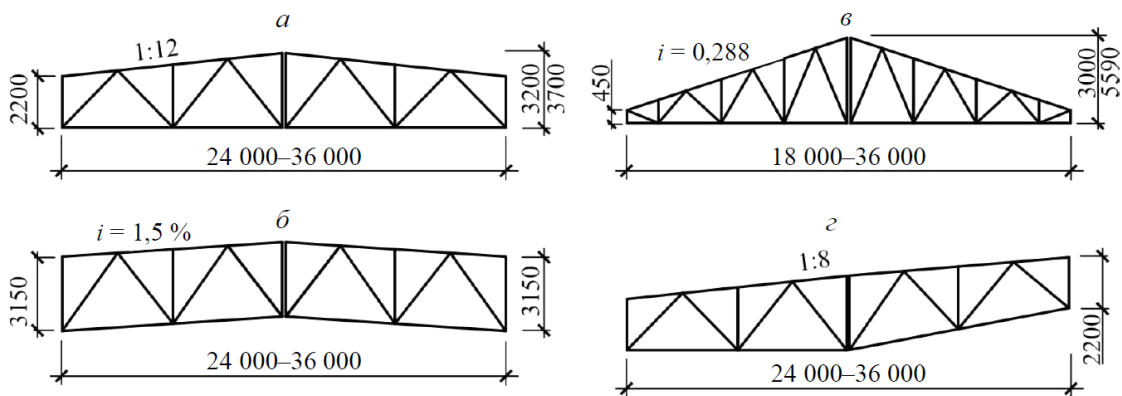
სამრეწველო შენობებისთვის გავრცელებულია შემდეგი ტიპის წამწეები: W-წამწე, N-წამწე და ორსაფეხურიანი წამწეები. მე-4 ტიპის წამწე, ძირითადად გამოიყენება უფრო მცირე ზომის მალეებისთვის. W-წამწისა და N-წამწის ტიპის შედარება:

- W-წამწის ელემენტებს შორის უფრო დიდი სივრცე რჩება.
- W-წამწის ელემენტები შეიძლება იყოს უფრო დიდი, რადგან გრძელი დიაგონალური წევრები უზრუნველყოფს შეკუმშვის ძალებზე მუშაობას. N-წამწეში შეკუმშული ელემენტები მოკლეა.

პროექტირების დროს, სამონტაჟო ელემენტების რაოდენობისა და სამშენებლო მოედანზე კონსტრუქციის მონტაჟის დროის შესამცირებლად, საჭირო გახდა წამწეთა უნიფიცირება, რაც გულისხმობს სტანდარტული სერიების შექმნას, რომლებიც განხილულია ქვემოთ და აქტიურად გამოიყენებოდა გასულ საუკუნეში.

მაგალითად, PK-01-133 სერიაში შემუშავებულია პარალელურ სარტყელებიანი წამწეთა კონსტრუქციები. ამ წამწეების სიმაღლეა 3,15 მ, ხოლო დახრა 1.5%. PK-01-125 სერიაში კი შემუშავდა დამხმარე მიმართულების წამწეები.

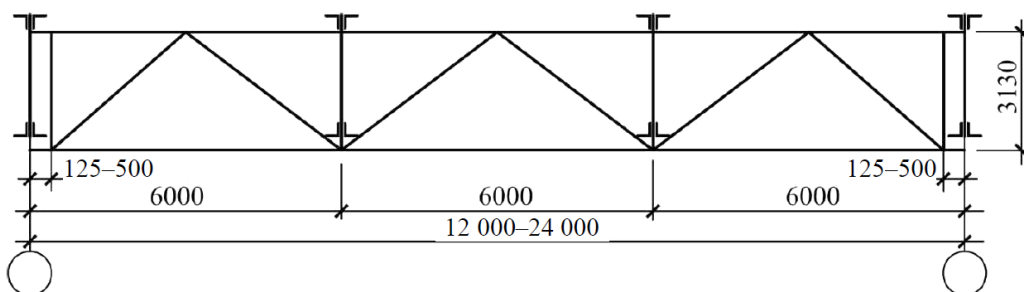
გასული საუკუნის 60-იან წლებში შემუშავებული წამწეთა სერიის სქემები ნაჩვენებია ნახ. 18 და 19-ზე.



ნახაზი 18. PK-01 სერიის ტიპური უნიფიცირებული წამწეები

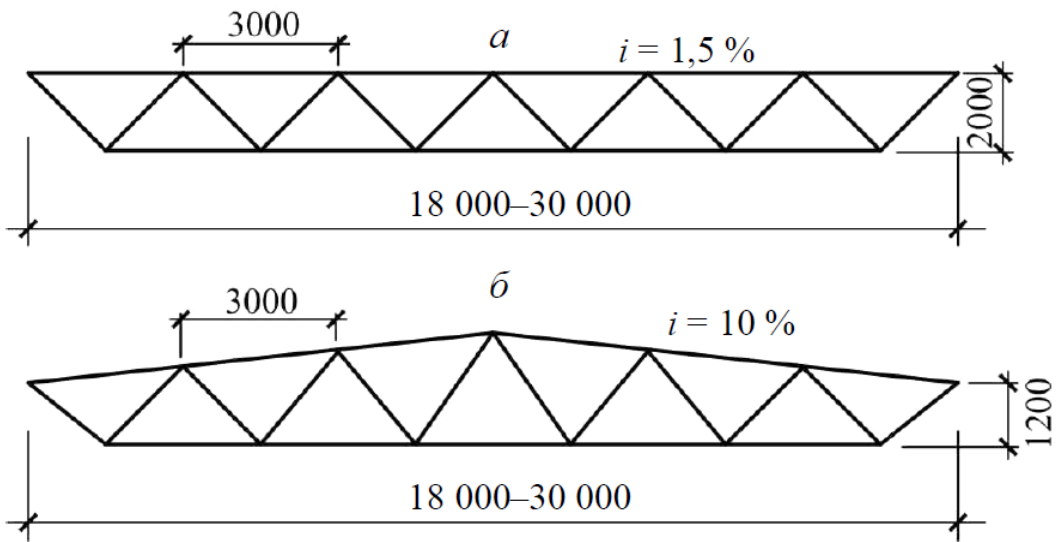
ამ სერიის წამწის კონსტრუქციები განკუთვნილია რკინაბეტონის ფილების დასაყრდნობად, რომელთა ზომებია 6 და 12 მ ან ამაზე მძიმე კონსტრუქციისთვის.

თანამედროვე სტანდარტის წამწეები, როგორც წესი, პარალელურ სარტყელებიანია და ზედა სარტყლის დახრილობა 1,5 და 2,5%-ია.



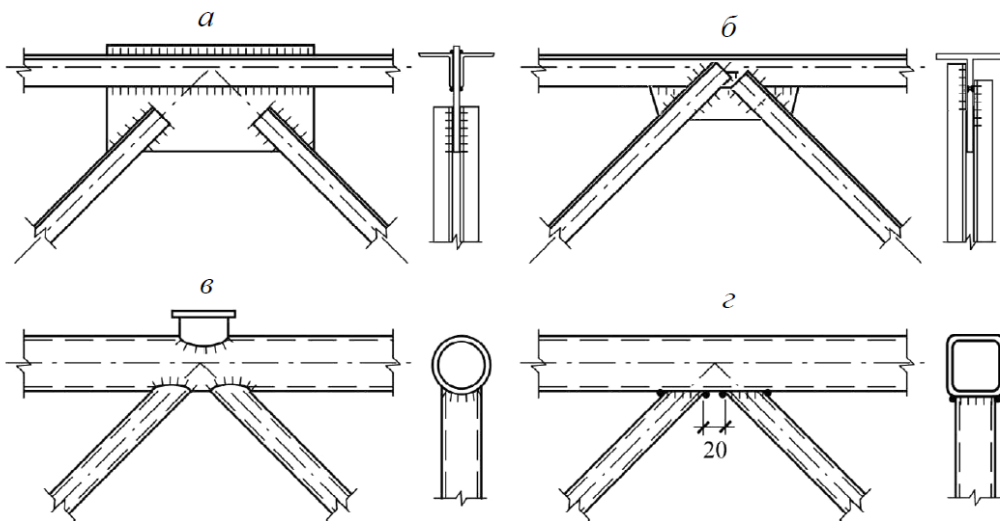
ნახაზი 19. ტიპური უნიფიცირებული გრძივი მიმართულების წამწე

ნახაზი 20 და 21-დ-ზე მოცემულია „Molodechno“ ტიპის ფერმები.



ნახაზი 20. „Molodechno“ ტიპის სახურავის ფერმები.

ქვემოთ ნაჩვენებია სხვადასხვა განივკვეთის ღეროების მქონე წამწეების ტიპური კვანძები:



ნახაზი 21. წამწის კვანძები:

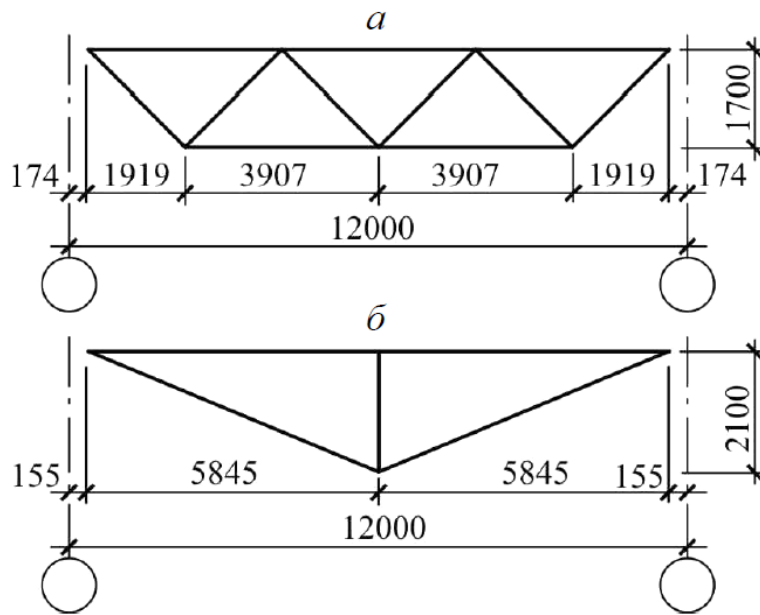
ა - დაწყვილებული კუთხოვანები

ბ - ფართო თარობიანი

გ - წრიულ მილებიანი

დ - ერთმანეთთან შედუღებული მილკვადრატის პროფილები.

ქვემოთ ნაჩვენებია შენობის გრძივი მიმართულებით მდებარე მაკავშირებელი ფერმების რამდენიმე ტიპური მაგალითი

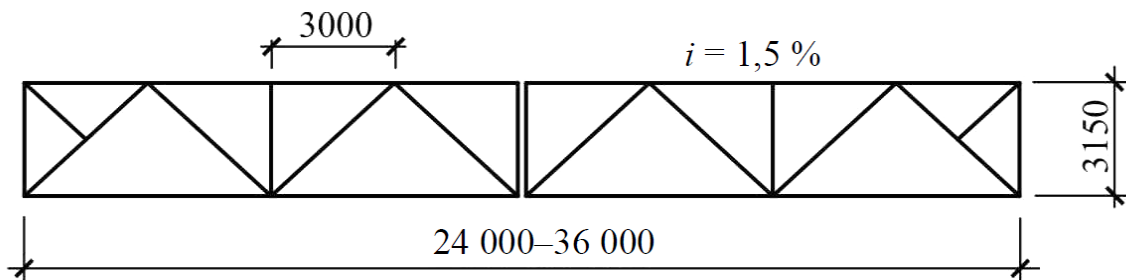


ნახაზი 22. გრძივი წამწის სქემები

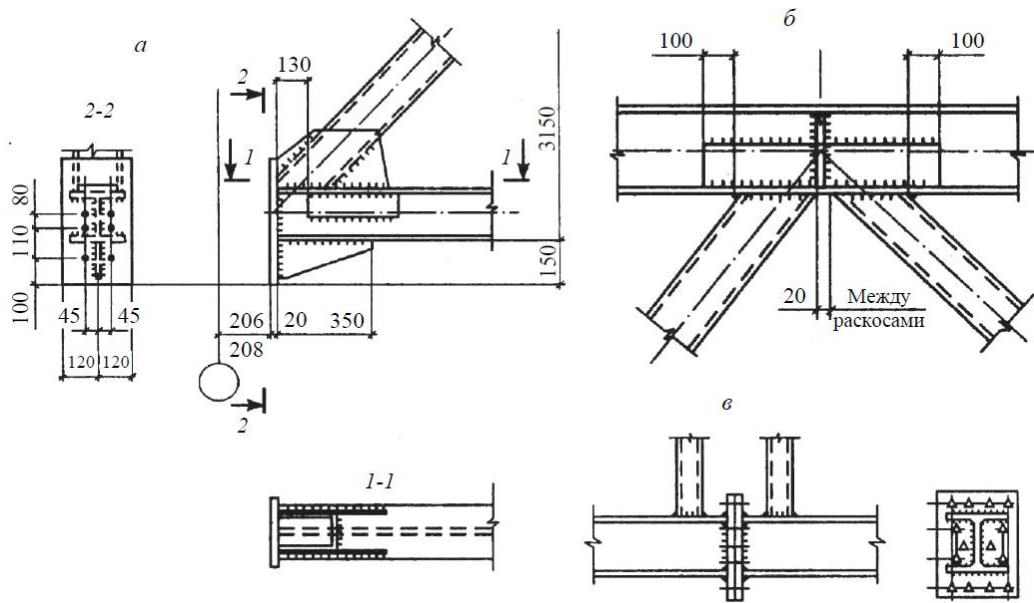
წამწეების დამზადება და მონტაჟი უნდა განხორციელდეს სპეციალიზებულ საწარმოო გარემოში.

მძიმედ დატვირთული 24-36 მეტრის მალიანი წამწეებისთვის ეფექტური იქნება ფართო თაროიანი ორტესებრის სარტყელები და მასზე შედუღებული მილკვადრატის პროფილის მქონე ირიბნები.

არსებობს ასეთი წამწეების ტიპური სერიები (ნახ. 23), რომელთა კვანძები ნაჩვენებია ნახ. 24.



ნახაზი 23. გრძივი მიმართულების წამწის სქემა 1.460.3-15 სერიის მიხედვით

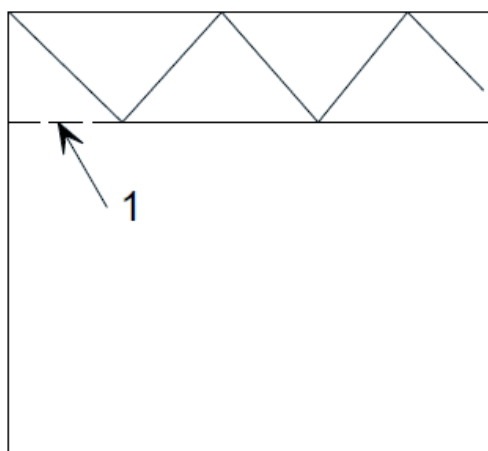


ნახაზი 24. ფართო თაროიანი ორტესებრის სარტყელიანი წამწის კვანძები:

ა - საყრდენი კვანძი; ბ - ირიბნების სარტყელთან შეერთება; გ - ქვედა სარტყლის შეერთება.

ამ სტრუქტურების მთავარი უპირატესობებია სარტყელთა გაზრდილი სიხისტე, მძიმე გადახურვის დაყრდნობის შესაძლებლობა, შეყურსული დატვირთვების გადატანა. ამ წამწეების მიწის ლითონის გადაჭარბებული ხარჯია.

უმეტეს შემთხვევაში, წამწის მდგრადობა უზრუნველყოფილია მაშინ, როდესაც სვეტთან ჩამაგრებულია ორივე სარტყელი. სახსრული კავშირის მოსაწყობად, სარტყლის ერთ-ერთი ელემენტი ზედმეტია, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახაზზე 25. გრძივი მიმართულებით სტაბილურობა ჩვეულებრივ უზრუნველყოფილია ვერტიკალური სამაგრებით.



1 ზედმეტი ელემენტი

ნახაზი 25. სახსრულად დაყრდნობილი წამწის ზედმეტი ელემენტი.

ნახაზ 25-ზე აღწერილი კონსტრუქციებში, ორივე სარტყელი სვეტთან ჩამაგრებულია ხისტად, მართობული მიმართულებით. ჩარჩოს ანალიზი ჩვეულებრივ სრულდება პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით. განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს სვეტის კონსტრუქციას, რადგან მისი სიმაღლე ჩვეულებრივ ბევრად აღემატება ელემენტის ფიზიკურ სიგრძეს.

წამწის წინასწარი დაპროექტების ეტაპზე რეკომენდებულია:⁵⁷

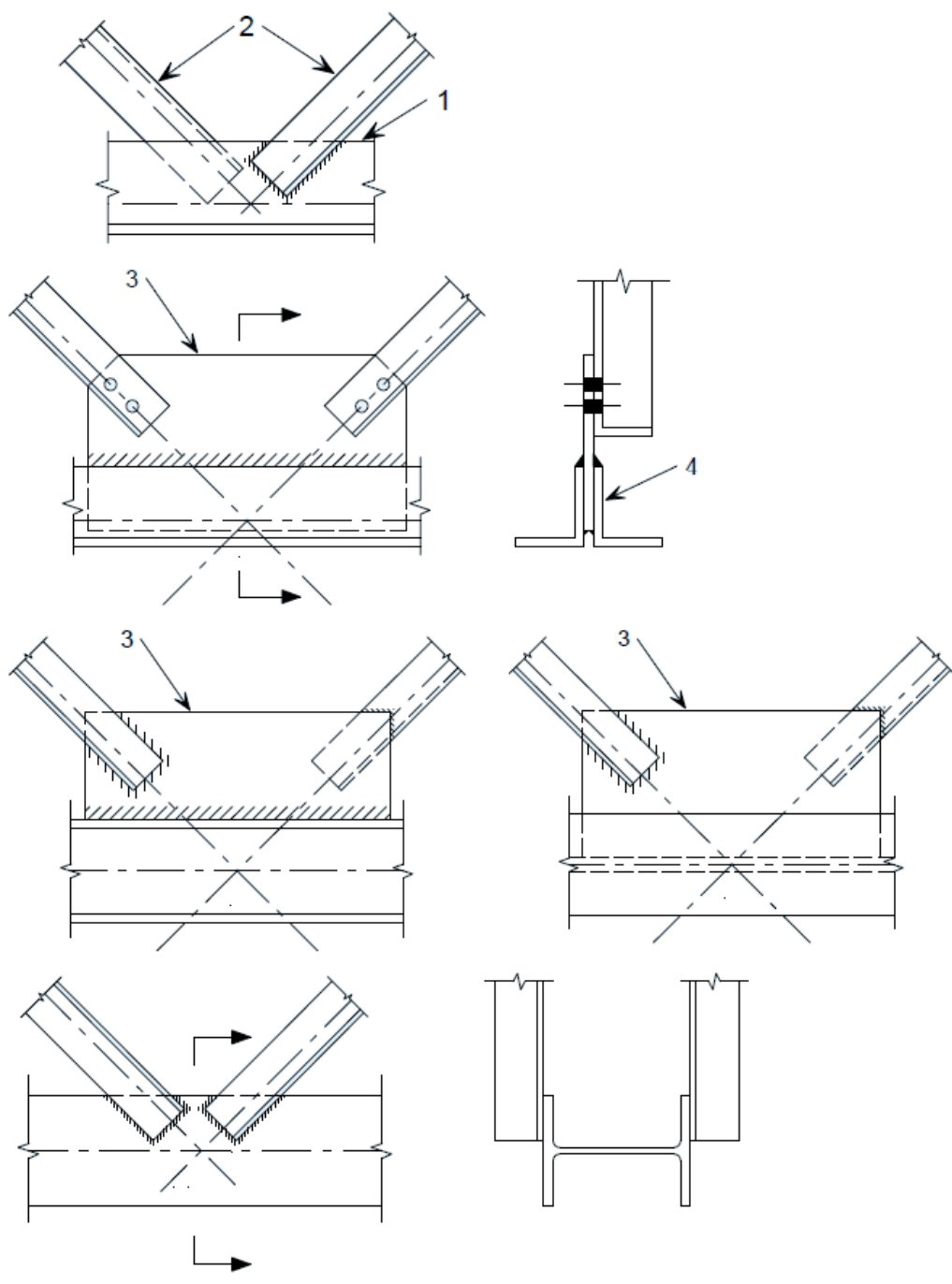
დადგინდეს წამწეზე მოსალოდნელი დატვირთვები, მათ შორის საკუთარი წონები, დროებითი დატვირთვები (ადამიანები, აღჭურვილობა და ა.შ.), ქარის დატვირთვა, თოვლის დატვირთვა, სეისმური დატვირთვა, და ა.შ.), რის შემდეგაც უნდა განვსაზღვროთ წამწის მასალა, სიმაღლე და მისი ელემენტების განლაგება. ტიპური დიაპაზონი: სიმაღლის თანაფარდობა არის დაახლოებით L/20, ირიბნების დახრა კი ყველაზე ეფექტურია 40°-დან 50°-მდე.

სარტყელსა და ირიბანებში ძაღვების განსაზღვრა შეიძლება გაკეთდეს პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით, კვანძების ამოკვეთის მეთოდით, სამომენტო წერტილებით ან კრემონას მეთოდით, ხოლო გაჭიმვა-კუმშვის ძალის მიხედვით შეირჩევა ელემენტების განივკვეთი და მათი კავშირის ტიპები, რის შემდეგაც მოწმდება წამწის გადაადგილება/ჩაღუნვა.

