

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მალხაზ ბედიაშვილი

სამოქალაქო ნაგებობათა ანტისეისმური ღონისძიებები  
(დაზიანებული შენობების აღდგენა-გამაგრების მაგალითები)

დოქტორის აკადემიური

ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფრატი

სადოქტორო პროგრამა : მშენებლობა 0406

თბილისი

2016 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში,  
სამშენებლო ფაკულტეტზე,  
სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის დეპარტამენტში,  
სსიპ შ. რუსთაველის ეროვნულ სამეცნიერო ფონდში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი აგული სოხაძე  
ასოც. პროფესორი მაია ჭანტურია

რეცენზენტები: პროფესორი ჯ. ესაიაშვილი  
ასოც. პროფესორი ლ. კახიანი

დაცვა შედგება 2016 წლის ----- საათზე საქართველოს  
ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო  
საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი I, აუდიტორია 507<sup>ა</sup> მისამართი:  
თბილისი 0175, კოსტავას 72.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ – სბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა - სტუ – სვებგვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს  
სწავლული მდივანი:

პროფესორი დ. ტაბატაძე

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

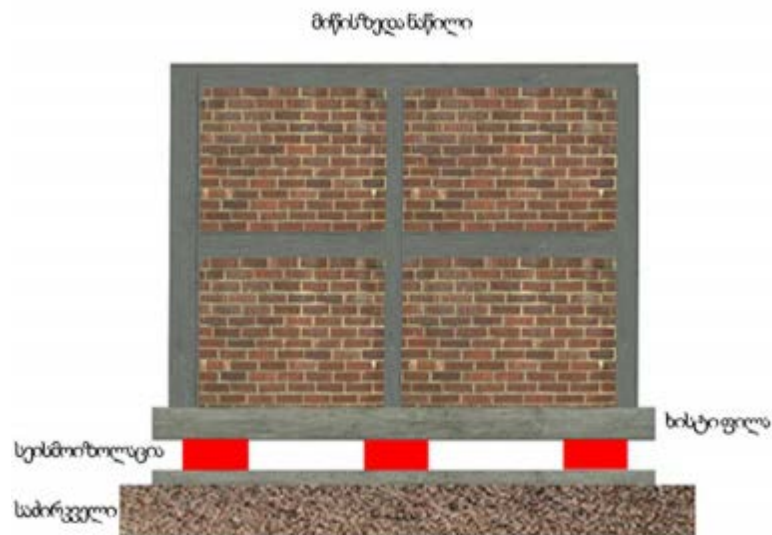
*თემის აქტუალობა:* მიწისძვრა - ყველაზე მრისხანე სტიქიური მოვლენა - იწყება უცებ, გამაფრთხილებელი ნიშნების გარეშე და თავის მაქსიმალურ ძალას რამდენიმე წამში ავლენს. ადამიანები ვერ ასწრებენ დასანგრევად განწირული შენობის დატოვებას. არა აქვთ შესაძლებლობა გადაარჩინონ არა თუ სხვისი, არამედ საკუთარი სიცოცხლეც კი, მრავალი თაობის მიერ დაგროვილი მატერიალური თუ კულტურული ფასეულობა.

საქართველოს ტერიტორია მდებარეობს სეისმურად აქტიურ რეგიონში, რომლის ტერიტორიის ბალიანობა ბოლო პერიოდში 7, 8, 9 ბალამდე გაიზარდა. ამკარაა, თუ რა ელოდებათ იმ შენობებს, რომლებიც რამდენიმე ათეული წლის წინაა აგებული და რომელიც გაანგარიშებულია შესაბამის საანგარიშო სეისმურ ინტენსივობაზე. ჩვენი ქვეყნისთვის ძალზედ მნიშვნელოვანია, რომ გადაჭრილ იქნას სეისმომედეგი მშენებლობის პრობლემა, რომლის ერთ-ერთი ოპტიმალური უზრუნველყოფის თანამედროვე მიმართულებასაც წარმოადგენს სეისმოიზოლაციის სისტემა. ის უზრუნველყოფს მიწისძვრისგან გამოწვეული ძალების შემცირებას 1-2 ბალით, რაც პირდაპირპროპორციულ დამოკიდებულებაშია განივკვეთის ზომების, ბეტონისა და არმატურის ხარჯის შემცირებასთან, და ზოგადად, მშენებლობის გაიაფებასთან. სეისმოიზოლაციის სისტემებს უკვე აქტიურად იყენებენ მსოფლიოს ისეთი წამყვანი ქვეყნები, როგორცაა იაპონია და აშშ, ასევე ჩვენი უახლოესი მეზობელი ქვეყანა სომხეთი. ასეთი სისტემების გამოყენება ერთნაირად შესაძლებელია როგორც ახალ, ისე უკვე აშენებულ შენობებში, როგორც კარკასულ, ისე მსხვილბლოკურ თუ სხვა ტიპის შენობა-ნაგებობებში.

იცვლება შენობის საანგარიშო სქემა. თუ ჩვეულებრივი მრავალსართულიანი შენობა n-ჯერ სტატიკურად ურკვევ სისტემას წარმოადგენს, სეისმოიზოლატორიანი შენობის საანგარიშო სქემა არის ორჯერ სტატიკურად ურკვევი, რომლის გაანგარიშებაც ბევრად უფრო მარტივია. საანგარიშო სქემაში ერთ მასას წარმოადგენს სეისმოიზოლატორი და

მასზე განთავსებული ხისტი გადახურვა (ნახ.1), რომელსაც ეყრდნობა შენობის მიწისზედა ნაწილი, ხოლო მეორეს - მიწისზედა ნაწილის მთლიანი მასა. მიწისძვრის დროს დეფორმაციას განიცდის სეისმოიზოლატორი (გრუნტის აჩქარების გამო), ხოლო მიწისზედა ნაწილი გადაადგილდება ხისტ ფილასთან ერთად, როგორც მთლიანი მყარი ტანი. ამდენად დეფორმაცია მზიდ კონსტრუქციებში არის ძვრის დეფორმაცია, რომელიც ძალზე მცირეა და მისი აღდგენა ადვილია.

სეისმოიზოლაციის მოწყობა გარკვეულწილად ზრდის მშენებლობის ღირებულებას, მაგრამ იგი ბევრად ნაკლებია იმ ღირებულებაზე, რომელიც მიწისძვრის შემდეგ საჭირო, როგორებიცაა: მატერიალური ზარალი, ადამიანთა მსხვერპლი, დანგრეული შენობების თუ ინფრასტრუქტურის აღდგენა-მოწესრიგება, პანიკა და სხვა. ლიტერატურიდან ცნობილია, რომ ყველა ზემოთ მოყვანილი ხარჯები ბევრად აღემატება იმ ხარჯებს, რაც სეისმოიზოლაციის მოწყობითაა გამოწვეული.



ნახ.1.

**დისერტაციის მიზანს შეადგენს:** სეისმოდამცავი სისტემების გავლენა რკინაბეტონის მაღლივი კარკასული, ბლოკური და პანელური შენობების დინამიურ მახასიათებლებზე, რეალური კონსტრუქციისათვის სტატიკური და

დინამიური პარამეტრების დადგენა, საანგარიშო სქემების დაზუსტება, გაანგარიშების მეთოდების სრულყოფა. კომპიუტერული ექსპერიმენტის საფუძველზე ღირებულების და ეკონომიურობის შეფასება.

**ექსპერიმენტული კვლევის ამოცანა:** რკინაბეტონის ბლოკური მშენებარე საბავშვო ბაღის შენობისათვის გაანგარიშების ალგორითმის შედგენა, პროგრამის მიხედვით კომპიუტერული ექსპერიმენტის ჩატარება სხვადასხვა გრუნტებისათვის, დინამიური მახასიათებლების დადგენა, საძირკველში განთავსებული სეისმოიზოლატორის გავლენით და მის გარეშე.