თუ არ არსებობს სპეციალური არქიტექტურული მოთხოვნები, წამწის ელემენტები არჩეულია იმგვარად რომ სარტყელებსა და დგარ/ირიბანებს შორის შეიქმნას მარტივი კავშირი. ირიბნების კავშირი სარტყელებთან შეიძლება იყოს შედუღებით, ჭანჭიკებით ან ფირფიტებით.

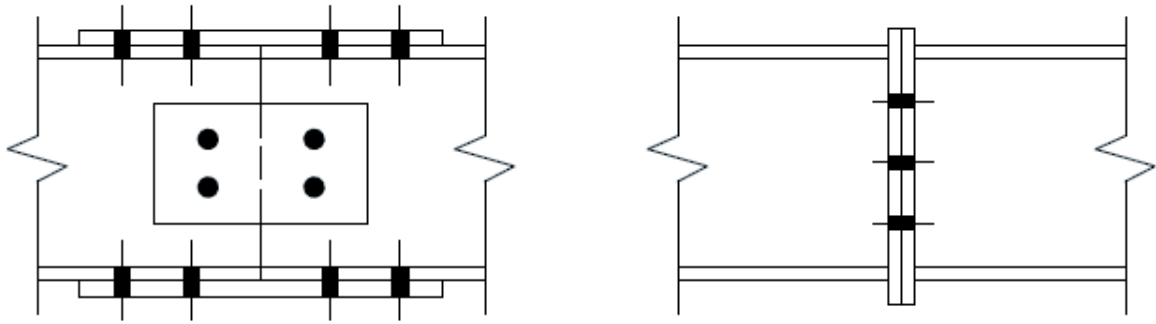
გავრცელებული შეერთების ტიპები ნაჩვენებია ნახაზზე 26:

⁵⁷ (steel buildings in europe - single-storey buildings)



ნახაზი 26. წამწის ელემენტების შეერთების ტიპები

წამწეები, როგორც წესი, მზადდება ქარხანაში და შესაძლოა საჭირო გახდეს ელემენტების ადგილზე შეერთება. სარტყელზე ირიბანების შეერთების გარდა, შესაძლოა საჭირო გახდეს სარტყლის ერთმანეთთან გადაბმა, რომელიც შეიძლება შესრულდეს როგორც ფირფიტის, ასევე ჭანჭიკების გამოყენებით. ფირფიტის გამოყენებით შეერთების კვანძი ნაჩვენებია ნახაზზე 27.



ნახაზი 27. წამწის სარტყლის გადაბმის დეტალი

ელემენტების შეერთების კვანძების თითოეულ ტიპს აქვს თავისი დადებითი და უარყოფითი მხარეები.

ჭანჭიკებიანი კავშირები მოიცავს ჭანჭიკების ან ხრახნების გამოყენებას წამწის ელემენტების დასაკავშირებლად და ჩვეულებრივ გამოიყენება ასაწყობი წამწეებში. შედუღებული კავშირები გულისხმობს ელექტროდების გამოყენებას წამწის ელემენტების ერთმანეთთან დასაკავშირებლად, რაც ქმნის ძლიერ და გამძლე კავშირს. მოქლონებიანი კავშირები ჭანჭიკიანი კავშირების მსგავსია, მაგრამ ჭანჭიკების ნაცვლად გამოიყენება მოქლონები.

2.3 დიდმალიანი ერთსართულიანი საწარმოო და საზოგადოებრივი შენობები - ნორმატიული ვერტიკალური სეისმური დატვირთვა გადახურვის კონსტრუქციაზე

განსახილველი ტიპის და ზოგად სეისმურად აქტიურ რეგიონში ასაგები შენობისთვის რეკომენდებულია მარტივი გეგმარება - სწორკუთხა ფორმა პარალელურად განლაგებული მალეებით, მომიჯნავე მალეებს შორის სიმაღლეთა ცვალებადობის გარეშე. აღნიშნული პირობების დაუკმაყოფილებლობის შემთხვევაში შენობა იყოფა სწორკუთხა ნაკვეთურებად ანტისეისმური ნაკერების გამოყენებით. ნაკვეთურების ზომები, ანტისეისმური ნაკერების ზომები და განლაგების ადგილები რეგულირდება შესაბამისი ნორმატიული დოკუმენტებით.

58

კარკასული ტიპის შენობები უნდა დაპროექტდეს ისე რომ სეისმური დატვირთვის „ამღები“ იყოს უშუალოდ კარკასი (მისი ელემენტები) ან აუცილებელ

⁵⁸ (Руководство по проектированию одноэтажных и многоэтажных производственных зданий со стальным каркасом в сейсмических районах, 1977)

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.

სეისმური რაიონებისთვის პროექტირებადი შენობები უნდა გაანგარიშებულ იქნეს: დატვირთვათა ძირითად შეთანწყობაზე; - დატვირთვათა განსაკუთრებულ შეთანწყობაზე სეისმური ზემოქმედებისას, ამ უკანასკნელისთვის გაანგარიშებაში დატვირთვები მრავლდება შეთანწყობის კოეფიციენტებზე.⁵⁹

სეისმური ზემოქმედების ორიენტაცია სივრცეში შეიძლება იყოს ნებისმიერი. შენობის, მისი ნაკვეთურის ან ცალკეული მზიდი კონსტრუქციული ელემენტის (გარდა ნორმატიულად განსაზღვრული შენობა-ნაგებობების და/ან მათი კონსტრუქციები) სეისმური ზემოქმედების გათვალისწინებით გაანგარიშებისას ამ დატვირთვის მიმართულებას იღებენ ჰორიზონტალურად გრძივი და განივი ღერძების მიმართულებით და ითვალისწინებენ ცალ-ცალკე.

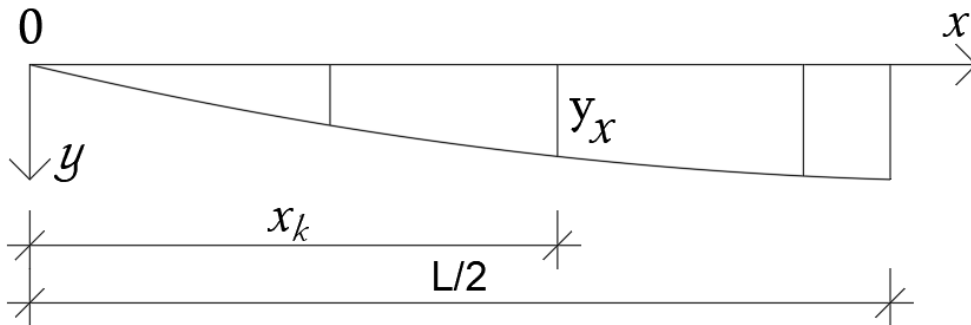
სეისმური ზემოქმედების ვერტიკალური მდგენელის გათვალისწინება (დეტალურად ვერტიკალური სეისმური აჩქარების შესახებ იხილეთ თავი 3) აუცილებელია ცალკეული ტიპის შენობისა და კონსტრუქციული ელემენტებისთვის. იმის გათვალისწინებით რომ, ჩვენ განვიხილავთ დიდმალიან ერთსართულიან საწარმოო და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობებს, რომელთა გადახურვის მზიდი კონსტრუქციული ელემენტ(ებ)ი (იხილეთ 2.2 §) მოითხოვენ გაანგარიშებას სეისმური აჩქარების ვერტიკალურ მდგენელზე, ქვემოთ განიხილება სწორედ აღნიშნული შემთხვევა.

- დიდმალიანი ბრტყელი კონსტრუქციის ნორმატიული გაანგარიშება სეისმური დატვირთვის ვერტიკალური მდგენელის გათვალისწინებით. ასეთი გაანგარიშების ნორმატიული ალგორითმი იმ შემთხვევისთვის როდესაც ასეთ დიდმალიან კონსტრუქციად განიხილება ფოლადის კოჭოვანი წამწე რეკომენდებულია შემდეგი სახით.

⁵⁹ (Инструкция по расчету покрытий промышленных зданий, воспринимающих динамические нагрузки, 1967)

- დიდმალიანი წამწის რხევის პირველი ფორმის შესაბამისი პერიოდის განსაზღვრა. ერთმალიანი, სახსრულად დაყრდნობილი წამწისთვის აღნიშნული მახასიათებელი (განზომილება წმ-ია) შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$T = 0,177 \sqrt{\Delta_\varphi} \quad (2.1)$$



ნახაზი 28. პარაბოლური თაღის ფორმა.

სადაც $\Delta_\varphi = \sum \frac{N_p N_e}{EF} l$ - განსაკუთრებული შეთანწყობისას საანგარიშო დატვირთვისგან წამწის ჩალუნვა მალის შუაწერტილში (სმ);

N_p - ძალები წამწის ღეროებში საანგარიშო დატვირთვებისგან განსაკუთრებული შეთანწყობისას;

N_e - ძალები წამწის ღეროებში ერთეული დატვირთვებისგან, რომელიც მოდებულია წამწის შუა წერტილში;

l - წამწის ელემენტების სიგრძე;

F - წამწის ელემენტების განივკვეთის ფართობი;

E - ფოლადის დრეკადობის მოდული.

პერიოდის მიღებული მნიშვნელობის შესაბამისად ხდება β კოეფიციენტის მნიშვნელობის აღება. იმ შემთხვევაში თუ ძირითადი ფორმის შესაბამისი პერიოდი $T \leq 0,5$ წმ (და - შესაბამისად ბრტყელი კონსტრუქციებისთვის $T \leq 0,4$ წმ) ხდება მხოლოდ რხევის პირველი ფორმის გათვალისწინება. ასეთ შემთხვევაში η_k კოეფიციენტები განისაზღვრება გამოსახულებით (2.2), იმ პირობის გათვალისწინებით რომ წამწის ღერძის დეფორმაციის ფორმა შეესაბამება პარაბოლური თაღის ფორმას (ნახ.1), რომელიც ჩაიწერება გამოსახულებით:

$$Y_k = \frac{4f}{L^2} (L - x_k)x_k \quad (2.2)$$

სადაც, Y_k - პარაბოლური თაღის კოორდინატია დაცილებული სათავიდან x_k მანძილით;

f - პარაბოლური თაღის ორდინატი მალის შუაში;

L - პარაბოლური თაღის მალი, რომელიც წამწის მალის ტოლია;

x_k - მანძილი სათავიდან k წერტილამდე, რომლისთვისაც განისაზღვრება პარაბოლური თაღის ორდინატი.

იმ შემთხვევაში თუ ძირითად ფორმის შესაბამისი პერიოდი $T > 0,5$ წმ. მაშინ წამწის ანგარიში უნდა ჩატარდეს რხევის არანაკლებ სამი ფორმის გათვალისწინებით. გადახურვის წამწის საკუთარი რხევის პერიოდებისა და ფორმების განსაზღვრისას, წამწის ზედა სარტყლის კვანძებში კონცენტრირებული მასები, მიღებულ უნდა იქნას ჯამური თანაბარგადანაწილებული დატვირთვისგან, რომელიც მოიცავს გადახურვის წამწის საკუთარ წონას, თოვლის დატვირთვას, ასევე შეკიდულ ტრანსპორტს (ასეთის არსებობის შემთხვევაში მისი გავლენაც მიიყვანება ეკვივალენტურ თანაბარგანაწილებულ დატვირთვაზე). ამასთან შესაბამისი წესით ხდება გადატვირთვისა და შეთანწყობის კოეფიციენტების მნიშვნელობების აღება.

ნორმატიული სეისმური დატვირთვის განსაზღვრისთვის არსებითი მნიშვნელობა ენიჭება საკვლევი კონსტრუქციის დინამიკური მახასიათებლების (პერიოდი, სიხშირე) დადგენას. მისი მნიშვნელობის შესაბამისად განისაზღვრება დინამიკურობის კოეფიციენტი β , რომელიც განმსაზღვრელია სეისმური დატვირთვის სიდიდის დადგენისას. შესაბამისად აღნიშნული მახასიათებლების, ამოცანისთვის მნიშვნელოვანი ყველა მახასიათებელი ნიშნის გათვალისწინებით დადგენა უზრუნველყოფს სეისმური დატვირთვის მნიშვნელობის რეალურ ან მაქსიმალურ შესაბამისობას.

აღნიშნულის შესახებ იხილე მომდევნო თავი 3.

თავი 3

დეტერმინირებული და შემთხვევითი სეისმური ზემოქმედება დიდმალიან კონსტრუქციებზე

3.1 გადახურვის დიდმალიანი კონსტრუქციის დინამიკური მახასიათებლების განსაზღვრის შესახებ

ძირითადი გამოსახულებები

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.

რხევის პროცესში წამწის თითოეულ კვანძზე მოქმედებს ინერციის ძალები (ჰორიზონტალური $-m \frac{d^2x}{dt^2}$ და ვერტიკალური $-m \frac{d^2y}{dt^2}$) და ამ ძალებით ღეროებში აღძრული ძალები (N_{ik}). შესაბამისად თითოეული კვანძისათვის იწერება დინამიკური წონასწორობის ორი განტოლება:

$$\begin{aligned}
 -m_k \frac{d^2 x}{dt^2} - \sum_n N_{ik} \cos \alpha_{ik} &= 0 \\
 -m_k \frac{d^2 y}{dt^2} - \sum_n N_{ik} \sin \alpha_{ik} &= 0 \quad (3.1)
 \end{aligned}$$

წარმოდგენილ განტოლებებში უცნობია ძალები N_{ik} და გადაადგილებები x_{ik} , y_{ik} . სისტემის ამოხსნა შესაძლებელია ძალების გამოსახვით გადაადგილების საშუალებით. შესაბამისი, არც თუ რთული მათემატიკური გარდაქმნებით ვიღებთ შემდეგი სახის ალგებრული განტოლებების სისტემას:

$$\begin{aligned}
 m_i u_i \varphi^2 - \sum_n \frac{E F_{ik}}{S_{ik}} [(u_k - u_i) \cos \alpha_{ik} + (v_k - v_i) \sin \alpha_{ik}] \cos \alpha_{ik} &= 0 \\
 m_i v_i \varphi^2 - \sum_n \frac{E F_{ik}}{S_{ik}} [(u_k - u_i) \sin \alpha_{ik} + (v_k - v_i) \cos \alpha_{ik}] \sin \alpha_{ik} &= 0 \quad (3.2)
 \end{aligned}$$

ამ განტოლებათა სისტემაში შემავალი უცნობების u_k და v_k არანულოვანი მნიშვნელობების მიღება შესაძლებელია ამ უცნობების კოეფიციენტებით შედგენილი დეტერმინანტის ნულად გარდაქმნის პირობიდან. განხილული კვანძების რაოდენობის ზრდასთან ერთად (თავისუფლების ხარისხი ოთხი და ზემოთ) ასეთი დეტერმინანტის ამოხსნა, რომელიც φ^2 -თან არის დაკავშირებული, უაღრესად რთულდება და შესაბამისი გამოთვლითი პროგრამული უზრუნველყოფის გარეშე პრაქტიკულად შეუძლებელიც ხდება.

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 განსაზღვრისათვის 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 რამდენიმე ასეთი მიახლოებითი მეთოდი რომლებიც გამოყენებადია ფერმებთან მიმართებაში. ეს მეთოდებია:

ენერგეტიკული მეთოდი, ეკვივალენტური 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.

თუ განვიხილავთ ფერმას, როგორც მატერიალური წერტილების ერთობლიობას კვანძებში კონცენტრირებული მასებით (იხილე ზემოთ), ჩვენ ფერმის კინეტიკური ენერგია შეგვიძლია გამოვსახოთ შემდეგი ფორმულით:

$$V = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_k [x_i^2(t) + y_i^2(t)] \quad (3.3)$$

ამ ტოლობაში ასახული i კვანძის კვანძის $x_i(t)$ და $y_i(t)$ ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მოძრაობის სიჩქარეების u_i და v_i ამპლიტუდების საშუალებით გამოსახვითა და შემდგომი მარტივი გარდაქმნებით ვიღებთ:

$$V = \frac{1}{2} \varphi^2 \sum_{i=1}^n m_k [u_i^2(t) + v_i^2(t)] \quad (3.4)$$

ფერმის მაქსიმალური პოტენციური ენერგიის მნიშვნელობა შეიძლება გამოიხატოს გარე ძალების მუშაობით

$$U = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i g v_i \quad (3.5)$$

აჯამვის ნიშნთან არის დატვირთვები m და g საკუთარი წონისაგან; ასევე კვანძებზე მოქმედი P ძალები. ორივე ტიპის ძალა მოქმედებს ვერტიკალურად, ამიტომ მათი მოქმედების შედეგად ხდება მხოლოდ ვერტიკალურ გადაადგილება.

კინეტიკური და პოტენციური ენერგიების მნიშვნელობების გატოლებით მიღებული გამოსახულებიდან ვიღებთ საკუთარი რხევის სიხშირის განმსაზღვრელ გამოსახულებას:

$$\varphi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n m_i g v_i}{\sum_{i=1}^n m_k [u_i^2(t) + v_i^2(t)]} \quad (3.6)$$

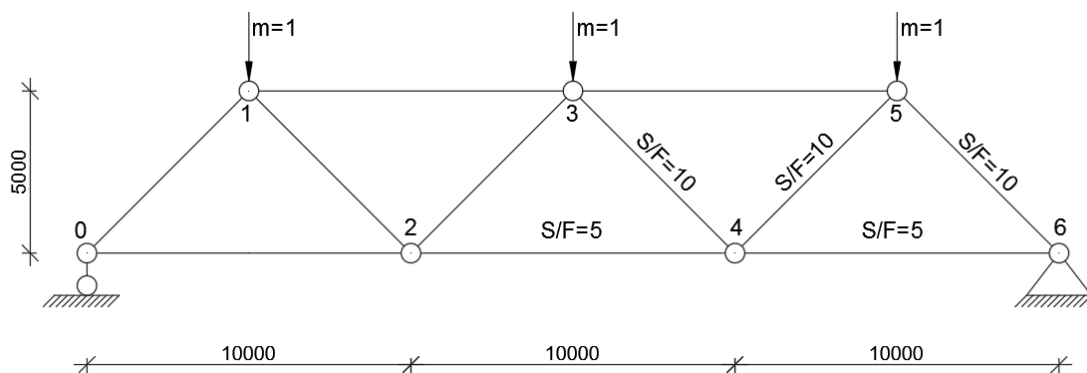
ამ ფორმულის მრიცხველში შემავალი გარე ძალების მუშაობა შეიძლება შეიცვალოს შინაგანი ძალების პოტენციური ენერგიით.

$$\varphi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{N^2 i S_i}{E F i}}{\sum_{i=1}^n m_i (u_i^2 + v_i^2)} \quad (3.7)$$

ამ განტოლებაში N S და F, შესაბამისად, არის ძალა, ფერმის თითოეული ღეროს სიგრძე და განივი კვეთი.

სიხშირეების გამოთვლა 3.6 და 3.7 ფორმულების მიხედვით დაკავშირებულია ამპლიტუდის გადაადგილების y და v განსაზღვრასთან. მათი გამოთვლა უნდა გაკეთდეს დაახლოებით ისე, როგორც ეს იყო მითითებული ენერგეტიკული მეთოდით რიგელების გაანგარიშებისას. ამისთვის ფერმა იტვირთება ისეთი სტატიკური დატვირთვით, რომლის დროსაც მოსალოდნელია, რომ წამწის რხევის ფორმა დაახლოებით შეესაბამებოდეს დინამიკური რხევის პირველ ბუნებრივ ფორმას.

მოცემულია სტატიკური დატვირთვა საკუთარი წონის სახით და, ამ დატვირთვის საფუძველზე, გადაადგილებები u და v გამოითვლება სამშენებლო მექანიკის მეთოდებისა და თვლიან N ძალებს.



ნახაზი 29.⁶⁰

გამოთვლითი პროცესი მნიშვნელოვნად შემცირდება, თუ უგულებელვყოფთ ჰორიზონტალურ გადაადგილებას u -ს, რაც ფორმულაში გამოსახება შემდეგნაირად:

$$\varphi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n m_i g v_i}{\sum_{i=1}^n m_i v_i^2} \quad (3.8)$$

ჩატარებული გამოთვლების გამოცდილებამ აჩვენა, რომ მიახლოებითი მეთოდის გამოყენებისას მიღებული სიხშირეების სიდიდის სხვაობა მცირეა და შესაძლოა 1.5%-ს შეადგენს.^{61 62}

⁶⁰ (კ. ს. завриев, 1946)

⁶¹ (ა. н. филиппов, 1941)

⁶² (ф. блейх, 1938)

• **ეკვივალენტური კოჭით შეცვლის მეთოდი**

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

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

ფერმის ჩალუნვა k წერტილში განისაზღვრება ცნობილია ფორმულით:

$$U_{kp} = \sum_1^n N_k N_p \frac{S}{EF} \quad (3.9)$$

რიგელის ჩალუნვა არის ინერციის მომენტის ფუნქცია

$$U_{kp} = f \frac{1}{I}$$

ამ ორი განტოლების ერთმანეთთან გატოლებით ვიღებთ ეკვივალენტური რიგელის ინერციის მომენტის მნიშვნელობას.

ეკვივალენტური რიგელის ჩალუნვა მალის შუაში, განისაზღვრება ფორმულით:

$$U_{kp} = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{EI} \quad (3.10)$$

ფორმულების ერთმანეთთან გატოლებით მივიღებთ:

$$\frac{5}{384} \frac{ql^4}{EI} = \sum_1^n N_k N_p \frac{S}{EF}$$

საიდანაც

$$I = \frac{5}{384E} \frac{ql^4}{\sum_1^n N_k N_p \frac{S}{EF}} \quad (3.11)$$

თუ რიგელის ინერციის მომენტი ვიცით, შეგვიძლია განვსაზღვროთ მისი რხევის სიხშირე.