**მეცნიერული სიახლე:** ნაშრომში განხილულია ბლოკური შენობის სეისმომდეგობაზე გაანგარიშება საძირკველში განთავსებული სეისმოიზოლაციით; ჩატარდა კომპიუტერული ექსპერიმენტი სეისმოდამცავი სისტემის გამოყენებით და მის გარეშე, მოხდა მიღებული შედეგების შედარება და ანალიზის საფუძველზე ეკონომიური ეფექტის დადგენა. დამუშავებული მეთოდიკამიწისძვრის ინტენსივობის 1-2 ბალით შემცირების შესაძლებლობას იძლევა.

სეისმოსაიზოლაციო სისტემების, როგორცაა რეზინოლითონის საყრდენები, ქანქარა იზოლატორები, საქართველოსთვის ადაპტირება და მათი გამოყენება უკვე აშენებულ თუ ახალ მშენებარე შენობა-ნაგებობებისათვის.

**მიღებული შედეგების პრაქტიკული ღირებულება:** სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული კვლევები გვაძლევს იმის საფუძველს, რომ მოცემული მეთოდის პრაქტიკული გამოყენება მნიშვნელოვნად შეამცირებს მშენებლობის თვითღირებულებას. სეისმოიზოლაციის გამოყენება აამაღლებს შენობების სეისმომდეგობას, ხანგამძლეობას და უსაფრთხო ექსპლუატაციას.

**ნაშრომის აპრობაცია და გამოქვეყნებული პუბლიკაციები:** მასლების მიხედვით გამოქვეყნებულია 6 სამეცნიერო სტატია, დისერტაციის ძირითადი შედეგები მოხსენებულ იქნა:

1. თბილისში 2014 წელს ჩატარებულ საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე - “Improvement of buildings seismic resistance by application of application of seismic insulation”. International Conference- Seismic-2014. “Seismic resistance and rehabilitation of buildings” Tbilisi, Georgia, 2014. გვ. 32-40; /დანართი 1/

2. ქ. ნეაპოლში, იტალია. 2015 წ. 28-29 მაისს მ. ბედიაშვილის გამოსვლა ევროპის სამოქალაქო ინჟინერთა საბჭოს 61-ე გენერალურ ასამბლეაზე. ასამბლეის ოქმის ამონაწერი დართულია დანართში. /დანართი 2/

3. თბილისში 2016 წლის 20 თებერვალს სამეცნიერო პრაქტიკული კონფერენციაზე - „მშენებლობის უსაფრთხოება და ხარისხი“. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია. სეისმომედეგი მშენებლობისა და საინჟინრო სეისმოლოგიის საქ. ეროვნული ასოციაცია. /დანართი 3/

4. 2016 წლის 2-8 მარტი: მადრიდი, ესპანეთი. მ. ბედიაშვილის გამოსვლა ევროპის სამოქალაქო ინჟინერთა საბჭოს 63-ე გენერალურ ასამბლეაზე. გამოსვლა დართულია დანართში /დანართი 4/

სამუშაოს მოცულობა და სტრუქტურა: სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, 4 თავის, დასკვნის და გამოყენებული ლიტერატურის 48 დასახელების და დანართებისაგან. ტექსტის საერთო მოცულობაა 130 გვერდია.

## ნაშრომის შინაარსი

პირველი თავი ეხება მიწისძვრებს, სადაც საუბარია მის გამომწვევ მიზეზებსა და იმ კატასტროფულ შედეგებზე, რომელიც თან სდევს ამ მოვლენას. განხილულია სეისმოდამცავი სისტემების უკვე არსებული სახეობები და რკინაბეტონის ყველა ტიპის შენობების სეისმოდამცავი სისტემების კვლევის ისტორიული მიმოხილვა.

ფ.დ ზელენკოვის ნაშრომში „სახლი სეისმომორტიზატორებზე“, ავტორი მიმოიხილავს წარსულში მიწისძვრების ისტორიას.

მიწისძვრა შუა საუკუნეებში უკავშირდებოდა ღმერთის მიერ ცოდვილთა დასჯას. XVIII საუკუნეში მ.ვ. ლომონოსოვმა მიწისძვრა გეოლოგიურ პროცესებს დაუკავშირა.

მიწისძვრების წარმოქმნის მიზეზად მიღებულია დედამიწის ქერქის გარკვეულ რეგიონში ძაბვების მომეტებული კონცენტრაცია. მიაღწევენ რა ე.წ. "მექანიკურ სიმტკიცის" ზღვარს გრუნტებში, ირღვევა წონასწორობა და ხდება ნგრევა. პოტენციური ენერგია გარდაიქმნება კინეტიკურ ენერგიად, რომელიც გრუნტის მასაში იწვევს დრეკად ტალღებს, რხევით მოძრაობას, მასების შემჭიდროებას და გაფართოებას. ეს ტალღები ვრცელდება 6-10 კმ წაშში სიჩქარით და იწვევს დედამიწის ქერქის ხისტ რყევას, რომელსაც "სეისმურს" უწოდებენ, (რაც ბერძნულიდან „σεισμός“- არის წარმოქმნილი) და "რყევა"-ს ნიშნავს. ამ დროს ხდება მთების ფერდობებიდან გრუნტის მასის მოწყვეტა და ჩამოზავება, ზღვაზე ცუნამები, ქვათაცვენა, ხანძრები, წყალდიდობა და სხვა.

მიწისძვრის მიზეზი გრუნტში არათანაბარი და დიდი კონცენტრაციის დაძაბვაა, რომელიც იწვევს ტექტონიკურ მოვლენებს.

ზოგიერთი მიწისძვრა დაკავშირებულია ვულკანურ ამოფრქვევებთან, მაგალითად, ვეზუვის ამოფრქვევა, რომელმაც დაფარა პომპეი, სტამბია და ა.შ. მას წინ უძღოდა ძლიერი, დამანგრეველი მიწისძვრა.

საქართველოს ტერიტორია სეისმურად II სარტყელში მდებარეობს, რომელიც მოიცავს ხმელთაშუა ზღვის და აზიის რეგიონებს, სადაც ყოველწლიურად ხდება

1200-მდე მიწისძვრა.

ფ.დ. ზელენკოვი თავის შრომებში აღნიშნავს, რომ იმ პერიოდში (სამოციანი წლების დასაწყისი) შენობათა სეისმომედეგობის გაანგარიშების თეორიული საფუძვლები ძალზე მწირი იყო, უფრო მისაღები იყო ექსპერიმენტებით ჩატარებული შედეგებით ხელმძღვანელობა.

ინჟინერ ფ.დ. ზელენკოვის გამოგონება ერთერთი პირველი განხორციელებული ღონისძიებაა სეისმოიზოლირებულ მშენებლობაში. სპეციალური საძირკველი მოცილებულია შენობას საჰაერო ღრეჩოთი, რომელშიაც განთავსებულია ტექნიკაში ცნობილი ამორტიზატორი, რომელიც თავისი მოქნადობით (დამყოლობით) შთანთქავს შენობის დამანგრეველ დეფორმაციებს.

ასეთი საძირკვლები - ამორტიზატორები - უზრუნველყოფს გრუნტის თავისუფალ გადაადგილებას, რომლის რხევის ამპლიტუდამეტია დამანგრეველი მიწისძვრების ამპლიტუდაზე. ამიტომ გრუნტის სეისმური რხევები ვერ გამოიწვევს ძალების გადაცემას კედლებზე და მთელ შენობაზე.

ამავე თავში განხილულია ანტისეისმური ღონისძიებები ანტიკური ხანიდან XIX საუკუნემდე. როგორც ცნობილია, საქართველოს ტერიტორია მდებარეობს 7, 8 და 9 ბალიან სეიმურ ზონაში. ამიტომაც ჩვენი ხუროთმოძღვრებისთვის მნიშვნელოვანი იყო, შეექმნათ ისეთი ანტისეისმური ღონისძიებები ტაძრებისა თუ სხვა ნაგებობებისათვის, რომ მათ გაეძლოთ ამ ინტენსივობის მიწისძვრისთვის. მაგალითად, სვეტიცხოვლის ტაძრის ფასადის კედლებში, გრუნტის ზედაპირიდან 2 მ სიმაღლეზე, თითქმის ყველგან გვხვდება ჰორიზონტალურ ნაკერებში განლაგებული ნაჭედი რკინის ზოლები, რომლებიც წარმოადგენენ ერთ-ერთ ანტისეისმურ ღონისძიებას.