მაგალითად, რიგელის სიხშირე, რომელიც ორ საყრდენზე თავისუფლად არის დაყრდნობილი, გამოითვლება:

$$\varphi = \frac{\pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

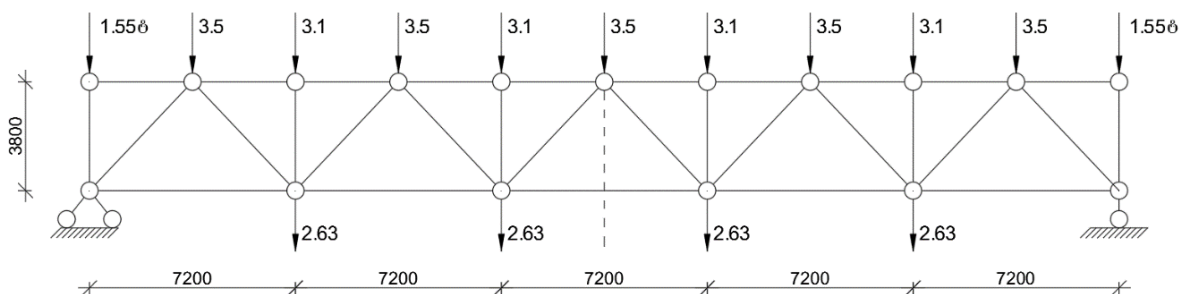
ამ ფორმულაში წინა განტოლების ჩასმითა და $m=q/g$ -ს ჩასმით მივიღებთ:

$$\varphi = \frac{\pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{5 \cdot Eq l^4 \cdot g}{384 Eq \sum_1^n \frac{N_k N_p}{EF} S}} = 1,13 \sqrt{\frac{g}{\sum_1^n \frac{N_k N_p}{EF} S}} \quad (3.12)$$

$$\varphi = 1,13 \sqrt{\frac{g}{u_{kp}}}$$

რამდენად ახლოსაა ამ მეთოდით სიხშირეების გამოთვლის შედეგები სხვა მეთოდებით გამოთვლის შედეგებთან, ჩანს შემდეგ შედარებებში.

- a) წამწის, რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 29, რხევის სიხშირე გამოითვლება ფორმულით 3.12, და განისაზღვრება მნიშვნელობით, რომელიც 1%-ზე ნაკლებია იმ სიხშირისგან, რომელიც წინა მაგალითებში იყო განხილული.



ნახაზი 30.

- b) წამწის, რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 30, რხევის სიხშირე გამოითვლება პოლჰაუზენის მეთოდითა და 3.12 ფორმულით ⁶³ :

პოლჰაუზენის მეთოდით ვიღებთ:

$$\varphi = 31,8 \text{ sec}^{-1}$$

3.12 ფორმულით ვიღებთ:

$$\varphi = 31,9 \text{ sec}^{-1}$$

- c) წამწის, რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 31, რხევის სიხშირე გამოითვლება ენერჯის მეთოდითა და 3.12 ფორმულით ⁶⁴:

ენერგეტიკული მეთოდით ვიღებთ:

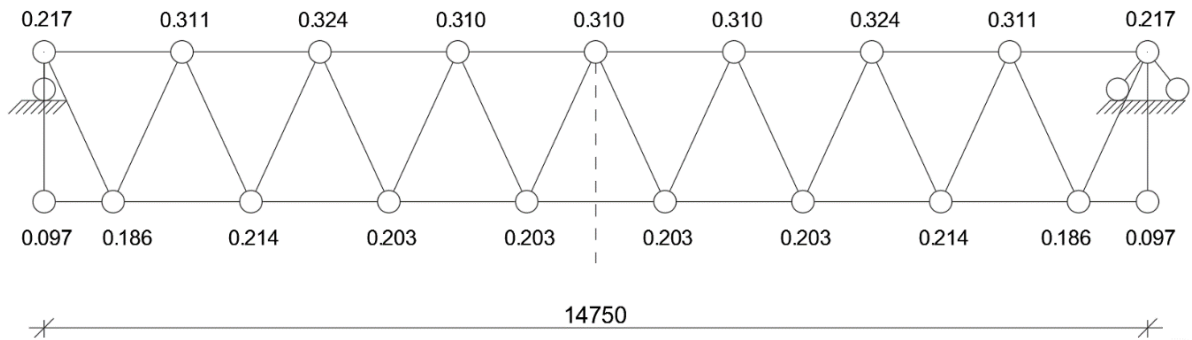
⁶³ (С. А. Бернштейн, 1941)

⁶⁴ (а. н. Филиппов, 1941)

$$\varphi = 127,1 \text{ sec}^{-1}$$

3.12 ფორმულით ვიღებთ:

$$\varphi = 123,3 \text{ sec}^{-1}$$



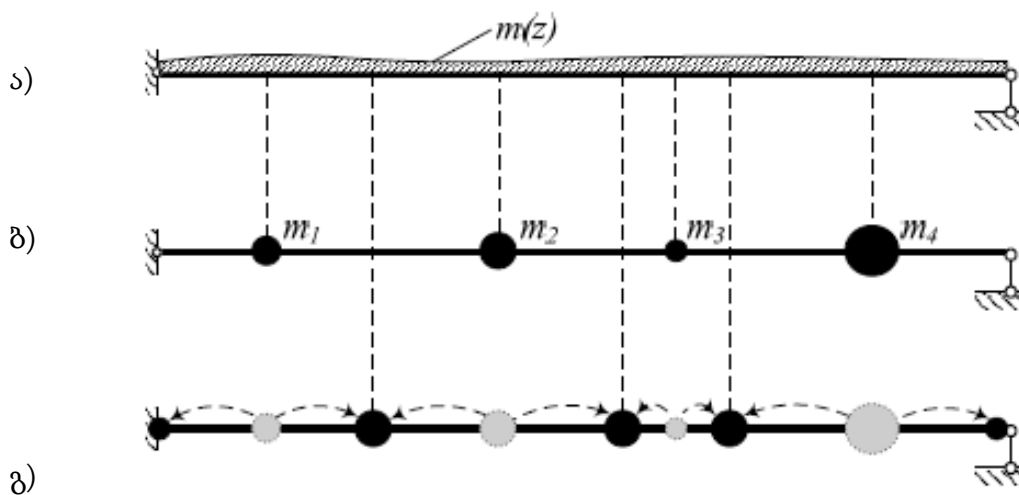
ნახაზი 31.

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

• **წამწეზე თანაბარგანაწილებული მასის ჩანაცვლება შეყურსული ძალით და მასებით, რომელიც დაკავშირებულია სარტყელთან.**

ამ მეთოდის წამწეზე გამოყენება გამართლებულია წამწიდან ეკვივალენტურ რიგელზე გადასვლით.

ზოგადად კოჭებისათვის განაწილებული მასის (ნახ. 32 ა) კონცენტრირებული მასებით ჩანაცვლების მეთოდის არსი შემდეგშია: განაწილებული მასა იცვლება ცალკეულ წერტილებში კონცენტრირებული მასებით. შედეგად უსასრულო თავისუფლების ხარისხის მქონე კონსტრუქციული სისტემა დაიყვანება სასრული თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემაზე. არსებობს აღნიშნული პროცედურის შესრულების ორი ხერხი: პირველი გულისხმობს განაწილებული მასის დაყოფას უბნებად და თითოეულ უბანზე მოსული განაწილებული მასის ჩანაცვლებას ამავე უბნის სიმძიმის ცენტრში კონცენტრირებული მასით (ნახ. 32 ბ). მეორის მიხედვით კი მასები უბნებზე ბერკეტის პრინციპით ნაწილდება (ნახ. 32 გ).



ნახაზი 32. განაწილებული მასის ჩანაცვლება კონცენტრირებული მასებით

ცალკეული კონსტრუქციული სისტემებისათვის აღნიშნული მეთოდით განსაზღვრული პირველი სიხშირე მისაღები სიდიდეა, ხოლო მაღალი სიხშირეების განსაზღვრისას კი შესაძლებელია ძალიან მნიშვნელოვანი ცდომილებები.

აღნიშნული მეთოდით კოჭოვანი წამწის პირველი სიხშირის განსაზღვრა შესაძლებელია წამწის მასის ნახევრის მის შუა წერტილში კონცენტრირებით (დანარჩენი მასა გადადის საყრდენებზე), რის შემდგომაც სიხშირის განსაზღვრისათვის ვსარგებლობთ ერთმასიანი კოჭისათვის არსებული გამოსახულებით:

$$\varphi_1 = \sqrt{\frac{1}{M\delta_{11}}}, \quad (3.13)$$

მიღებული შედეგი ყოველთვის ემთხვევა სიხშირის იმ მნიშვნელობებს რომლებიც განსაზღვრულია ზემოთ მოცემული სხვა მეთოდებით.⁶⁵

ჩვენი სადისერტაციო ნაშრომის შინაარსიდან გამომდინარე ქვემოთ განხილული გვაქვს დიდძალიანი კოჭოვანი ფერმის დინამიკური მახასიათებლების განსაზღვრა.

განვიხილოთ ეს მეთოდი კონკრეტული მაგალითებით.

დავადგინოთ წამწის თავისუფალი რხევის სიხშირე, რომელიც ნაჩვენებია ნახაზ 2-ზე.

⁶⁵ (С. М. Блеих, 1931)

წამწის მალის შუაში მასის ნახევარი გადავიტანოთ, საყრდენებზე კი მისი მეოთხედი. ნახ. 2-ის მიხედვით გვაქვს:

$$M = \frac{1}{g} \left(1150 + 2 \cdot 3500 + 2 \cdot 3100 + \frac{1}{2} 3500 + 2 \cdot 2630 \right) = 22,18 \frac{\text{კგ} \cdot \text{წმ}^2}{\text{სმ}}$$

რიგელის თავისუფალი რხევის სიხშირე ერთი შეყურსული მასით გამოიხატება ფორმულით:

$$\varphi_1 = \sqrt{\frac{1}{M\delta_{11}}}, \quad (3.14)$$

$$\delta_{11} = \frac{96}{2,15 \cdot 10^6} = 44,7 \cdot 10^6 \text{ სმ}$$

$$\varphi = \sqrt{\frac{10^6}{22,18 \cdot 44,7}} = 31,7 \text{ წმ}^{-1}$$

ფორმულა 13-ით ვიღებთ, რომ მნიშვნელობა თითქმის ემთხვევა იმ სიხშირის მნიშვნელობებს, რომლებიც ზემოთ მოცემული ფორმულებით ნაპოვნია იმავე წამწისთვის.

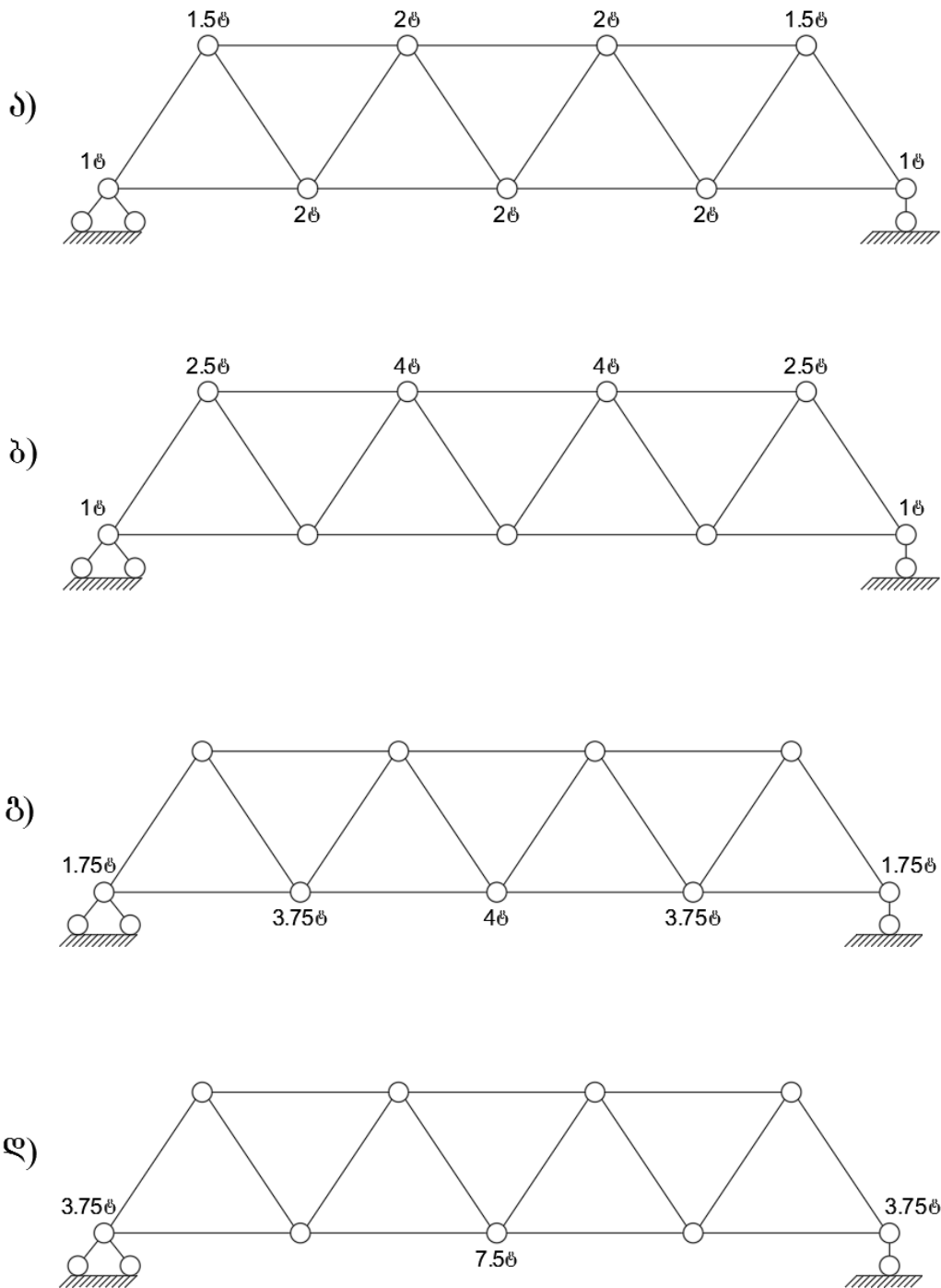
იგივე მეთოდით განვსაზღვროთ ნახ. 29-ზე გამოსახული წამწე.

მოცემული განაწილების მიხედვით, მასა კონცენტრირებულია მალის შუა კვანძში №3-ში.

მიღებული სიხშირის მნიშვნელობა განსხვავდება 1.9%-ით იმ სიხშირეების მნიშვნელობებისგან, რომლებიც იმავე ფერმაში გამოითვალა წინა მაგალითებში.

მთელ წამწეზე განაწილებული დატვირთვის ერთ შეყურსულ მასამდე დაყვანის აღწერილი მეთოდი უზრუნველყოფს საკმარის სიზუსტეს დინამიკური რხევის პირველი ფორმის სიხშირის გამოთვლაში.

იმისათვის, რომ გავარკვიოთ შესაძლებელია თუ არა რომ წამწის ყველა კვანძს არ მივანიჭოთ დატვირთვა და შეგვიძლია თუ არა მათი გადატანა ერთ-ერთ სარტყელზე. წამწის რხევის სიხშირეები უნდა გამოვთვალოთ 33-ე ნახაზზე გამოსახული დატვირთვის მდებარეობის ოთხი ვარიანტის მიხედვით.



ნახაზი 33.

დატვირთვის თითოეულ კვანძზე განაწილებით, მივიღებთ 33. ა ნახაზზე გამოსახულ სქემას.

გადასვლა 33. ა სქემიდან 33. ბ-ზე გამოსახულ სქემაზე ხდება წამწის ქვედა სარტყლის კვანძებიდან დატვირთვის მოხსნით და ზედა სარტყლის კვანძებში გადატანით.

გადასვლა 33. ა სქემიდან 33. გ-ზე გამოსახულ სქემაზე ხდება წამწის ზედა სარტყლის კვანძებიდან დატვირთვის მოხსნით და ქვედა სარტყლის კვანძებში გადატანით.

სქემა, რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 33. დ-ზე, ყველა მასა დაკავშირებულია მხოლოდ წამწის შუა და საყრდენ კვანძებთან.

დატვირთვების განლაგების ამ ოთხი შემთხვევისთვის შესრულებულმა გამოთვლებმა გვაჩვენა წამწის რხევათა ყველაზე დაბალი სიხშირის შემდეგი მნიშვნელობები:

როდესაც მასები განლაგებულია ნახ. 33. ა სქემის მიხედვით: $\phi=0.1040\sqrt{EF:m}$

როდესაც მასები განლაგებულია ნახ. 33. ბ სქემის მიხედვით: $\phi=0.1082\sqrt{EF:m}$

როდესაც მასები განლაგებულია ნახ. 33. გ სქემის მიხედვით: $\phi=0.1002\sqrt{EF:m}$

როდესაც მასები განლაგებულია ნახ. 33. დ სქემის მიხედვით: $\phi=0.0973\sqrt{EF:m}$

ამ შედეგების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ფერმების თავისუფალი რხევების ყველაზე დაბალი სიხშირე დიდად არ იცვლება იმისდა მიხედვით, დატვირთვა დაკავშირებულია ყველა კვანძთან თუ მხოლოდ ერთი სარტყლის კვანძებთან.

ფერმის ბუნებრივი რხევის სიხშირე ოდნავ იცვლება მაშინაც კი, თუ ღეროების მასები თანაბრად ნაწილდება სარყელის კვანძებზე, გარდა საყრდენი კვანძებისა. მაგალითად, თუ სქემა, რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 33.გ-ზე, ჩავანაცვლებთ სქემით, რომელზეც ქვედა სარტყლის კვანძებზე მოქმედებს დატვირთვა 4 ტონა, ხოლო საყრდენებზე 1,5 ტონა.

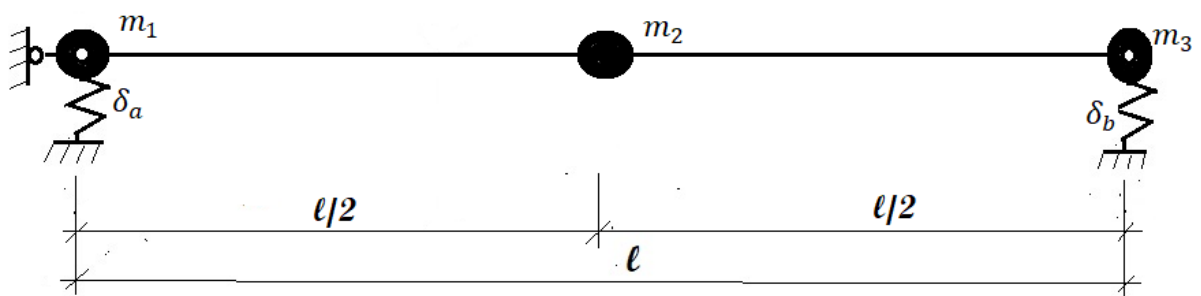
ყოველივე ზემოაღნიშნული საშუალებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ ფერმის თავისუფალი რხევების სიხშირის განსაზღვრა შეიძლება განხორციელდეს როგორც ყველა კვანძზე დატვირთვის მინიჭებით, ასევე მისი თანაბრად განაწილებით.

3.2 ვერტიკალური სეისმური დატვირთვები გადახურვის დიდმალიან კონსტრუქციაზე საყრდენების გავლენის გათვალისწინებით.

ნორმატიული მეთოდოლოგიით სეისმური დატვირთვის განსაზღვრისას, ყველა ტიპის შენობა-ნაგებობა და/ან მათი კონსტრუქციული ელემენტი გაანგარიშებულ უნდა იქნეს ფუძის აჩქარების ჰორიზონტალური მდგენელის

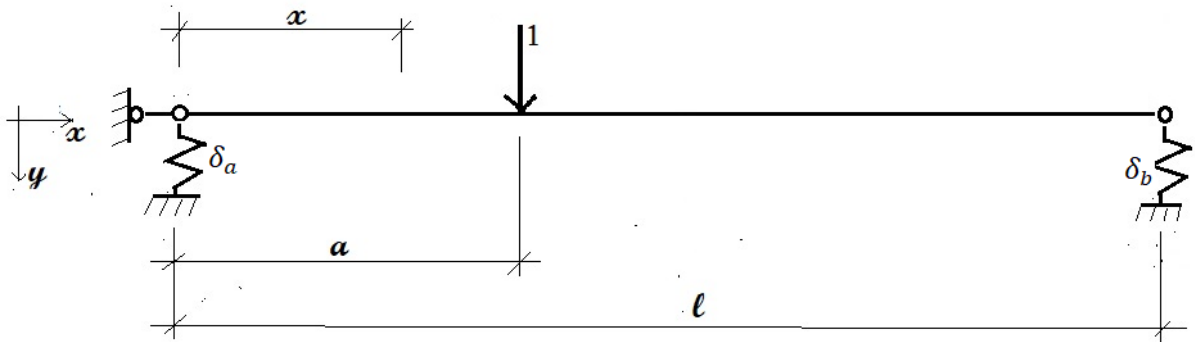
ზემოქმედებაზე. სეისმური აჩქარების ვერტიკალური მდგენელის გათვალისწინების საჭიროება ნორმატიულად მოთხოვნილია კონკრეტული ტიპის კონსტრუქციული ელემენტისთვის. ასეთ კონსტრუქციულ ელემენტებს სხვადასხვა ტიპის კონსტრუქციულ ელემენტებთან ერთად ასევე მიეკუთვნება დიდძალიანი ფოლადის ბრტყელი წამწები (იხილეთ თავი 2). როგორც წესი, ყველა მოქმედ ნორმატიულ დოკუმენტებში ამ ტიპის კონსტრუქციების ვერტიკალურ სეისმურ დატვირთვაზე გაანგარიშებისთვის გამოიყენება იგივე პრინციპები და გამოსახულებები, რაც გამოიყენება ჰორიზონტალური მდგენელის ზემოქმედებაზე გაანგარიშებისათვის. განსხვავებულია მხოლოდ ცალკეული კოეფიციენტების მნიშვნელობები.