როგორც ჩანს, დიდი ხნით ადრე, ვიდრე ნაგებობათა წყობაში კირის ხსნარს გამოიყენებდნენ, ჩვენს წინაპრებს კარგად აუთვისებიათ ე.წ. "მშრალი წყობა"-სუფთად გათლილი კვადრებით. ასევე გამოიყენებოდა საინტერესო და ფრიად ორიგინალური ხერხი-კვადრი ჭდობით, "კბილით", ნაკერის გაწყვეტის საწინააღმდეგოდ.



ძველ ქართულ ძეგლებზე: ხახულზე (X ს) და ჩანგლოზე, (X ს) სამხრეთ საქართველოში, (ამჟამად თურქეთის ტერიტორია), გამოყენებულია "მთლიანი სარტყელი" გათლილი ქვებით, რომელშიაც თითოეულ ქვას სიგრძეზე აქვს ჩაჭრა, "კბილი". ასეთი სარტყელი შენობის მთელ კონტურს აქვს მხოლოდ დამაგვირგვინებელ ნაწილებში, სადაც თავდება თაღები და სადაც ყველაზე მეტად შეიგრძნობა მიწისძვრისაგან გამოწვეული რხევების ამპლიტუდა.

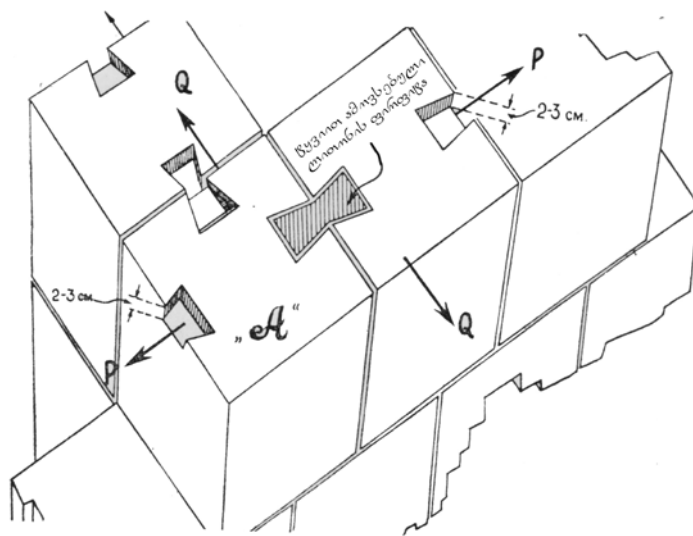
ანტისეისმური ღონისძიებების მომდევნო ეტაპს უნდა წარმოადგენდეს ე.წ. "მერცხლის კუდი", რომელშიაც უკვე ლითონი მონაწილეობს.

წყობის გადაბმის ეს წესი ჯერ კიდევ ჩვ. წელთაღრიცხვამდე II საუკუნეში გამოიყენებოდა ბაგინეთის ციხესიმაგრის აგებისას.

თითოეულ მოსაზღვრე ქვაში ამოიტვიფრებოდა, ამოითლებოდა ე.წ. "მერცხლის კუდი" დაახლოებით 12 სმ სიგრძისა და 8-9 სმ სიგანისა. "ყელის" სიგანე 5-6 სმ იყო, ხოლო სიღრმე 2-4 სმ. ზოგ შემთხვევაში, "ყელის" სიგანე 3 სმ-მდე მცირდებოდა. ასეთი მცირე ზომების სოგმანებში ხის მასალის გამოყენება შეუძლებელი იყო. რჩებოდა ორი ვარიანტი: ან ლითონის ფირფიტის ჩადგმა, ან გაცხელებული ტყვიის ჩასხმა "მერცხლის კუდში".

ეს წესები გამოიყენებოდა არა მარტო გრძივ, ან ერთი მიმართულების კედლებში, არამედ გრძივი და განივი კედლების გადაბმებშიც (ნახ.2).