ზოგადად და კონკრეტულად მითითებული 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. მაქსიმალური სიმარტივე, მოთხოვნილი სიზუსტე და ორმხრივი გადაწყვეტის მიღების შესაძლებლობა არის ის ნიშნები, რომლებიც დამახასიათებელია ანალიტიკური მეთოდისათვის ზოგადად და კონკრეტულად მოცემულ შემთხვევაში. იმ შემთხვევაში კი როდესაც საჭიროა პირველადი მონაცემების მიღება ანალიტიკური მიდგომა ფაქტობრივად შეუცვლელია.



ნახაზი 34. დამყოლ საყრდენზე მდებარე სამმასიანი კოჭი

განვიხილოთ დიდმალიანი ფოლადის ბრტყელი დიდმალიანი წამწის ვერტიკალური სეისმური რხევა. წამწე წარმოადგენს ერთსართულიანი საწარმოო საზოგადოებრივი შენობის გადახურვის ელემენტს (იხილეთ თავი 2). აღნიშნულ კონსტრუქციაზე ნორმატიული მეთოდით სეისმური დატვირთვის განსაზღვრისთვის არსებითი ეტაპია მისი დინამიკური მახასიათებლების განსაზღვრა.



ნახაზი 35. ერთეული ძალის გამოყენება

განსხვავებით ჩვენს მიერ განხილული იქნება საყრდენი კონსტრუქციების გავლენა დინამიკურ მახასიათებლებზე.

შესაბამისად, აღნიშნული პრობლემის გადასაწყვეტად ვიყენებთ წამწის ეკვივალენტური სიხისტის კოჭზე დაყვანის მეთოდს. ამ მეთოდის არსისა და მისი რეალიზაციის შესახებ იხილეთ § 3.1. აღნიშნული მიდგომა და მისი სხვადასხვა მოდიფიკაცია კოჭოვანი წამწეებისთვის, აგრეთვე განხილულია ნაშრომებში.

წარმოდგენილი „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 ეკვივალენტური 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 34) 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:

$$6EIy(x) = R_x a^3 + \Gamma_x (a - x)^3 + (C_x + \Delta_x)a + \Delta_b \quad (3.15)$$

$$\text{სადაც, } R_x = -\left(1 - \frac{x}{l}\right);$$

$$C_x = -\frac{1}{l}(3x^2l - 2xl^2 - x^3);$$

$$\Delta_a = \frac{6EI}{l}\left(\delta_a R_x + \delta_b \frac{x}{l}\right);$$

$$\Delta_b = -3EI\delta_a,$$

Γ_x არის ფუნქციონალურ შემაფერხებელს, შემდეგი მახასიათებლებით:

$$\Gamma_x = 0 \text{ როდესაც } a < x;$$

$$\Gamma_x = 1 \text{ როდესაც } a > x.$$

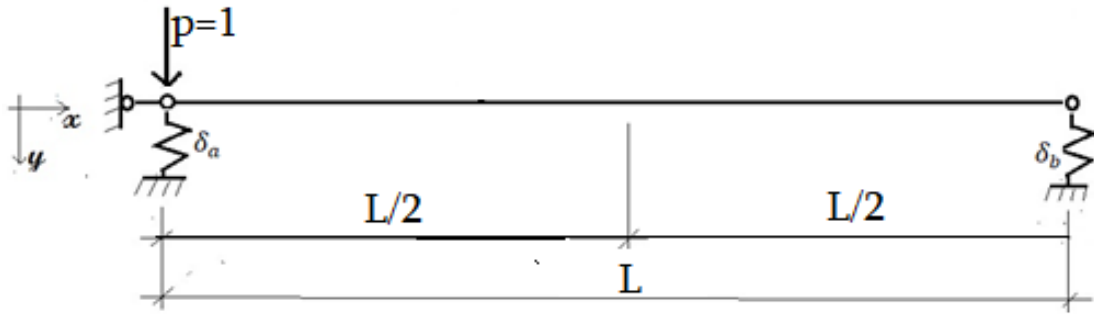
δ_a და δ_b არის დრეკადი საყრდენების დამყოლობა:

x და a , შესაბამისად, არის კონსტრუქციის ერთეული გადაადგილებისა და კონცენტრირებული მასების წერტილების კოორდინატები. (ნახაზი 35).

ერთეული ძალის მახასიათებელ წერტილებში $a = 0$; $a = l/2$; $a = l$ (ნახ.35).

(1) ფორმულის გამოყენებით მივიღებთ:

ა)

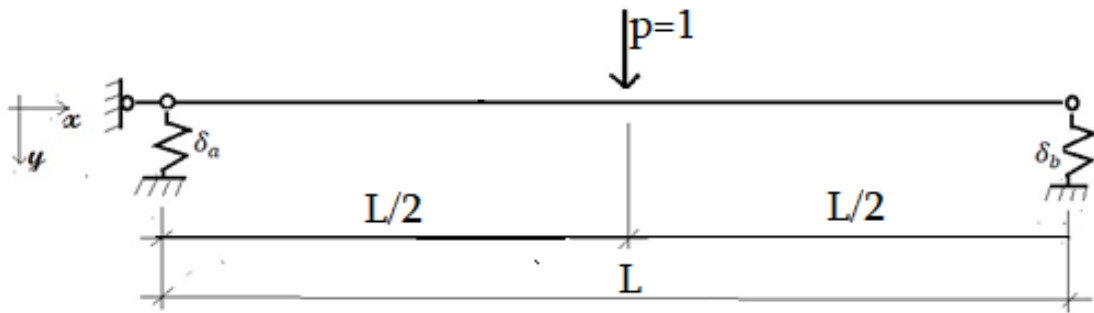


$$a = 0; x = 0; 6EIy(x) = 6EI\delta_a; y(x) = \delta_{11} = \delta_a.$$

$$a = 0; x = l/2; 6EIy(x) = 3EI\delta_a; y(x) = \delta_{12} = \delta_{21} = \frac{1}{2}\delta_a.$$

$$a = 0; x = l; 6EIy(x) = 0; y(x) = \delta_{13} = 0.$$

б)

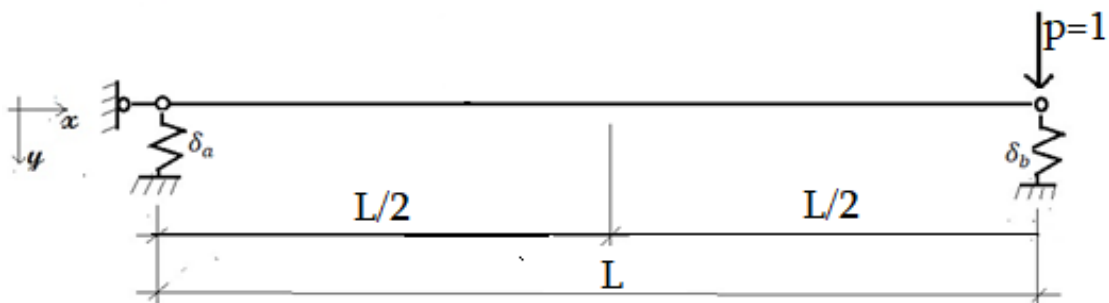


$$a = l/2; x = 0; 6EIy(x) = 3EI\delta_a; y(x) = \delta_{21} = \delta_{12} = \frac{1}{2}\delta_a.$$

$$a = l/2; x = l/2; 6EIy(x) = \frac{l^3}{8} + \frac{3}{2}(\delta_a + \delta_b)EI; y(x) = \delta_{22} = \frac{l^3}{48} + \frac{(\delta_a + \delta_b)}{4}.$$

$$a = l/2; x = l; 6EIy(x) = 3EI\delta_b; y(x) = \delta_{23} = \delta_{32} = \frac{1}{2}\delta_b.$$

в)



$$a = l; x = 0; 6EIy(x) = 0; y(x) = \delta_{31} = \delta_{13} = 0.$$

$$a = l; x = l/2; 6EIy(x) = 3EI\delta_b; y(x) = \delta_{32} = \delta_{23} = \frac{1}{2}\delta_b.$$

$$a = l; x = l; 6EIy(x) = 6EI\delta_b; y(x) = \delta_{33} = \delta_b.$$

შესაბამისად დამყოლობის მატრიცისთვის გვექნება:

$$\begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \delta_{13} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \delta_{23} \\ \delta_{31} & \delta_{32} & \delta_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_a & \frac{1}{2}\delta_a & 0 \\ \frac{1}{2}\delta_a & \frac{l^3}{48EI} + \frac{\delta_a + \delta_b}{4} & \frac{1}{2}\delta_b \\ 0 & \frac{1}{2}\delta_b & \delta_b \end{bmatrix}$$

მაღლა მეთოდით ჩაწერილი დინამიკურ გადაადგილებათა კანონიკური განტოლებათა სისტემისთვის გვექნება:

$$\left. \begin{aligned} (m_1\delta_{11}\omega_i^2 - 1)y_{1i} + m_2\delta_{12}\omega_i^2 y_{2i} + m_3\delta_{13}\omega_i^2 y_{3i} &= 0 \\ m_1\delta_{21}\omega_i^2 y_{1i} + (m_2\delta_{22}\omega_i^2 - 1)y_{2i} + m_3\delta_{23}\omega_i^2 y_{3i} &= 0 \\ m_1\delta_{31}\omega_i^2 y_{1i} + m_2\delta_{32}\omega_i^2 y_{2i} + (m_3\delta_{33}\omega_i^2 - 1)y_{3i} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

მისი დეტერმინანტი იქნება:

$$D = \begin{bmatrix} (m_1\delta_{11}\omega_i^2 - 1) & m_2\delta_{12}\omega_i^2 & m_3\delta_{13}\omega_i^2 \\ m_1\delta_{21}\omega_i^2 & (m_2\delta_{22}\omega_i^2 - 1) & m_3\delta_{23}\omega_i^2 \\ m_1\delta_{31}\omega_i^2 & m_2\delta_{32}\omega_i^2 & (m_3\delta_{33}\omega_i^2 - 1) \end{bmatrix} = 0$$

მიუხედავად იმის რომ ამ დეტერმინანტის გახსნა ზოგადი სახით არ არის დაკავშირებული რაიმე პრინციპული სახის სირთულეებთან, მაინც უფრო მარტივია მისი რიცხვითი სახით გახსნა ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის. ამოცანის რიცხვითი რეალიზაცია იხილეთ § 4.2.

3.3 შემთხვევითი ვერტიკალური სეისმური დატვირთვები გადახურვის დიდმალიან კონსტრუქციაზე

განვიხილოთ ზემოთ § 3.2. მოცემულ კონსტრუქციაზე ვერტიკალური სეისმური ზემოქმედება, როდესაც ეს უკანასკნელი წარმოდგენილია შემთხვევითი პროცესის სახით. (იხ. თავი 1). კონკრეტულად დეტერმინირებული მომვლები ფუნქციისა და შემთხვევითი სტაციონარული პროცესის ნამრავლის სახით (ბოლოტინის მოდელი. იხილეთ თავი 1):⁶⁶

$$a(t) = A(t)\varphi(t) \quad (3.16)$$

სტაციონარული პროცესის $\varphi(t)$ მახასიათებელ მეორე რიგის ავტოკორელაციურ ფუნქციად $k_{\varphi\varphi}(\tau_1 - \tau_2) = k_{\varphi\varphi}(\tau)$ აღებულია გამოსახულება:

⁶⁶ (Болотин, 1965)

$$k_{\varphi\varphi}(\tau) = k_o e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta\tau \quad (3.17)$$

როდესაც,

k_o არის მუდმივა, რომელიც გამოითვლება (3.16) - პირობის შესაბამისად;

α - კორელაციის ხარისხის მახასიათებელი კოეფიციენტი,

β - კი კორელაციური ფუნქციის მახასიათებელი სიხშირე ვერტიკალური სეისმური აჩქარებისთვის მათი მნიშვნელობა აიღება: $\alpha = 2 \dots 10$, $\beta = 12 \dots 60$;

განსახილველი მოდელის რხევის განტოლებათა სისტემას, ჩაწერილს გადაადგილების მეთოდის საფუძველზე მიღების გათვალისწინების გარეშე ექნება შემდეგი სახე: ⁶⁷

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{y}_1 + k_{11} y_1 + k_{12} y_2 + k_{13} y_3 &= -a(t) \\ m_1 \ddot{y}_2 + k_{21} y_1 + k_{22} y_2 + k_{23} y_3 &= -a(t) \\ m_1 \ddot{y}_3 + k_{31} y_1 + k_{32} y_2 + k_{33} y_3 &= -a(t) \end{aligned} \quad (3.18)$$

სიხისტის მატრიცის ნახევრების მნიშვნელობების განსაზღვრა მოცემულ შემთხვევაში ხდება გახსნა და დამყოლობის მატრიცას შორის არსებული ცნობილი დამოკიდებულებიდან - ისინი წარმოადგენენ ურთიერთ შებრუნებულ მატრიცებს $D = k^{-1}$ ან პირიქით.

სისტემის მატრიცული ფორმით ჩაწერისას:

$$\overline{m} \ddot{\vec{y}} + \overline{K} \vec{y} = -\overline{a}(t) \quad (3.19)$$

და გამოვიყენებთ მთავარ კოორდინატთა მეთოდს ⁶⁸ მივიღებთ სამ დამოუკიდებელ განტოლებას:

$$\ddot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 = p_1(t) \quad (3.20)$$

$$\ddot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 = p_2(t) \quad (3.21)$$

$$\ddot{q}_3 + \omega_3^2 q_3 = p_3(t) \quad (3.22)$$

სადაც,

$$p_1(t) = - \frac{u_{11} + u_{21} + u_{31}}{m_1 u_{11}^2 + m_2 u_{22}^2 + m_3 u_{31}^2} \cdot \overline{a}(t) \quad (3.23)$$

$$p_2(t) = - \frac{u_{12} + u_{22} + u_{32}}{m_1 u_{12}^2 + m_2 u_{22}^2 + m_3 u_{32}^2} \cdot \overline{a}(t) \quad (3.24)$$

$$p_3(t) = - \frac{u_{13} + u_{23} + u_{33}}{m_1 u_{13}^2 + m_2 u_{23}^2 + m_3 u_{33}^2} \cdot \overline{a}(t) \quad (3.25)$$

⁶⁷ (Бронштейн & Семендяев, 1986, p. 544)

⁶⁸ (Лужин О. В., 1983)

იმპულსური ფუნქციები თითოეული განტოლებისთვის შესაბამისად:

$$h_1(t) = - \frac{\sin \omega_1 t}{\omega_1} \quad (3.26)$$

$$h_2(t) = - \frac{\sin \omega_2 t}{\omega_2} \quad (3.27)$$

$$h_3(t) = - \frac{\sin \omega_3 t}{\omega_3} \quad (3.28)$$

მთავარი კოორდინატებისთვის ვადგენთ მათი დისპერსიის ფუნქციებს $Dq_i(t)$ ($i = 1, 2, 3$); ვინაიდან ისინი ანალოგიურად განისაზღვრება სამივესთვის, აქ წარმოდგენილია ერთი მთავარი კოორდინატისთვის q_i ვისარგებლოთ მეორე რიგის კორელაციური ფუნქციის გამოსახულებით:

$$k_{q_1 q_1}(t_1 t) = \iint_0^t h_1(t - \tau_1) h_1(t - \tau_2) A(\tau_1) A(\tau_2) k_{p_1 p_1}(\tau_1 - \tau_2) d\tau_1 d\tau_2 \quad (3.29)$$

ამასთან (3.19)-ის შესაბამისად

$$k_{p_1 p_1}(\tau) = \sigma_{p_1}^2 e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta \tau \quad (3.30)$$

სტანდარტისთვის $E_{p_1}(t)$ (3.23)-ის შესაბამისად

$$\sigma_{p_1} = - \frac{u_{11} + u_{21} + u_{31}}{m_1 u_{11}^2 + m_2 u_{22}^2 + m_3 u_{31}^2} \sigma \quad (3.31)$$

სადაც, σ წარმოადგენს შესაბამისი სეისმური ზემოქმედების აჩქარების სტანდარტს. ყველა საჭირო გამოსახულების (3.16), (3.26), (3.30) შეტანით (3.29)-ში მივიღებთ:

$$k_{q_1 q_1}(t_1 t) = \iint_0^t \frac{\sin \omega_1(t - \tau_1)}{\omega_1} \cdot \frac{\sin \omega_1(t - \tau_2)}{\omega_1} \cdot A_0 e^{-\alpha \tau_1} \cdot A_0 e^{-\alpha \tau_2} \cdot \sigma_{p_1}^2 e^{-\alpha|\tau_1 - \tau_2|} \cos \beta(\tau_1 - \tau_2) d\tau_1 d\tau_2 \quad (3.32)$$

რაც იგივეა

$$k_{q_1 q_1}(t_1 t) = \frac{A_0^2 \sigma_{p_1}^2}{\omega_i^2} \iint_0^t \exp[-e(\tau_1 + \tau_2) - \alpha(\tau_1 - \tau_2)] * \sin \omega_1(t - \tau_1) \sin \omega_1(t - \tau_2) \cos \beta(\tau_1 - \tau_2) d\tau_1 d\tau_2 \quad (3.33)$$

(3.33) გამოსახულების ინტეგრირებისას არ გვხვდება პრინციპული სახის სირთულეები (სინუსების ნამრავლის კოსინუსების ნახევარჯამით შეცვლა გადასვლა ახალ ცვლადებზე). ამასთან იმ შემთხვევისათვის როდესაც $c \ll \omega$, რაც

ჩვენს შემთხვევაში ასეც არის, მიღებულია მიახლოებითი გამოსახულებით სარგებლობა:

$$\sigma_{p_1}(t) = \frac{A}{\omega_1} \cdot \frac{\sigma_{q_1}}{\sqrt{2\omega_1 c}} \Psi_1(t) \quad (3.34)$$

სადაც, $\Psi = e^{-ct} \sqrt{y_1(t)}$ (3.35)

$$y_1(t) = \int_0^t e^{-(\alpha-c)\tau} \cos \beta\tau \cos \omega_1\tau d\tau \quad (3.36)$$

იგივე თანმიმდევრობით განისაზღვრება დანარჩენი ორი მთავარი კოორდინატის შესაბამისი დისპერსიები, ხოლო მის შემდეგ დისპერსიების მაქსიმალური მნიშვნელობებისთვის განისაზღვრება შესაბამისი სტანდარტი.

$$\sigma_{q_i} = \sqrt{D_{q_i}^{max}} \quad (i = 1, 2, 3) \quad (3.37)$$

მთავარი კოორდინატის მაქსიმალური მნიშვნელობა განისაზღვრება „3σ-ს“ წესით.

მასების კონცენტრაციის წერტილების გადაადგილებებისთვის კი გვექნება

$$y_i = \sum_{k=1}^3 q_k u_{ik} \quad (i = 1, 2, 3)$$

აღწერილი მეთოდის კონსტრუქციის გაანგარიშების ნიმუში იხილე თავი

IV. § 4.3

თავი 4

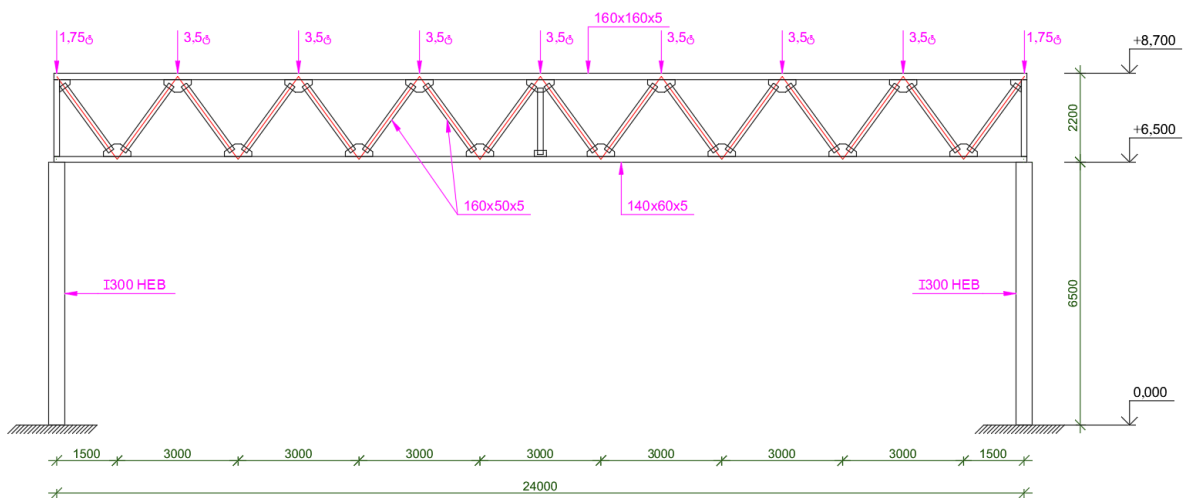
დიდმალიანი კონსტრუქციების გაანგარიშება ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე

4.1 გადახურვის დიდმალიანი კონსტრუქციის გაანგარიშება ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე - ნორმატიული მეთოდით

პარაგრაფის მიზანია, ბრტყელი დიდმალიანი ფოლადის წამწე გავიანგარიშოთ ვერტიკალური სეისმური ზემოქმედების გათვალისწინებით და განვსაზღვროთ:

- წამწის დინამიკური მახასიათებლები;
- სეისმური დატვირთვა;
- წამწის მახასიათებელ წერტილთა გადაადგილება;
- სვეტებში აღძრული ძალები.

წამწის კონსტრუქციის გაანგარიშება ჩატარდა გამოთვლითი კომპლექსის “Lira Sapr 2017”-ის მეშვეობით, სასრულ ელემენტთა მეთოდის საფუძველზე. საანგარიშო მოდელი და განივკვეთები წარმოდგენილია ნახაზ 38-ზე.



ნახაზი 36. ფოლადის დიდმალიანი კონსტრუქციის საანგარიშო მოდელი

გამოყენებული ნორმატიული დოკუმენტები

საანგარიშო მოდელი შედგენილია შემდეგი ნორმატიული დოკუმენტების მოთხოვნათა გათვალისწინებით:

- სამშენებლო ნორმები და წესები “სეისმომედეგი მშენებლობა” (პნ 01.01-09);

ბ) სამშენებლო ნორმები და წესები “შენობების და ნაგებობების ფუძეები” (პნ 02.01-08);

გ) სამშენებლო ნორმები და წესები “მშენებლობა სეისმურ რაიონებში” (სნიპ II-7-81);

დ) სამშენებლო ნორმები და წესები “დატვირთვები და ზემოქმედებები” (სნიპ 2.01.07-85);

ე) დაპროექტების ნორმა “სამშენებლო კლიმატოლოგია”.

სამშენებლო მასალა:

ლითონის მარკა C235, რომლის დრეკადობის მოდული არის $E=210000$ მპა, პუასონის კოეფიციენტი $\nu =0.3$; საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე და გაჭიმვაზე დენადობის ზღვრის მიხედვით $R_y =230$ მპა.

დიდმალიანი ფოლადის წამწეზე მოქმედებს მუდმივი და სეისმური დატვირთვა.

ა) მუდმივი დატვირთვა მოიცავს ყველა მზიდი კონსტრუქციის წონასა და მათზე მოქმედ დატვირთვას (3,5 და 1,75 შეყურსულ ძალებს).

თანახმად საქართველოში მოქმედი პროექტირების ნორმებისა “НАГРУЗКИ И ВОЗ-ДЕЙСТВИЯ” СНиП 2.01.07-85*, განსახილველ შენობის კონსტრუქციებზე მოსული დატვირთვების საიმედოობის კოეფიციენტი Γ_f ლითონის კონსტრუქციებზე მუდმივი დატვირთვებისთვის არის 1.05;

ბ) სეისმიკა:

განხილულია სეისმური ძალის ზემოქმედების ორი მიმართულება:

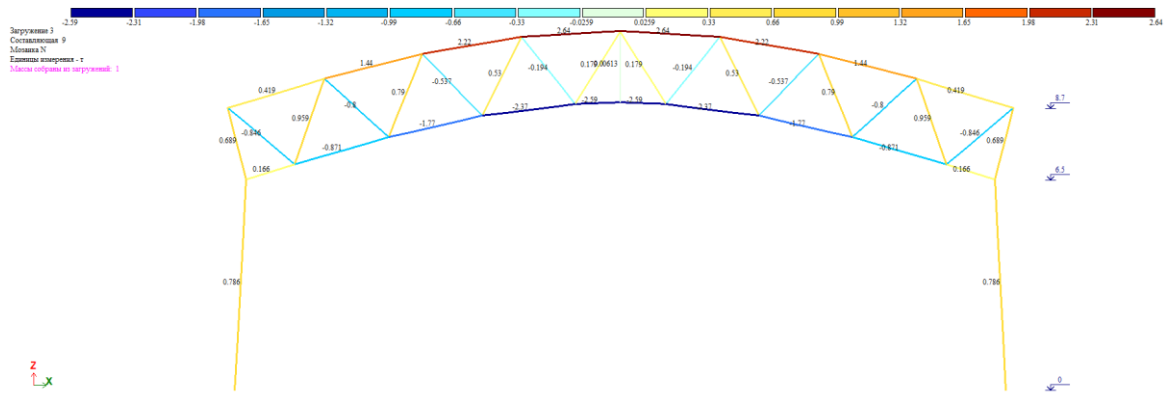
X ღერძისა და Z ღერძის გასწვრივ.

სეისმური დატვირთვა გამოითვლება ფორმულით $S= k_0k_1 k_2 k_3 k_{II}A Q \dots$, სადაც $k_0=1$, $k_1=0.25$, $k_2=1.0$, $k_3=1.0$, $k_{II}=1$, $A=0.17$

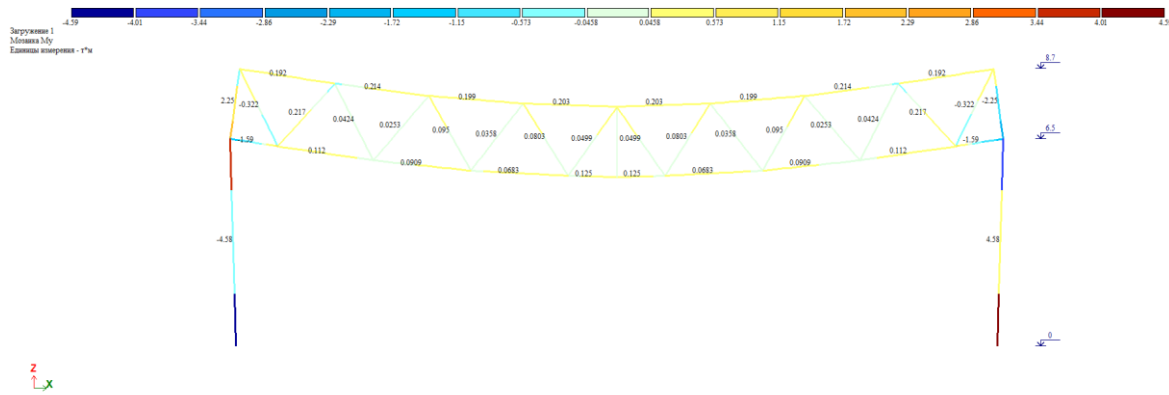
გრუნტის კატეგორია სეისმური თვისებების მიხედვით არის მეორე.

დინამიკური დატვირთვების სიდიდეთა ფორმირებისთვის საანგარიშო სტატიკური დატვირთვები მრავლდება თანწყობის კოეფიციენტზე, რომელიც მუდმივი დატვირთვისთვის არის 0.9 (პნ 01.01-09, პუნქტი 4.1).

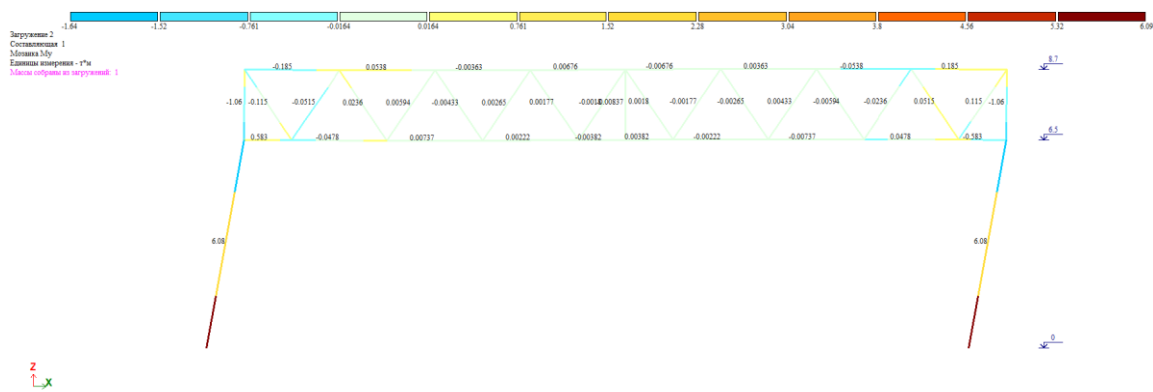
დინამიკური დატვირთვები არის ნიშანცვლადი და ურთიერთგამომრიცხავი, რისი გათვალისწინებაც ხდება ძალების საანგარიშო შეხამების ანგარიშისას.



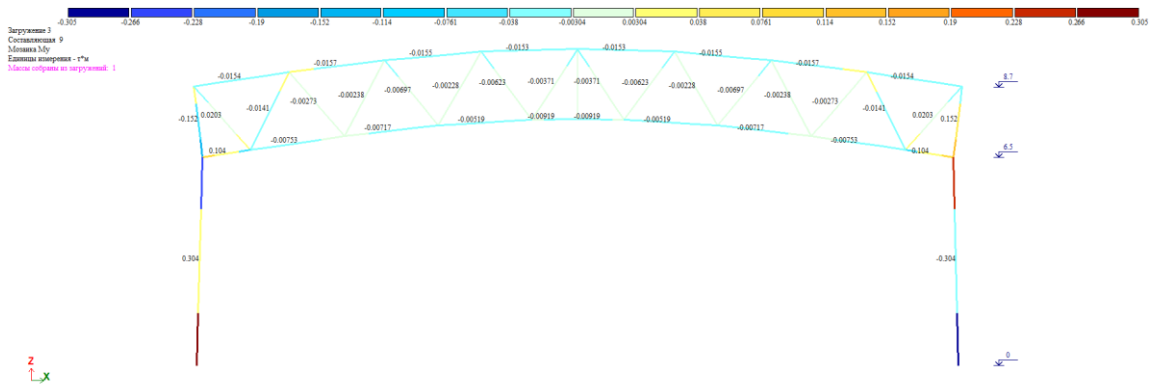
ნახაზი 39. Z ღერძის გასწვრივ მოქმედი სეისმური დატვირთვით აღძრული N მკუმშავი/გამჭიმავი ძალა (ტ)



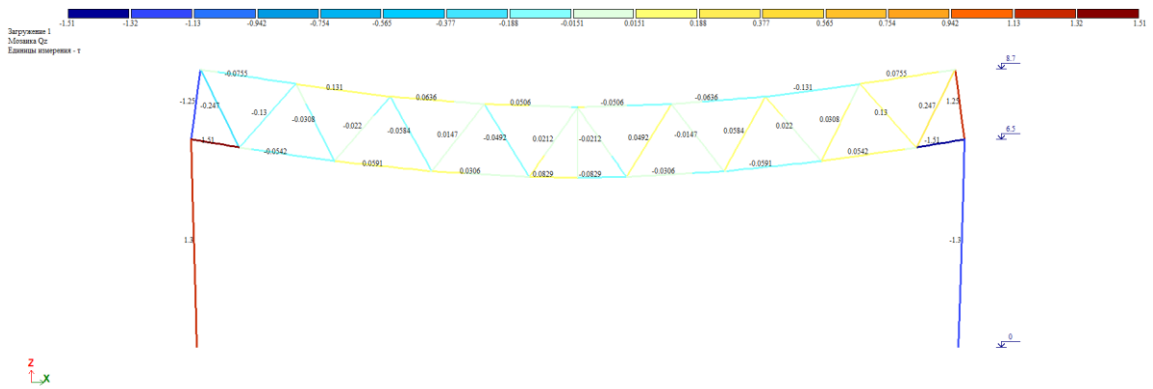
ნახაზი 40. მუდმივი დატვირთვით აღძრული My მლუნავი მომენტი (ტ*მ)



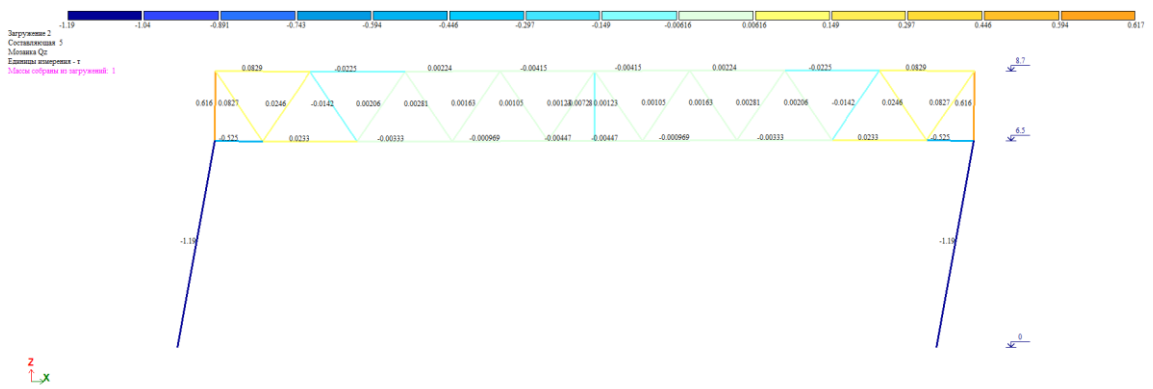
ნახაზი 41. X ღერძის გასწვრივ მოქმედი სეისმური დატვირთვით აღძრული My მლუნავი მომენტი (ტ*მ)



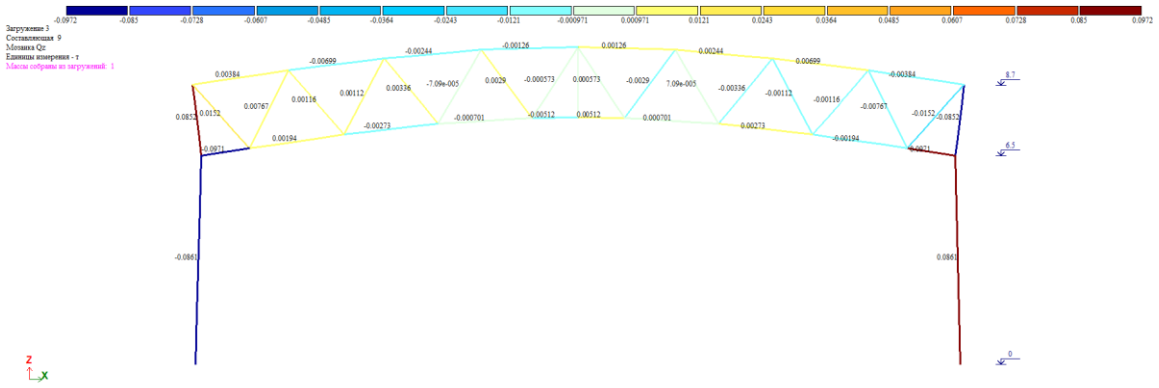
ნახაზი 42. Z ღერძის გასწვრივ მოქმედი სეისმური დატვირთვით აღბრული M_x მდუნავი მომენტი (ტ*მ)



ნახაზი 43. მუდმივი დატვირთვით აღბრული Q_z განივი ძალა (ტ)



ნახაზი 44. X ღერძის გასწვრივ მოქმედი სეისმური დატვირთვით აღბრული Q_z განივი ძალა (ტ)



ნახაზი 45. Z ღერძის გასწვრივ მოქმედი სეისმური დატვირთვით აღძრული Qz განივი ძალა (ტ)

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	Qz გადამჭრელი ძალა	1.51	1.19	0.1	ტ
3	M _y მღუნავი მომენტი	4.59	6.09	0.3	ტ*მ

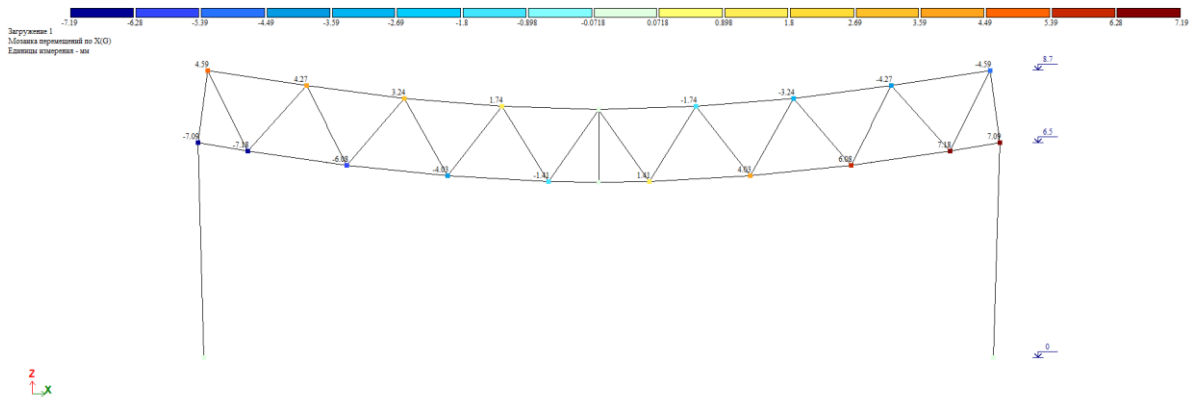
ცხრილი 1

მახასიათებელ წერტილთა გადაადგილება (დეფორმაციები):

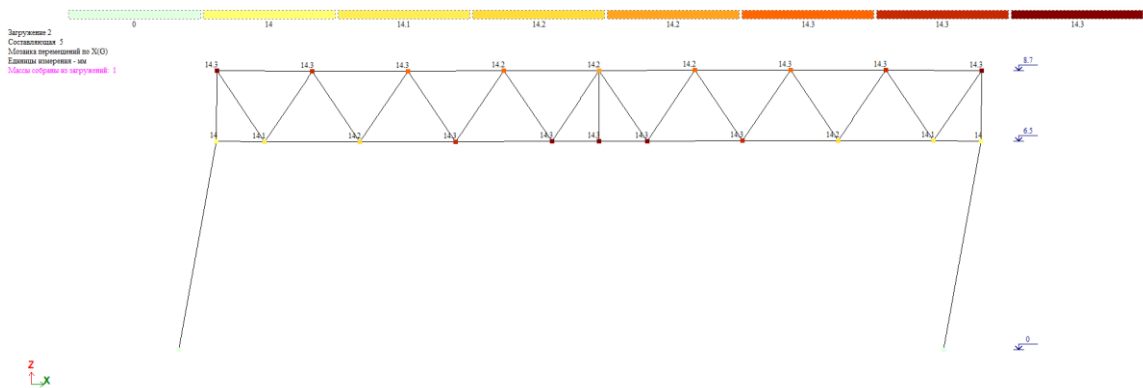
მაქსიმალური გადახრა სეისმიკისგან:

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

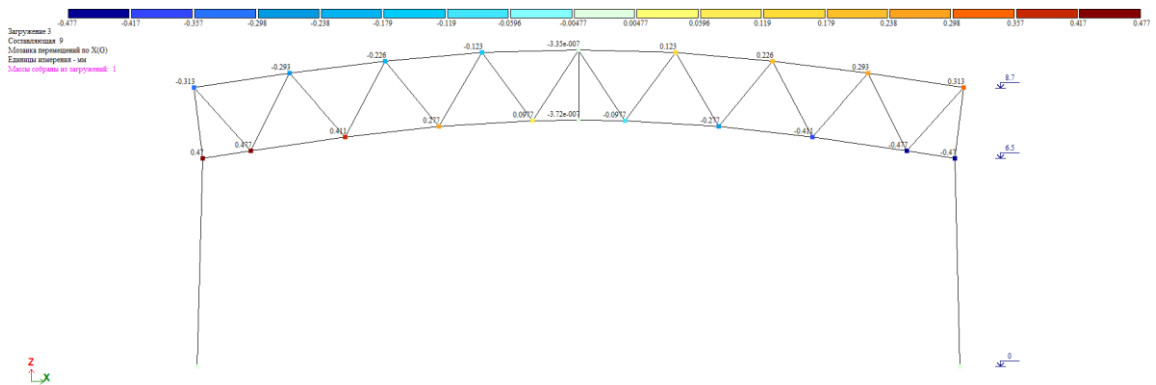
Z ღერძის გასწვრივ $f_z = 3.25$ მმ (ნახ. 4.16);



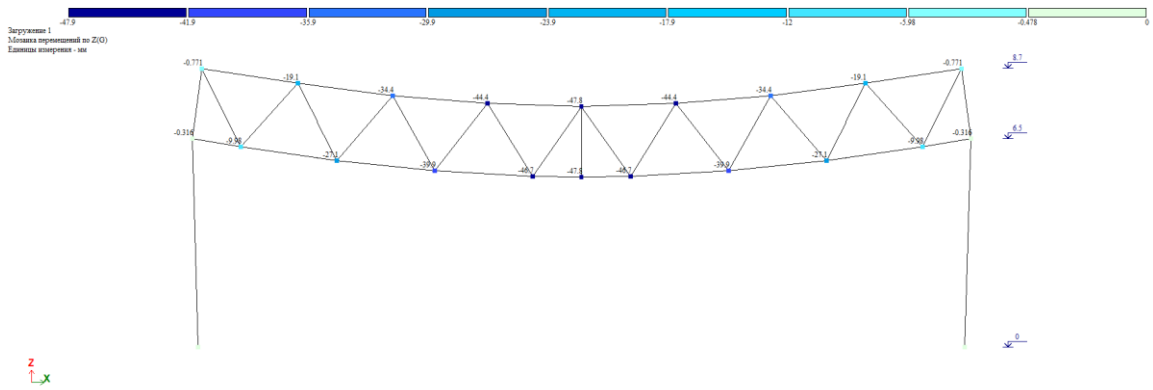
ნახაზი 46. დეფორმაციული სქემა მუდმივი დატვირთვისგან (გადაადგილება X ღერძის გასწვრივ, მმ)