ნახ.2-ზე კარგად ჩანს, როგორ იღებენ ლითონის ფირფიტები გამჭიმავ ძალებს, ხოლო როცა ნაკერი იხსნება, კედლის გრძივი ღერძის მიმართულებით-ლითონის ფირფიტა მუშაობს გაგლეჯაზე, გაწყვეტაზე. როცა ქვები, ჰორიზონტალური ძალების ზემოქმედებით, განივი მიმართულებით გადაადგილდება, იგივე ფირფიტა მუშაობს ჭრაზე თავისი ვიწრო "ყელით".



**ნახ.2. კვანძური ქვის მუშაობის სქემა “მერცხლის კუდის” ჩაჭედვით**

მეორე თავში განხილულია ნაგებობათა სეისმომდეგობის ამაღლება სეისმოიზოლაციის გამოყენებით. ნორმებით გაანგარიშებული და კონსტრუირებული ნაგებობა, რომელშიაც გათვალისწინებულია სათანადო გაძვირება, გამიზნულია მხოლოდ ერთი საანგარიშო მიწისძვრის ან ორი, შედარებით მცირე ინტენსივობის მიწისძვრის აღქმისათვის, რის შემდეგაც შენობა ან უნდა დაინგრეს და ახალი აიგოს, ან უნდა გაძლიერდეს კონსტრუქციული ღონისძიებებით. ერთიც და მეორეც დაკავშირებულია დიდ შრომით რესურსებთან, ფინანსურ დანახარჯებთან და დროსთან, რაც მუდამ შეგვიქმნის დიდ პრობლემებს, განსაკუთრებით საბინაო მშენებლობაში.

სწორედ ამ გარემოებებმა უბიძგეს მეცნიერებს დაეწყოთ სეისმური ძალის ზემოქმედებისაგან დაცვის ახალი სისტემების ძიება. უკანასკნელი 20-30 წლის განმავლობაში შეიქმნა და პრაქტიკაში დაინერგა სეისმოიზოლაციის სისტემები, რომლებიც, ფართოდ გამოიყენება ჩვენი ქვეყნის გარეთ.

ზემოთაღნიშნული გარემოებების გათვალისწინებით მეცნიერთა ძიების შედეგად დღეს ჩვენი ქვეყნის გარეთ არსებობს მრავალი სისტემა, რომელთა გამოყენებით შეიძლება გადავარჩინოთ ნაგებობები ან საგრძნობლად შევამციროთ ზარალი.

მსოფლიოს ბევრ სეისმურად აქტიურ ქვეყანაში იყენებენ აქტურ და პასიურ

სეისმოდამცავ კონსტრუქციულ სქემებს, სეისმოიზოლაციას და სეისმოდახშობას.

სეისმოიზოლატორების უმეტესობა წრფივი მოქმედებისაა, რომლებიც უზრუნველყოფენ სისტემების დემფირირებას. სეისმოიზოლატორები არის სხვადასხვა სახის:

- *დრეკადი ხასიათის იზოლატორები;*
- *გასაშლელი იზოლატორები;*
- *გისტერიზისული დემპფერები.*

ცნობილიაგისტერიზისული დემპფერების ოთხი ჯგუფი:

- თხევადი ბლანტდრეკადი დემპფერი;
- მყარი ბლანტდრეკადი დემპფერი;
- ლითონის ბლანტდენადი დემპფერი;
- მშრალი ხახუნის დემპფერი;

დემპფერების თითოეულ ჯგუფს ახასიათებს თავისი სპეციფიკა, თავისი დადებითი და უარყოფითი მხარეები, რომლებიც უნდა გავითვალისწინოთ მათი გამოყენების დროს.