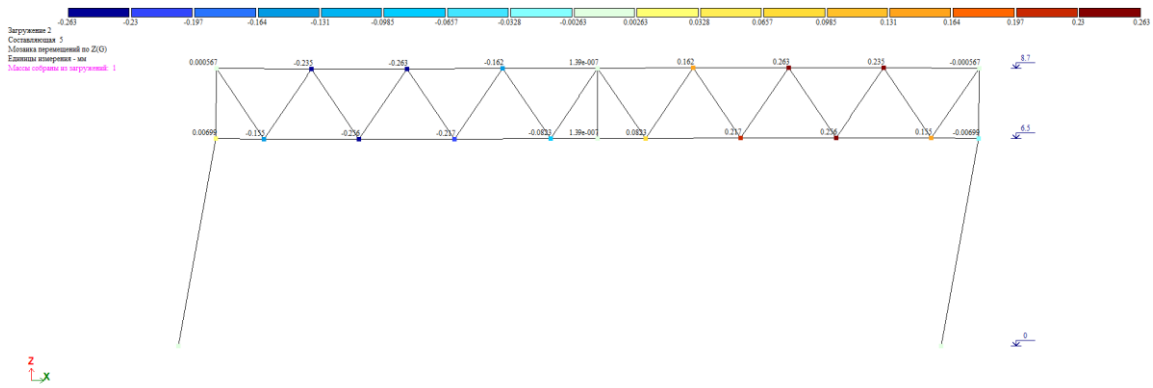
ნახაზი 47. დეფორმაციული სქემა X ღერძის გასწვრივ მოქმედი ჰორიზონტალური სეისმური ზემოქმედებისგან (გადაადგილება X ღერძის გასწვრივ, მმ)



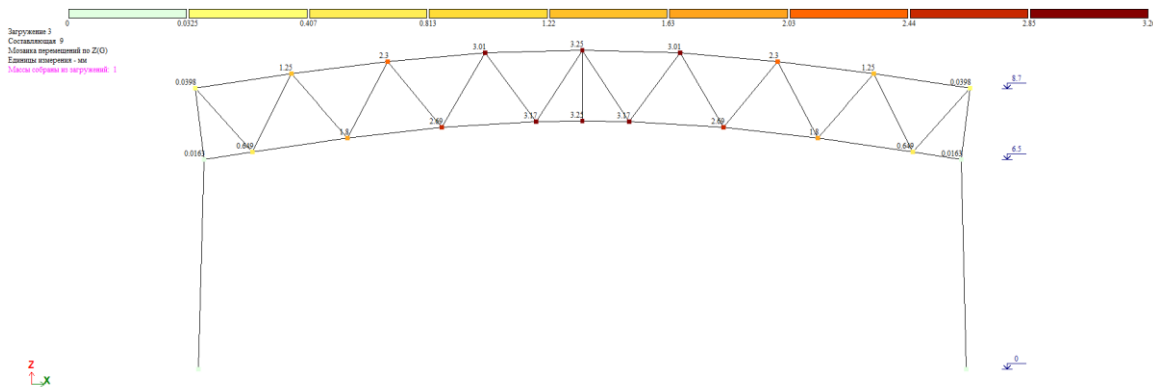
ნახაზი 48. დეფორმაციული სქემა Z ღერძის გასწვრივ მოქმედი ვერტიკალური სეისმური ზემოქმედებისგან (გადაადგილება X ღერძის გასწვრივ, მმ)



ნახაზი 49. დეფორმაციული სქემა მუდმივი დატვირთვისგან (გადაადგილება Z ღერძის გასწვრივ, მმ)



ნახაზი 50. დეფორმაციული სქემა X ღერძის გასწვრივ მოქმედი ჰორიზონტალური სეისმური ზემოქმედებისგან (გადაადგილება Z ღერძის გასწვრივ, მმ)

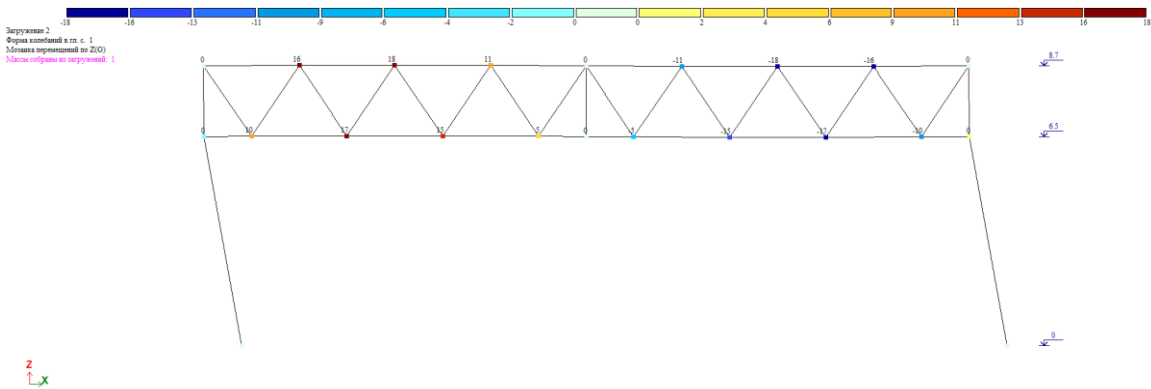


ნახაზი 51. დეფორმაციული სქემა Z ღერძის გასწვრივ მოქმედი ვერტიკალური სეისმური ზემოქმედებისგან (გადაადგილება Z ღერძის გასწვრივ, მმ)

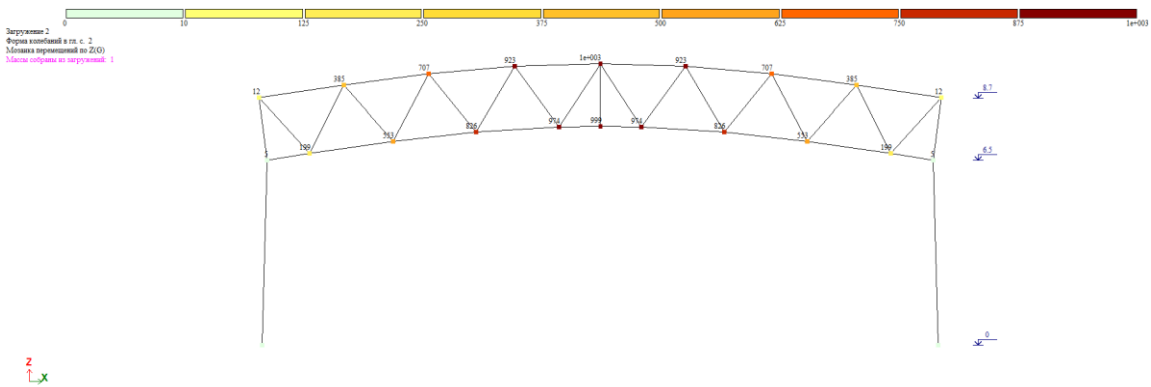
კონსტრუქციის მუდმივი დატვირთვითა და X და Z ღერძის გასწვრივ მოქმედი სეისმური დატვირთვით გამოწვეული გადაადგილება					
№	გადაადგილება	მუდმივი დატვირთვა	სეისმური დატვირთვა (X ღერძი)	სეისმური დატვირთვა (Z ღერძი)	სიდიდე
1	X ღერძის გასწვრივ	7.19	14.3	0.47	მმ
2	Z ღერძის გასწვრივ	47.9	0.26	3.25	მმ

ცხრილი 2

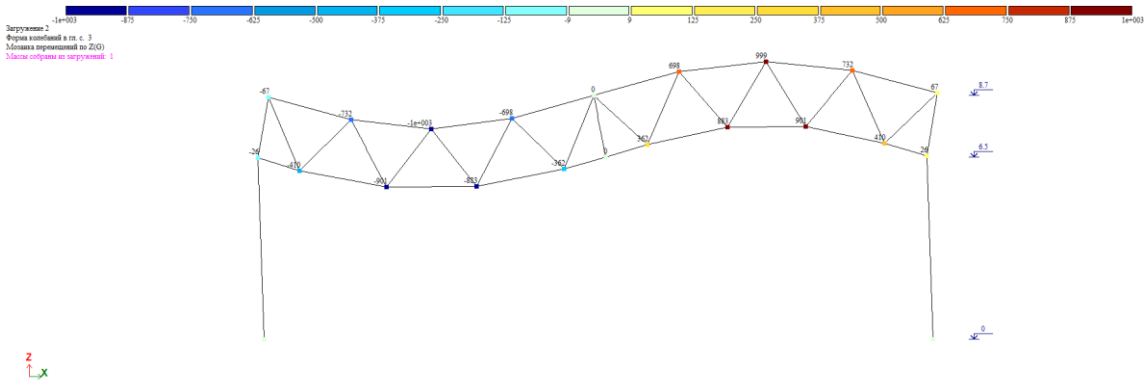
წამწის რხევის ფორმები



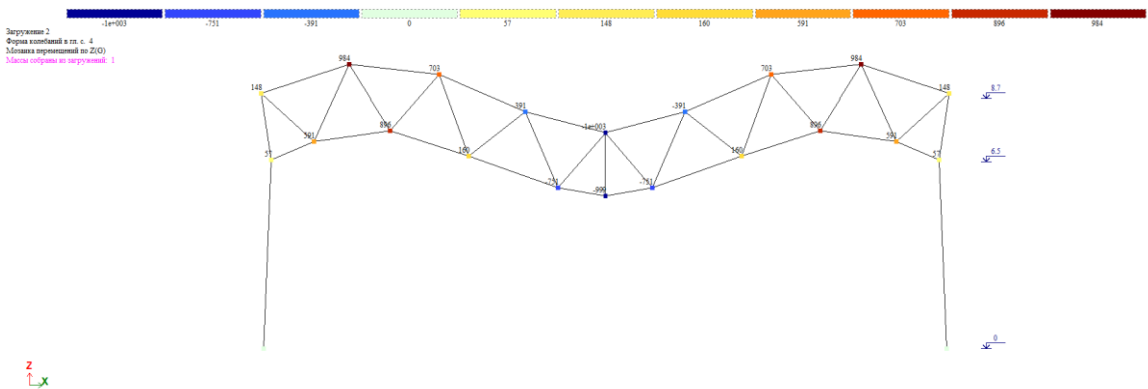
ნახაზი 52. X ღერძის გასწვრივ მოქმედი ჰორიზონტალური სეისმური ზემოქმედებით გამოწვეული რხევის პირველი ფორმა



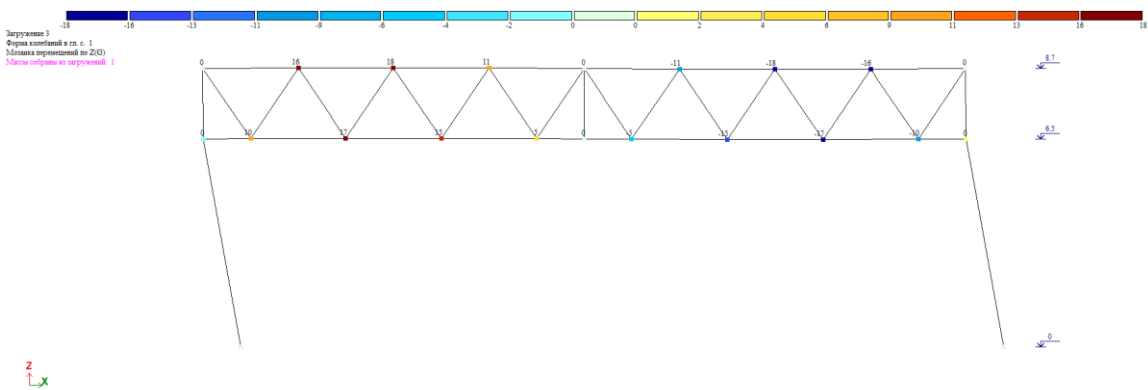
ნახაზი 53. X ღერძის გასწვრივ მოქმედი ჰორიზონტალური სეისმური ზემოქმედებით გამოწვეული რხევის მე-2 ფორმა



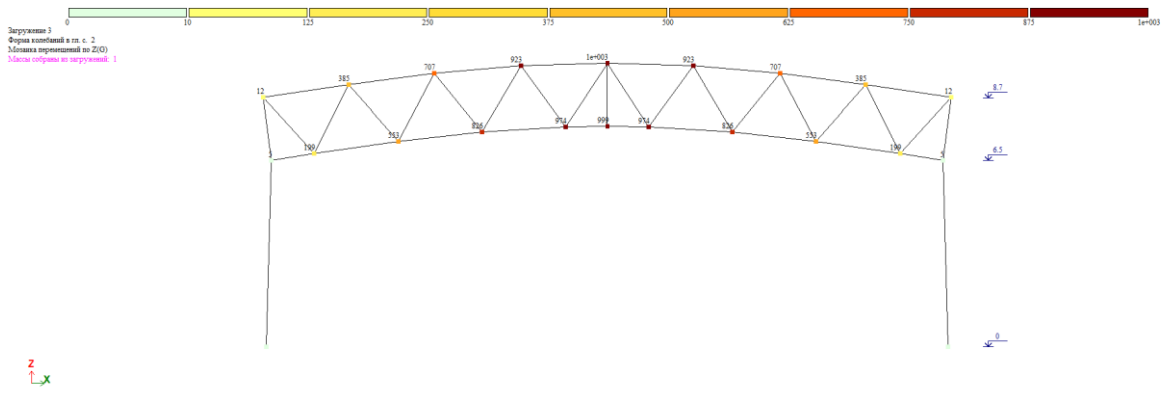
ნახაზი 54. X ღერძის გასწვრივ მოქმედი ჰორიზონტალური სეისმური ზემოქმედებით გამოწვეული რხევის მე-3 ფორმა



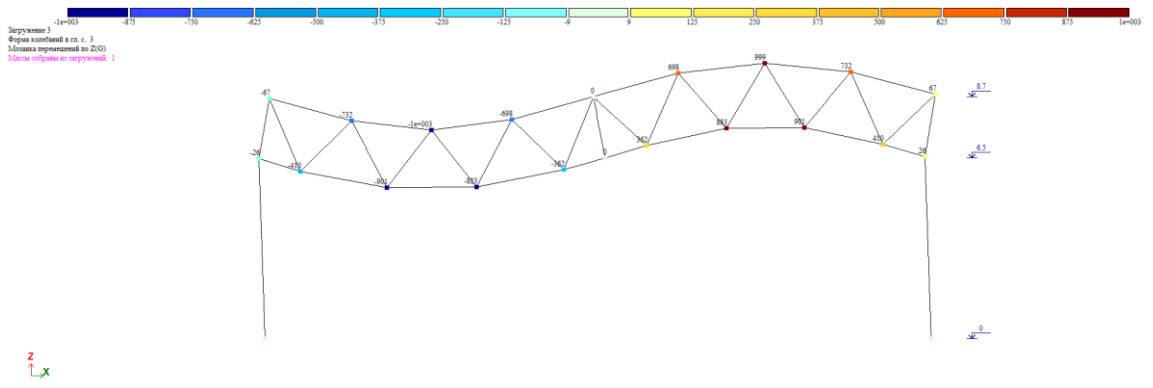
ნახაზი 55. X ღერძის გასწვრივ მოქმედი ჰორიზონტალური სეისმური ზემოქმედებით გამოწვეული რხევის მე-4 ფორმა



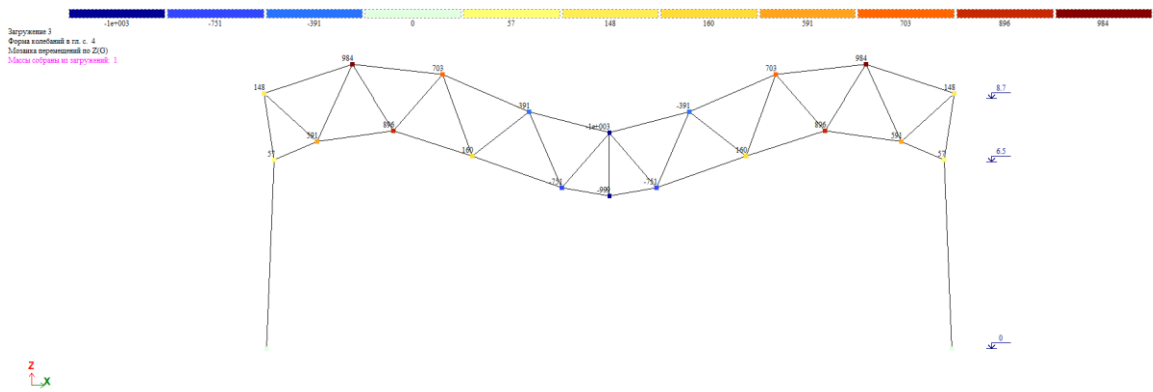
ნახაზი 56. Z ღერძის გასწვრივ მოქმედი ვერტიკალური სეისმური ზემოქმედებით გამოწვეული რხევის პირველი ფორმა



ნახაზი 57. Z დერძის გასწვრივ მოქმედი ვერტიკალური სეისმური ზემოქმედებით გამოწვეული რხევის მე-2 ფორმა



ნახაზი 58. Z დერძის გასწვრივ მოქმედი ვერტიკალური სეისმური ზემოქმედებით გამოწვეული რხევის მე-3 ფორმა



ნახაზი 59. Z დერძის გასწვრივ მოქმედი ვერტიკალური სეისმური ზემოქმედებით გამოწვეული რხევის მე-4 ფორმა

რხევის საკუთარი პერიოდი $T_x = 0.81$ წმ;

№ ???????	№	Собст. значения	Частоты		Период (с)	Козф. распред.	Мод. масса (%)	Сумма мод. масс (%)
			Круг. частота (рад/с)	Частота (Гц)				
2	1	0.129	7.723	1.229	0.814	- 1.004	99.981	99.981
2	2	0.060	16.785	2.671	0.374	0.000	0.000	99.981
2	3	0.018	54.190	8.625	0.116	- 0.019	0.018	99.999
2	4	0.010	97.172	15.465	0.065	0.000	0.000	99.999
2	5	0.008	118.439	18.850	0.053	0.000	0.000	99.999
2	6	0.007	138.922	22.110	0.045	- 0.002	0.000	99.999
2	7	0.006	174.755	27.813	0.036	0.000	0.000	99.999
2	8	0.005	203.396	32.371	0.031	0.000	0.000	99.999
2	9	0.005	219.013	34.857	0.029	0.001	0.000	99.999
2	10	0.005	221.949	35.324	0.028	0.000	0.000	99.999
2	11	0.003	300.832	47.879	0.021	0.000	0.000	99.999
2	12	0.003	330.797	52.648	0.019	- 0.004	0.000	100.000
2	13	0.003	335.564	53.407	0.019	0.000	0.000	100.000
2	14	0.003	376.227	59.878	0.017	0.000	0.000	100.000
2	15	0.002	431.744	68.714	0.015	0.000	0.000	100.000
2	16	0.002	472.572	75.212	0.013	0.000	0.000	100.000
2	17	0.002	498.245	79.298	0.013	0.000	0.000	100.000
2	18	0.002	506.827	80.664	0.012	0.000	0.000	100.000
2	19	0.002	535.603	85.244	0.012	0.009	0.000	100.000
2	20	0.002	537.281	85.511	0.012	0.000	0.000	100.000
3	1	0.129	7.723	1.229	0.814	0.000	0.000	0.000
3	2	0.060	16.785	2.671	0.374	1.246	76.449	76.449
3	3	0.018	54.190	8.625	0.116	0.000	0.000	76.449
3	4	0.010	97.172	15.465	0.065	0.398	8.394	84.843
3	5	0.008	118.439	18.850	0.053	0.098	0.476	85.319
3	6	0.007	138.922	22.110	0.045	0.000	0.000	85.319
3	7	0.006	174.755	27.813	0.036	- 0.211	2.213	87.532
3	8	0.005	203.396	32.371	0.031	0.000	0.000	87.532
3	9	0.005	219.013	34.857	0.029	0.000	0.000	87.532
3	10	0.005	221.949	35.324	0.028	- 0.077	0.280	87.812
3	11	0.003	300.832	47.879	0.021	0.188	1.856	89.668
3	12	0.003	330.797	52.648	0.019	0.000	0.000	89.668
3	13	0.003	335.564	53.407	0.019	- 0.745	9.142	98.809
3	14	0.003	376.227	59.878	0.017	0.000	0.000	98.809
3	15	0.002	431.744	68.714	0.015	- 0.009	0.004	98.813
3	16	0.002	472.572	75.212	0.013	0.000	0.000	98.813
3	17	0.002	498.245	79.298	0.013	0.002	0.000	98.813
3	18	0.002	506.827	80.664	0.012	0.000	0.000	98.813
3	19	0.002	535.603	85.244	0.012	0.000	0.000	98.813
3	20	0.002	537.281	85.511	0.012	0.256	0.236	99.050

ცხრილი 3. მოდალური ანალიზის შედეგები

4.2 გადახურვის დიდმალიანი კონსტრუქციის გაანგარიშება ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე

წარმოდგენილ ნაშრომში განხილული იყო გადახურვის დიდმალიანი კონსტრუქციის დინამიკური მახასიათებლების განსაზღვრა და შესაბამისად ვერტიკალური სეისმური დატვირთვის განსაზღვრის ალგორითმი (იხილეთ თავი 3, § 3.1, § 3.2). 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 დატვირთვისათან ერთად შეადგენს $m = 14 \cdot 10^3$ კგ. აღნიშნული მასა კონცენტრირებულია შემცველი 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). შემცველი კოჭის ინერციის მომენტი შეადგენს $I = 0,8 \cdot 10^{-2} \text{ მ}^4$. მასალის დრეკადობის მოდული $E = 2,1 \cdot 10^4 \frac{\text{მ}}{\text{მ}^2}$ საყრდენების დამყოლობისთვის ვიღებთ რამდენიმე მნიშვნელობას/თანაფარდობას:

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

ზემოთ (იხილეთ § 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:

$$\begin{aligned} \left(\frac{m}{4}\omega_i^2\delta_a - 1\right)y_i + \frac{m}{2} \cdot \frac{1}{2}\delta_a\omega_i^2y_{2i} + 0 &= 0 \\ \frac{m}{4} \cdot \frac{1}{2}\delta_a\omega_i^2y_{1i} + \left[\frac{m}{2}\left(\frac{l^3}{48EI} + \frac{\delta_a + \delta_b}{4}\right)\omega_i^2 - 1\right]y_{2i} + \frac{m}{4} \cdot \frac{1}{2}\delta_b\omega_i^2y_{3i} &= 0 \quad (4.1) \\ 0 + \frac{m}{2} \cdot \frac{1}{2}\delta_b\omega_i^2y_{2i} + \left(\frac{m}{4}\delta_b\omega_i^2 - 1\right)y_{3i} &= 0 \end{aligned}$$

გამარტივების შემდეგ მივიღებთ:

$$\begin{aligned} (2 - k_i)y_{1i} + 2y_{2i} + 0 &= 0 \\ y_{2i} + (10,5 - k_i)y_{2i} + y_{3i} &= 0 \quad (4.2) \\ 0 + 2y_{2i} + (2 - k_i)y_{3i} &= 0 \end{aligned}$$

$$\text{სადაც, } k_i = \frac{1}{\frac{M}{4} \cdot \frac{1}{2}\delta_a\omega_i^2} = \frac{1}{14 \cdot 10^{-5}\omega_i^2};$$

(2)-ს დეტერმინანტის ნულიდან ტოლობით

$$\begin{bmatrix} 2 - k_i & 2 & 0 \\ 1 & 10,5 - k_i & 1 \\ 0 & 2 & 2 - k_i \end{bmatrix} = 0 \quad (4.3)$$

და მისი გაშლილი სახით ჩაწერით მივიღებთ:

$$34 - 42k_i + 14,5k_i^2 - k_i^3 = 0 \quad (4.4)$$

განტოლების ფესვების მნიშვნელობებისათვის გვექნება:

$$k_1 = 10,947; k_2 = 2; k_3 = 1,553;$$

შესაბამისად რხევის პირველი, მეორე და მესამე ფორმის შესაბამისი სიხშირეებისა და პერიოდისთვის გვექნება: რხევის პირველი ფორმისთვის

$\frac{1}{14 \cdot 10^{-5} \omega_i^2} = 10,947$, 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.

რხევის ფორმების განსაზღვრისათვის (4.2) განტოლებათა სისტემა რხევის პირველი ფორმისთვის ($k_1 = 10,947$) გადაიწერება შემდეგი სახით:

$$\begin{aligned} (2 - 10.95) + 2\rho_{2i} + 0 &= 0 \\ 1 + (10.5 - 10.95)\rho_{2i} + \rho_{3i} &= 0 \\ 0 + 2\rho_{2i} - 8.95\rho_{3i} &= 0 \end{aligned}$$

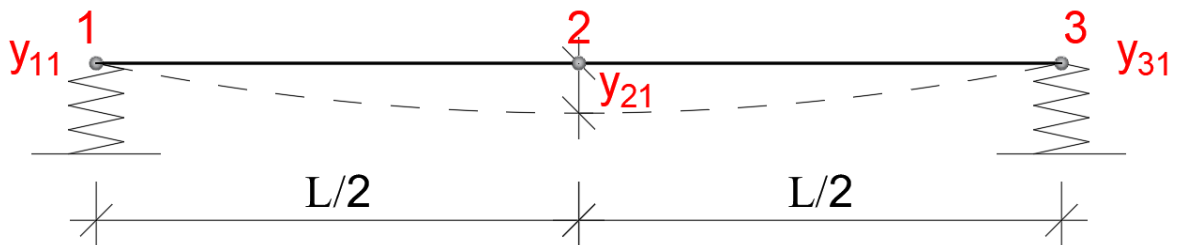
$$\text{აქ } \rho_{ni} = \frac{y_{ni}}{y_{1i}};$$

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

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

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

შესაბამისად რხევის I ფორმისათვის გვექნება



ნახაზი 60.

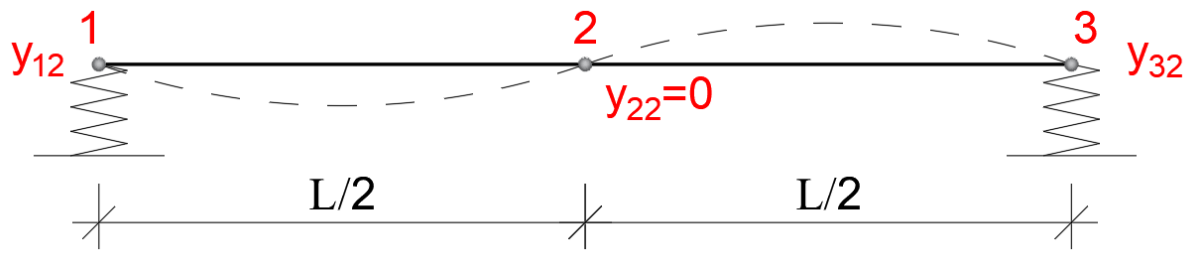
რხევის მეორე ფორმისთვის:

$$\begin{aligned} (2 - 2) + 2\rho_{22} + 0 &= 0 \\ 1 + (10.5 - 2)\rho_{22} + \rho_{32} &= 0 \\ 0 + 2\rho_{22} + (2 - 2)\rho_{32} &= 0 \end{aligned}$$

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 რხევის მეორე ფორმისთვის გვექნება



ნახაზი 61.

რხევის მესამე ფორმისთვის

$$(2 - 1.55) + 2\rho_{23} + 0 = 0$$

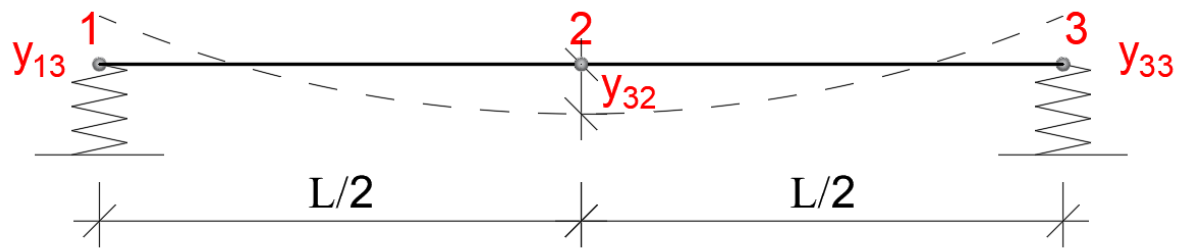
$$1 + (10.5 - 1.55)\rho_{23} + \rho_{33} = 0$$

$$0 + 2\rho_{23} + (2 - 1.55)\rho_{33} = 0$$

მივიღებთ

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

შესაბამისად რხევის მესამე ფორმისთვის გვექნება



ნახაზი 62.

დაკმაყოფილებულია ასევე რხევის მთავარი ფორმების ურთიერთორთოგონალობის პირობა.

აქ მიღებული (ნაჩვენები) რხევის მახასიათებლებიდან ჩვენთვის არსებითი მნიშვნელობა აქვს რხევის პირველ (ძირითად) პერიოდსა და ფორმას. (იხილეთ §3.1, §3.2).

2) საყრდენების დამყოლობის სხვა თანაფარდობებისთვის

$$\frac{\delta_a}{\delta_b} = 1; \delta_a = \delta_b = 0.4 \cdot 10^{-7} \text{ მ/ნ.}$$

ზემოთ (იხილეთ § 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:

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

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

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

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

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

გამარტივების შემდეგ მივიღებთ:

$$\begin{aligned} (2 - k_i)y_{1i} + 2y_{2i} + 0 &= 0 \\ y_{2i} + (19 - k_i)y_{2i} + y_{3i} &= 0 \\ 0 + 2y_{2i} + (2 - k_i)y_{3i} &= 0 \end{aligned} \quad (4.2)$$

მისი დეტერმინანტი იქნება:

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

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

(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:

$$\begin{aligned} (2 - 19.23) + 2\rho_{2i} + 0 &= 0 \\ 1 + (19 - 19.23)\rho_{2i} + \rho_{3i} &= 0 \\ 0 + 2\rho_{2i} + (2 - 19.23)\rho_{3i} &= 0 \end{aligned}$$

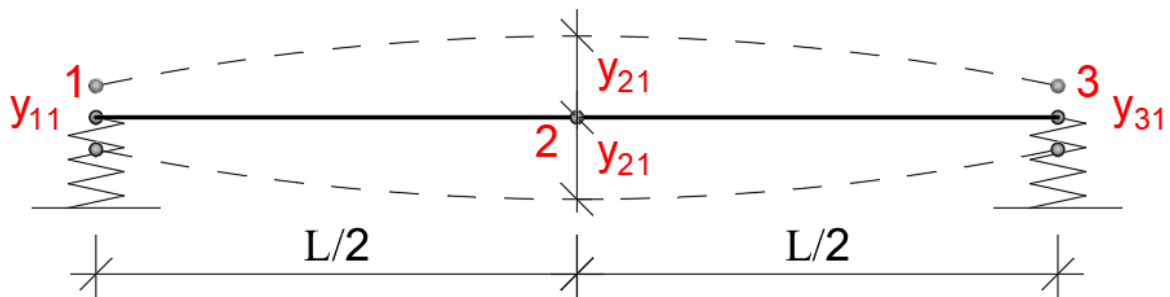
$$\text{აქ } \rho_{ni} = \frac{y_{ni}}{y_{1i}};$$

i – რხევის 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 რხევის I ფორმისათვის გვექნება



ნახაზი 63.

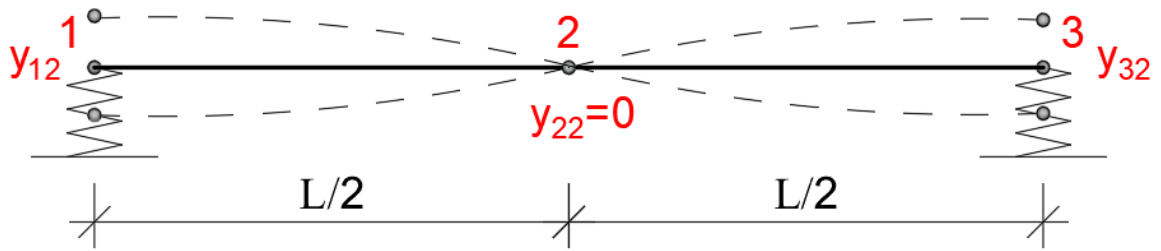
რხევის მეორე ფორმისთვის:

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

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 რხევის მეორე ფორმისთვის გვექნება



ნახაზი 64.

რხევის მესამე ფორმისთვის

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

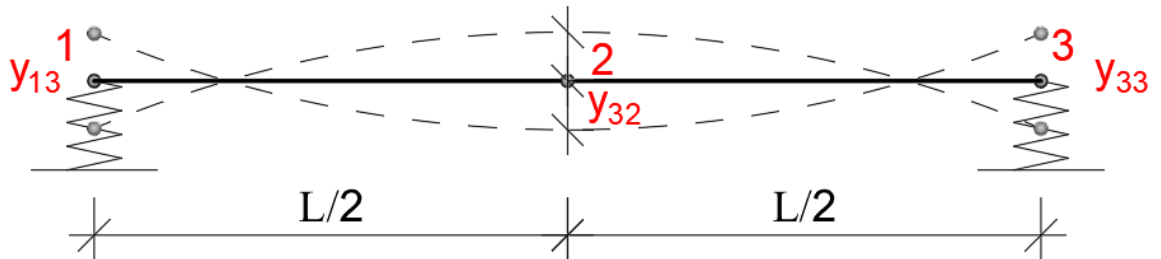
$$1 + (19 - 1.77)\rho_{23} + \rho_{33} = 0$$

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

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



ნახაზი 65.

დაკმაყოფილებულია ასევე რხევის მთავარი ფორმების ურთიერთორთოგონალობის პირობა.

აქ მიღებული (ნაჩვენები) რხევის მახასიათებლებიდან ჩვენთვის არსებითი მნიშვნელობა აქვს რხევის პირველ (ძირითად) პერიოდსა და ფორმას. (იხილეთ § 3.1, § 3.2).

4.3 გადახურვის დიდმალიანი კონსტრუქციის გაანგარიშება შემთხვევით სეისმურ ზემოქმედებაზე

მოცემულ პარაგრაფში წარმოდგენილია § 3.3 -ში დამუშავებული მეთოდის რეალიზაცია კონკრეტული კონსტრუქციისათვის. განსახილველი კონსტრუქციის და მისი ელემენტების გეომეტრიული და ინერციული მახასიათებლები იგივეა რაც § 4.1 და § 4.2. დანარჩენი ზემოქმედების მახასიათებლებისთვის კი ვიღებთ შემდეგ მონაცემებს:

$$\alpha = 6 \text{ წმ}^{-1}; \beta = 30 \text{ წმ}^{-1}; C = 0,4 \text{ წმ}^{-1}; A = 2,8 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}^2};$$

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 $\omega - \beta = l$; $\omega + \beta = l$; $dw = dl$; შემოტანითა და შესაბამისი 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 (იხილეთ ცხრილი 4)

t	Y ₁₁ (t)	Y ₁₂ (t)	Y ₁₃ (t)	e ^{-ct}	ψ ₁	ψ ₂	ψ ₃
0	0	0	0	1	0	0	0
0.2	0.0526	0.0001	0.0067	0.9231	0.2117	0.0092	0.0755
0.4	0.0616	0.0016	0.0036	0.8521	0.2115	0.1079	0.0511
0.6	0.0588	0.0028	0.0021	0.7866	0.1908	0.0416	0.0360
0.8	0.0565	0.0032	0.0020	0.7262	0.1726	0.0411	0.0325
1.0	0.0559	0.0033	0.0022	0.6703	0.1551	0.0385	0.0314
1.2	0.0560	0.0033	0.0022	0.6138	0.1453	0.0353	0.0288
1.4	0.0560	0.0033	0.0022	0.5712	0.1352	0.0328	0.0268

ცხრილი 4

მიღებული მნიშვნელობების გამოყენებით, ფორმულების შესაბამისად ვადგენთ მთავარი კოორდინატების სტანდარტების მნიშვნელობებს და „3σ“-ს წესით ვიღებთ მათ საანგარიშო მნიშვნელობებს. ფორმულებით 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 $\cong 3,61$ მმ.

4.4 რეალური აქსელეროგრამებითა და ნორმაში არსებული სპექტრული მრუდების გამოყენებით, დიდმალიანი კონსტრუქციის სეისმომედეგობაზე გაანგარიშების შედეგების შედარებითი ანალიზი.

ამ პარაგრაფის მიზანია განისაზღვროს ფოლადის დიდმალიანი წამწის ვერტიკალური (Z ღერძის მიმართ) გადაადგილება რეალური აქსელეროგრამებითა და ნორმაში არსებული სპექტრული მრუდების გამოყენებით ანგარიშისას და გაკეთდეს მისი შედარებითი ანალიზი. მოცემულ მოდელში საყრდენებს წარმოადგენს ფოლადის სვეტები, რომელზეც სახსრულად ეყრდნობა დიდმალიანი წამწე.

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.

ნორმატიული დოკუმენტის „სეისმომედეგი მშენებლობა“- PN 01.01-09 მიხედვით თბილისი ხვდება 8 MSK ინტენსივობის ზონაში, მაშინ როდესაც PGA-ს მნიშვნელობა მისთვის მხოლოდ 0.17 გ შეადგენს, საანგარიშო ბალი და პიკური ჰორიზონტალური აჩქარების მნიშვნელობები მიეკუთვნება საშუალო (მე-II კატეგორიის) სეისმური თვისებების გრუნტებს, რომლებისათვისაც გრუნტების პარამეტრები $V_{p0}=500-700$ მ/წმ, $V_{s0}=320-350$ მ/წმ და $\rho_0= 1700-1800$ კგ/მ³. საქართველოში ნებისმიერი ტერიტორიის სეისმური საშიშროების შეფასება ითხოვს თანამედროვე საერთაშორისო სტანდარტების გათვალისწინებას.

სეისმური საშიშროების შეფასების შედეგად აჩქარების მიღებული მნიშვნელობისათვის ხდება აქსელეროგრამების გადათვლა (აქსელეროგრამების პაკეტის შედგენა 7 მიწისძვრის ჩანაწერისათვის) და შესაბამისი სპექტრის აგება სეისმოპროფილირების შედეგად მიღებული ლოკალური აგებულების გათვალისწინებით.

თბილისში ჩატარებული სამი გეოფიზიკური კვლევის მიხედვით დგინდება რომ ტერიტორიის რეალური გრუნტის აჩქარებები 0.17g-ს აღემატება.

კვლევა №1.

გეოფიზიკური კვლევების საფუძველზე გრუნტის ზედა 30 მ ფენაში განივი ტალღების სიჩქარეების გასაშუალოებული მნიშვნელობა (V_{s30}) მიღებული იქნა 386 მ/წმ.

საანგარიშო ჰორიზონტალური აჩქარების დაზუსტებული მნიშვნელობა შეადგენს 0.19g-ს (1.85 მ/წმ²), რომელზეც უნდა გამრავლდეს შენობების გაანგარიშების დროს ნორმირებული აქსელეროგრამები.

კვლევა №2.

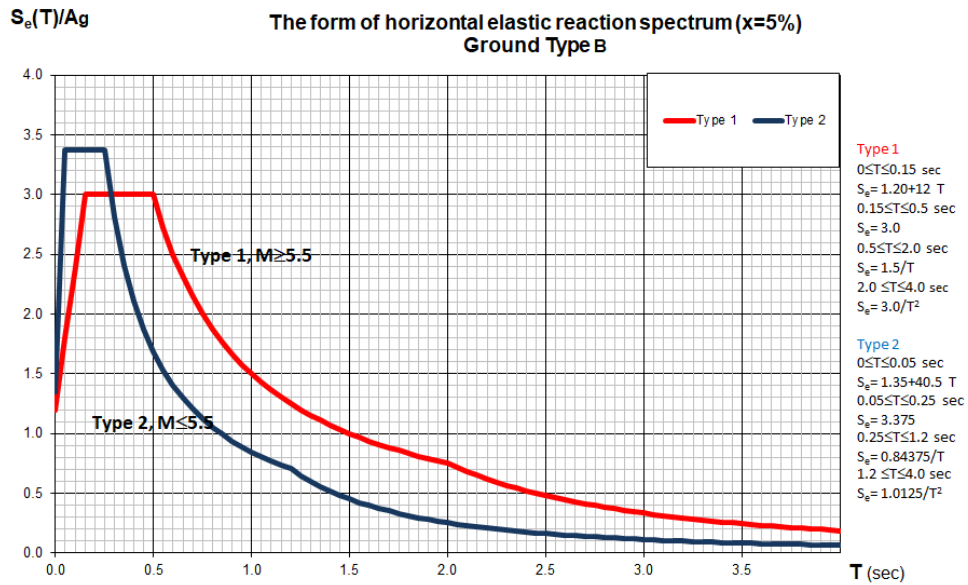
საკვლევი უბნისათვის ჩატარდა სეისმური საშიშროების შეფასება ალბათური მეთოდით, რომლის შედეგადაც 475 წელი დაბრუნების პერიოდისთვის და 10% ალბათობის მნიშვნელობისათვის მიღებული იქნა 0.21g.

კვლევა №3.

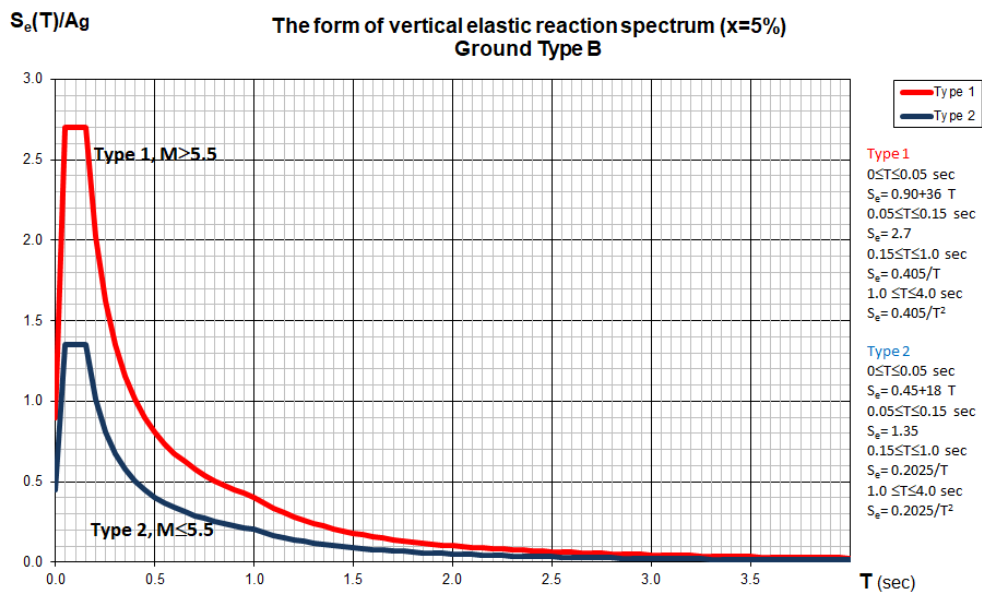
გეოფიზიკური კვლევების შედეგად მივიღეთ, რომ საანგარიშო ჰორიზონტალური აჩქარების მნიშვნელობა (პნ 01.01-09-ს შესაბამისად) შეადგენს 0.22g-ს (2.158 მ/წმ²), რომელზეც უნდა გამრავლდეს შენობების გაანგარიშების დროს ნორმირებული აქსელეროგრამები.

ჩვენს მიერ განხილული წამწის აქსელეროგრამების მონაცემები მიეკუთვნება მესამე კვლევას, რომლის აქსელეროგრამების პაკეტის შერჩევასაც მოძიებულ იქნა შვიდი სამ კომპონენტის აქსელეროგრამა: 1976 წლის 15 სექტემბრის „Friuli“-ს მიწისძვრის აფტერშოკის, 1980 წლის 23 ნოემბრის „Campano Lucano“-ს მიწისძვრის, 1990 წლის 16 ივნისის „Filippias“-ს მიწისძვრის, 2004 წლის 28 მაისის „Kojur-Firoozabad“-ის მიწისძვრის, 1979 წლის 15 აპრილის „Montenegro“-ს მიწისძვრის,

2002 წლის 22 ივნისის „Avej“-ს მიწისძვრის და 2004 წლის 28 მაისის „Kojur-Firoozabad“-ის მიწისძვრის სამკომპონენტო ჩანაწერები.



ნახაზი 66. ჰორიზონტალური დრეკადი რეაქციის სპექტრების მომგლები



ნახაზი 67. ჰორიზონტალური დრეკადი რეაქციის სპექტრების მომგლები

სამშენებლო მოედანზე რელიეფის დახრა არ აღემატება 15° -ს, ამიტომ სეისმური გაანგარიშებების დროს არ არის აუცილებელი რელიეფის (ტოპოგრაფიული) გაძლიერების კოეფიციენტის გათვალისწინება (პნ 01.01-09 მუხლი 3, პ17, EN 1998-5. 2004. A დანართი, პუნქტი A.2).

წამწის კონსტრუქციის გაანგარიშება ჩატარდა ლიცენზირებული გამოთვლითი კომპლექსის “Lira Sapr 2017”-ის მეშვეობით, სასრულ ელემენტთა მეთოდის საფუძველზე. გაანგარიშება შესრულდა I და II ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მიხედვით.

საანგარიშო მოდელი შედგენილია შემდეგი ნორმატიული დოკუმენტების მოთხოვნათა გათვალისწინებით:

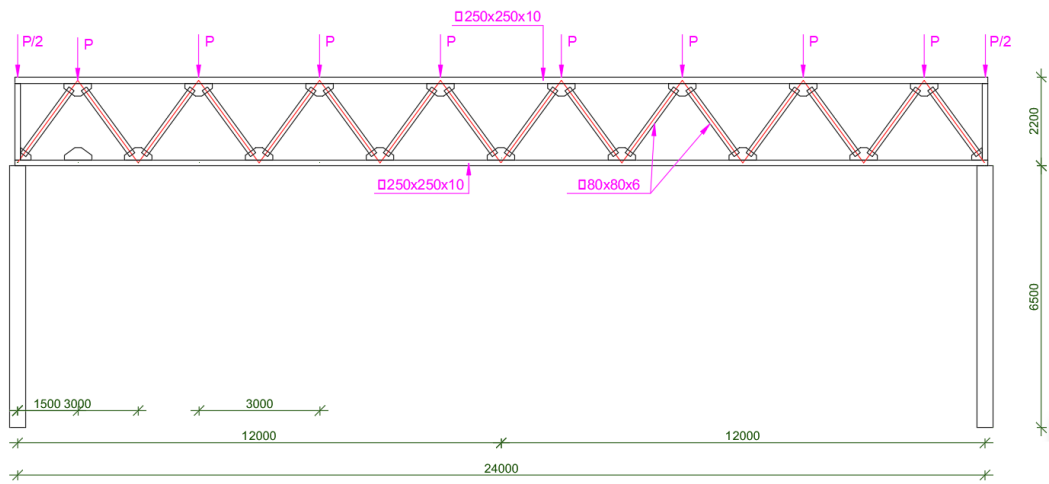
- ა) სამშენებლო ნორმები და წესები “სეისმომედეგი მშენებლობა” (პნ 01.01-09);
- ბ) სამშენებლო ნორმები და წესები “შენობების და ნაგებობების ფუძეები” (პნ 02.01-08);
- გ) სამშენებლო ნორმები და წესები “მშენებლობა სეისმურ რაიონებში” (სნიპ II-7-81);
- დ) სამშენებლო ნორმები და წესები “დატვირთვები და ზემოქმედებები” (სნიპ 2.01.07-85);

განხილულია სეისმური ძალის ზემოქმედების სამი მიმართულება:

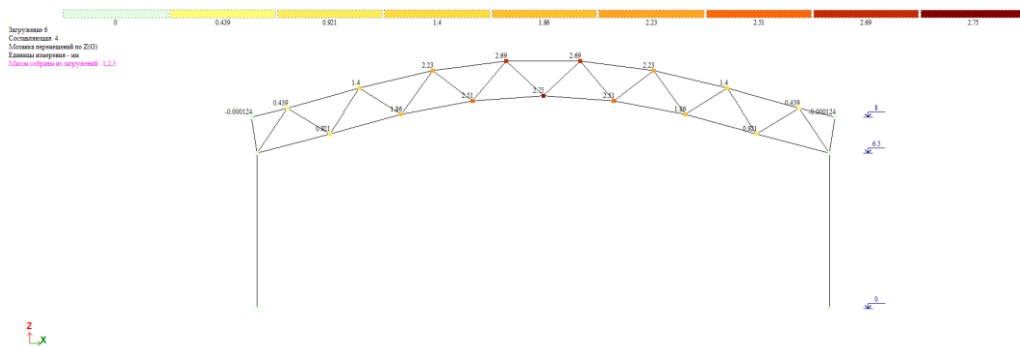
X ღერძის გასწვრივ, Y ღერძის გასწვრივ და Z ღერძის გასწვრივ.

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

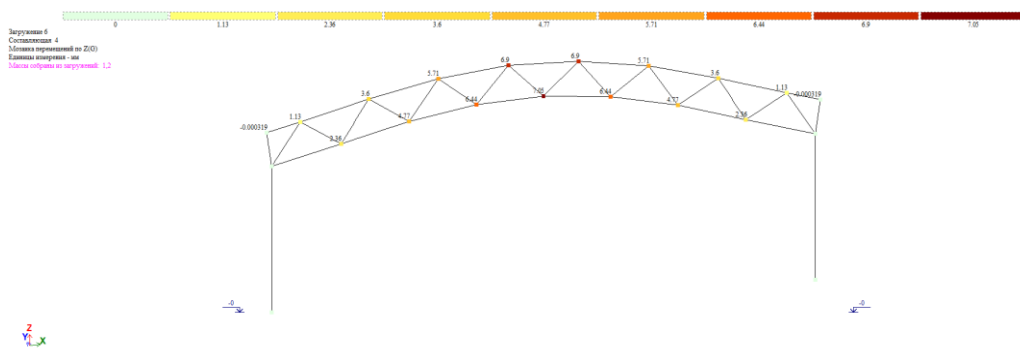
გრუნტის კატეგორია სეისმური თვისებების მიხედვით არის მეორე. გათვალისწინებულია საკუთარი რხევის 20 ფორმა. სეისმური მასების მონაწილეობის ფაქტორი შეადგენს 88%-ს.



ნახაზი 68. სქემატური ნახაზი



ნახაზი 69. ნორმაში არსებული სპექტრული მრუდების გამოყენებით ანგარიშისას, წამწის Z ღერძის მიმართ გადაადგილება.



ნახაზი 70. 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 ღერძის მიმართულებით მოქმედი მიწისძვრის ჰორიზონტალური მდგენელი	0.02 მმ	0.05 მმ
Y ღერძის მიმართულებით მოქმედი მიწისძვრის ჰორიზონტალური მდგენელი	33.3 მმ	112 მმ
Z ღერძის 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

ცხრილი 5

დასკვნა

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 წარმოდგენს 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.

გამოყენებული ლიტერატურა

- Bozorgnia Y., Mahin S.A., Brady A.G. (n.d.). *Vertical response of twelve structures recorded during the Northridge earthquake. Earthquake spectra.* (Vol. 14).
- Brian E KEHOE And Mourad R. (2000). CONSIDERATIONS OF VERTICAL ACCELERATION ON STRUCTURAL RESPONSE., (p. 7). auckland.
- Bycroft, G. N. (1976). White noise representation of earthquakes. *Journal of the Engineering Mechanics Division, American Society of Civil Engineers*, 102, 961-972.
- D. Varevac, H. Draganić, G. Gazić. (2010). Influence of the vertical component of earthquake on large span RC beams. *technical tazette*, 357-366.
- E. Rosenblueth, J.I Bustamante. (1962). Distribution of structural response to earthquakes. *Journal of the Engineering Mechanics Division American Society of Civil Engineers*, 88, 75-106.
- eurocode 8. design of structures for earthquake resistance.* (n.d.).
- Fukushima Y., Irikura K. (1997). *Attenuation characteristics of peak ground motions in the 1995 Hyogo – Ken Nanbu Earthquake.* J.Phys. Earth.
- George W. Housner. (1947). *Characteristics of strong-motion earthquakes* (Vol. 37). Bulletin of the Seismological Society of America.
- Goto H., Toki K. (1969). *Structural response to nonstationary random excitation* (Vol. 1). santiago, chile.
- Housner G.W., Jennings P.C. (1972). *The San Fernando California earthquake. Earthquake Engineering and Structural Dynamics* (Vol. 1).
- Hsu T – J, Bernard M.C. (1978). *A random process for earthquake simulation. Earthquake Engineering and Structural Dynamics.* (Vol. 6).
- International building code.* (2015).
- Iyengar R.N., Iyengar K.T.S.R. (1969). *A nonstationary random process model for earthquake accelerograms.* (Vol. 59).
- Mazza F and Vulcano A. (2004). “Effects of the Vertical Acceleration on the Response of Base-Isolated Structures Subjected to Near-Fault Ground Motions”. *Proceedings 13th World Conference on Earthquake Engineering.* vancouver.
- Newmark, N. M. (1973). “*A Study of Vertical and Horizontal Spectra*”. washington D.C: Directorate of Licensing United States Atomic Energy Commission.
- owens, Buick Davison and Graham W. (2003). *STEEL DESIGNERS' MANUAL* (6th ed.). (T. S. Institute, Ed.) Blackwell Publishers.
- Robinson, W.H., and McVerry, G.H. (1993). *An Introduction to Seismic Isolation.* chichester: john wiley and sons.
- Ruiz D and Sarria A. (2004). “Response of Large Span Steel Frames Subjected to Horizontal and Vertical Seismic Motions”. *Proceedings 13th World Conference on Earthquake Engineering.* vancouver.

- S. J. Kim and A. S. Elnashai. (2008).
- Shakal A.F., Huang M.J., Darragh R.B. (1995). *Northridge earthquake. January 17. 1994. Recorded ground and structure motions. Earthquake spectra.* (Vol. C).
Single Storey Long Span Structure. (n.d.).
steel buildings in europe - single-storey buildings. (n.d.).
- Tajimi, H. A. (1960). Statistical Method of Determining the Maximum Response of a Building Structure during an Earthquake Proceedings. *2nd World Conference on Earthquake Engineering, japan*, (pp. 94.1-94.13).
- Takada S., Hassani N. (1995). *Seismology and ground motion features of 1995 Sout Hyogo great earthquake. Seismology and Eartquake Conference.* . tehran.
- Tezean S.S., Yerlici V., Durgunoglu H.T. (1978). *A reconnaissance report for the Romanian earthquake of 4 march 1977. Eartquake Engineering and Structiral Dynamics.* (Vol. 6).
- The Specification Of Portal Steel Frame Buildings. (2023, april 14). Qingdao City, Shandong Province, China.
- The Specification Of Portal Steel Frame Buildings. (2023, april 14). Qingdao City, Shandong Province, China.
- Trusses. (2023, april 14). Retrieved from <https://www.steelconstruction.info/Trusses>
- а. н. филиппов. (1941). *методы расчёта сооружений на колебания.*
- Айзенберг Я.М. (1980). *Статистическая расчетная модель сейсмического воздействия на сооружения.* „Наука,,
- Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. (1988). *Вероятностные методы в строительном проектировании.*
- Ашрабов А.Б., Рассказовский В.Т., Мартемьянов А.И. (1968). *Проектирование, возведение и восстановление зданий в сейсмических районах.* Ташкент: Изд.-во „Узбекистан”.
- Барштейн, М.Ф. (1960). *Приложение вероятностных методов к расчету сооружений на сейсмические воздействия.* (2 ed.).
- Болотин. (1965). *Статистические методы в строительной механике* (2 ed.).
- Болотин В.В. . (1979). *Случайные колебания упругих систем.*
- Болотин В.В. (1965). *Статистические методы в строительной механике* (2 ed.).
- Бронштейн, И. Н., & Семендяев, К. А. (1986). *Справочник по математике.* Наука.
- Газлийские землетрясения 1976 г. Инженерный анализ последствий.* (1982). „Наука,,
- Жаров А.М. (1964). *Реакция сооружения на нестационарное сейсмическое воздействие. Строительная механика и расчет сооружений.* (Vol. 6).

- Инструкция по расчету покрытий промышленных зданий, воспринимающих динамические нагрузки.* (1967). ЦНИИСК.
- к. с. завриев. (1946). *динамика сооружений.* трансжелдориздат.
- Копытов., М. (2012). *МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ КАРКАСОВ ОДНОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ.* Томск: ТГАСУ.
- Лужин О. В. (1983). *Вероятностные методы расчета сооружений.* МИСИ.
- Лужин О. В. (1983). *Вероятностные методы расчета сооружений.* МИСИ.
- Манукян А.В., Амбарцумян В.А. (n.d.). *Об одном косвенном методе определения интенсивности землетрясения. Сб. научных трудов конференции посвящ. 90-летию А.Г. Назарова.* Гюмри: Изд.-во НАН РА.
- Мартемьянов А.И., Широва З.Х. (n.d.). *О спектрах вертикальных составляющих сейсмических воздействий. Строительная механика и расчет сооружений №2.*
- Назаров А.Г. (1959). *Метод инженерного анализа сейсмических сил.* Ереван: Изд.-во АН АССР.
- Позняк Е. В. (2019). *Развитие методов Волковое теории сейсмостойкости строительных конструкций. Автореферат диссертации на соискание уч. Ст. д.т.н м.*
- Полеков С. В. (1983). *Сейсмостойкое конструкции здании.*
- Поляков С.В. (1983). *Сейсмостойкие конструкций зданий (Основы теории сейсмостойкости).* Высшая школа.
- РАЗРАБОТАНЫ лабораторией металлических конструкций ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко - филиалом ФГУП "НИЦ "Строительство". (n.d.). 2. *ВРЕМЕННЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ по обеспечению безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения при аварийных воздействиях.*
- Рассказовский В.Т. (1973). *Основы физических методов определения сейсмических воздействий.* Ташкент: Изд.-во "Фан".
- Рассказовский В.Т., Рашидов Т.Р., Абдурашидов К.С. (1967). *Последствия Ташкентского землетрясения.* Ташкент: Изд.-во „Фан,,.
- Руководство по проектированию одноэтажных и многоэтажных производственных зданий со стальным каркасом в сейсмических районах.* (1977). Стройиздат.
- С. А. Бернштейн. (1941). *основы динамики сооружеи.*
- С. М. Блеих. (1931). *теория и расчёт железных мостов.*
- С.В, Медведев. (1960). *Ускорения колебаний грунта при сильных землетрясениях.* Труды института Физики Земли №10(177).
- СП – 8 – 57. *Нормы и правило строительство в сейсмических районах.* (n.d.).

- Ушаков. О. ю. (2015). *методика учёта пространственного характера сейсмического воздействия при расчёте зданий и сооружений. Автореферат диссертации на соискание уч. Ст. к.т.н м. .*
- ф. блейх. (1938). *сталние сооружения* (Vol. 1).
- Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений. (2018). *КОНСТРУКЦИИ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. Правила эксплуатации.*
- Э. Хачиян. (2015). *Сейсмические воздействия и прогноз поведения сооружений.* Изд-во „Гитутюн“.
- ვ. ზავრიევი, შ. ნაფეტვარიძე, გ. ქარცივაძე, მ. ჯაბუა, ა. ჩურაიანი. (1980). *ნაგებობათა სეისმომდეგობა. თბილისი: გამომცემლობა „მეცნიერება“.*
- (2009). *სამშენებლო ნორმების და წესების – „სეისმომდეგი მშენებლობა“ (35 01.01-09).* თბილისი: საქართველოს ეკონომიკის სამინისტრო.
- Медведев С.В., Карапетян Б.К., Быховский В.А. (1968) *Сейсмические воздействия на здания и сооружения. Изд-во литературы по строительству .* 190 стр.
- Айзенберг Я. М. (1999) *Спитакское землетрясение 7 декабря 1998 года. Некоторые уроки и выводы.* Сейсмостойкое строительство N1. стр. 6-9.
- Карапетян Б.К. (1999) *Результаты изучения Спитакского землетрясения и перспективы дальнейших исследований.* Сейсмостойкое строительство №1. 9-11 стр.
- Рассказовский В.Т. (1973) *Основы физических методов определения сейсмических воздействий.* Изд.-во "Фан" Ташкент. 159 стр.
- Хачиян Э.Е. (1973) *Сейсмические воздействия на высотные здания и сооружения.* Изд.-во „Айастан,, Ереван. 326 стр.
- Eurocode 8: *Design of structures for earthquake resistance - Part 1 : General rules, seismic actions and rules for buildings Ref. No. EN 1998-1 :2004: E 231pg.*
- А.П.Филиппов (1965) *Колебания механических систем.* Изд. Наукова думка Киев. 714 стр.
- А.М.Масленников (2017) *Динамика и устойчивость сооружений.* Изд. Юрайт Киев. 366 стр.
- А.С.Волков, Ю.Г.Плотников (2007) *Динамические расчёты упругих систем* Изд. ДВГУПС Хабаровск. 95стр.
- И.П.Прокофьев, А.Ф.Смирнов (1948) *Теория сооружений. Часть III.* Изд. Транспорт. Москва. 366 стр.
- Н.И.Безухов, О.В.Лужин, Н.В.Колкунов. (1987) *Устойчивость и динамика сооружений.* Изд. Высшая школа Москва. 264 стр.
- SEI/ASCE 7: (2013) *Minimum design loads for buildings and other structure*
- Iranian Code (2007) standard N2800 3rd edition, BHRC Publication N5-465, Ministry of Housing and Urban Development

- SNiP II - 7 81 (2013) *Construction in seismic areas*.
- A.S. Elnashai and A.J. Papazoglou. (1997) *Procedure and spectra for analysis of RC structures subjected to strong vertical earthquake loads*. Journal of Earthquake Engineering, Vol 1, N1, 121-155
- P. C. Shaha, P. Kamatchi and C. B. Nayak. (2018) *Effect of Vertical Ground Motions on the Response of Long Span Roof Truss*. IIT Roorkee, Paper No.57
- I.I.Bezukhov, O.V.Luzhin, N.V.Kolkunov (1987) *Stability and dynamic of structures*. Vishaia shkola Moscow
- Khazov P.A., Moldushina N.I., Lampsi B.B., Schyolokova Y.D., Anushenko A.M. (2019) *Comparison of dynamic computational models in determining frequencies and forms of natural vibration of the large-span steel truss of the velodrome building roofing*. Privolzhsky Scientific Journal Nizhny Novgorod, № 1, 9–15.
- Central Research Institute of Industrial Buildings (1977) *Guidelines for the design of single-storey and multi-storey industrial buildings with a steel frame in seismic areas*. Stroyizdat, Moscow
- A.I.Abashidze, S.A.Berenshtein, F.V.Sapozhnikov (1963) *Foundations of steam turbines*. Gosstroizdat, Moscow
- F.S.Tse, I.E.Morse, R.T.Hinkle (1966) *Mechanical vibrations*. Mashinostroenie, Moscow
- J. Papazoglou, A.S. Elnashai. (1996) *Analytical and field evidence of the damaging effect of vertical earthquake ground motion*. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 25. 1109 – 1137
- Ordinance №71 (15.01.2014) by Government of Georgia. Tbilisi. Technical regulation - Earthquake engineering (in Georgian);
- Gosstroy of Russia. (2013). *SNiP II - 7 81 Construction in seismic areas* (in Russian);
- Kiselev V.A. (1980). *Construction mechanics. Special course* (In Russian);
- Khazov, P.A., kozhanov D.A., Anushenko, A.M. Satanov A.A. (2020) *Dynamics of building structures under extreme natural influences: vibrations, strengths, resource* (In Russian);
- Azhermachev G.A., Azhermachev S.G., Abdurakhmanov A.Z. (2012) *About seismic resistance of long span buildings and construction*. Collection of research papers Ukrainian research and engineering institute of steel structures. 9,72-78 (In Russian);
- Shevchenko F.A., Tsarenko V.A. (2011). *Common and different properties of beams and trusses*. *Modern industrial and civil construction* 7(4), 215-223 (In Russian);
- B.Giltner, A.Kassimali (2000) *Equivalent beam method for trusses*. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*. 5(2) 70-77
- Sekhniashvili E.A. (1958) *On the application of the replacement beam method to the determination of the higher frequencies of vibrations of rod trusses*. Proceedings of the Academy of Sciences 20 (1) 75-82 (in Georgian)

Esadze S., Pavliashvili N. (2022). *Vertical Seismic Vibration of the Large-span Trussed Beam*. Work of GTU 4(526) 62-66

Ananjin M.Y., Fomin N.I., Tshernogubov D.E. (2009) *Method of the account of pliability in nodes of metal designs of building*. Academic Bulletin of the Uralniproekt 3 80-85 (In Russian);

Abashidze, A.I. (1960). *Dynamics of steam turbine foundations*. (In Russian);

გ. ქარცივაძე. *სეისმომედეგი მშენებლობა*. გამომცემლობა „განათლება“, თბილისი 1979 წ. 118 გვ.