უცხოეთში ფართოდ იყენებენ:

- *ინერციულ დემპფერებს*, ინერციულ ჩამხშობს, რომელიც წარმოადგენს ვიბრაციული კონტროლის მოწყობილობას. იგი წარმოადგენს მასიურ ბეტონის ბლოკს, რომელიც ირხევა განსახილველი შენობის რეზონანსული სიხშირით. ამის მაგალითია „ტაიპის“ 92-ე და 88-ე სართულებზე ინერციულ დემპფერებზე მოწყობილი კიდული 660 ტონიანი ქანქარა.
- *ვერტიკალური კონფიგურაციების ნაგებობების დემპფირება* (ბუილდინგ ელევატორნ ცონტროლ) განსაკუთრებულია სეისმური დატვირთვის ქვეშე მყოფ შენობათა და ნაგებობათა მუშაობის გასაუმჯობესებლად, რეზონანსული რხევების გაუვნებლობის მიზნით.

- **მრავალსიხშირული რხევის დამამშვიდებელი** არის ვიბრაციული კონტროლის მოწყობილობათაგანი, რომელიც ეწყობა მაღლივ შენობაზე, რომელიც ირხევა გარკვეული განსახილველი შენობის რეზონანსული სიხშირით სეისმური დატვირთვის შემოქმედების დროს.
- **შენობის აწეული საძირკველი** (ელევატიონ ბუილდინგ ფუნდაციონ) არის სეისმომედეგ მშენებლობაში ვიბრაციული კონტროლის ინსტრუმენტი, რომელსაც შეუძლია შენობათა და ნაგებობათა მუშაობის გაუმჯობესება სეისმური ზემოქმედების დროს. ასეთი მეთოდის ეფექტურობა შემდეგშიმდგომარეობს, შენობის აწეულ საძირკველში სეისმური ტალღების მრავალრიცხოვანი არეკვლის, დიფრაქციის და დისიპაციის შედეგად ხდება შესუსტებული სეისმური ენერჯის გადაცემა შენობის ზედა ნაწილისათვის.

შენობის აწეული საძირკველი არის სეისმომედეგ მშენებლობაში ვიბრაციული კონსტროლის ინსტრუმენტი, რომელიც აუმჯობესებს შენობა-ნაგებობის მუშაობას სეისმური ზემოქმედების დროს.

- **ტყვია-რეზინის საყრდენი** - ეს სეისმური იზოლაციაა, რომელიც გამიზნულია შენობა-ნაგებობის მუშაობის გასაუმჯობესებლად სეისმური ზემოქმედების დროს, სეისმური ენერჯის ინტენსიური დემპფირების ხარჯზე.
- **ზამბარისებრი დემპფერები** (სპრინგს-წიტჰ-დემპერ ბასე ისოლატორ) არიან იზოლაციური მოწყობილობები, რომლებიც თავისი მახასიათებლებით წააგავს ტყვია-რეზინის საყრდენებს.

- **ქანქარა-ფრიქციული საყრდენი** (Fრიცტიონ Pედულუმ Bეარინგ) ეს სეისმური იზოლაცია წარმოადგენს ვიბრაციული კონტროლის ინსტრუმენტს სეისმომედეგი მშენებლობის დროს, რომელსაც შეუძლია გააუმჯობესოს შენობა-ნაგებობის მუშაობა სეისმური ზემოქმედებისას.

მესამე თავში განხილულია არსებული შენობების რეკონსტრუქცია და გაძლიერება სეისმომდეგობის ამაღლების მიზნით.

ანალიტიკური გაანგარიშების საფუძველზე დადგენილია, რომ ძალიან მაღალი რკინაბეტონის პორტალურ ჩარჩოვანი ნაგებობები, სეისმური ზემოქმედების დროს, შედარებით მოქნილია და მუშაობენ ღუნვაზე, ხოლო მცირე სიმაღლის ბეტონის კედლიანი ნაგებობები, ძირითადად მუშაობენ ძვრაზე.

ნაგებობის მახასიათებლებიდან გამომდინარე, მიზანშეწონილია ხისტი ნაგებობის სიმტკიცის გაზრდა, პლასტიკურობის გაუმჯობესების მცდელობა.

გაძლიერების გადაწყვეტილებებს ხშირად თან სდევს არსებული ნაგებობების წონის, გაბარიტების და სიხისტის ზრდა და, შესაბამისად, სეისმური ძალების ზრდა, რომლებსაც უნდა გაუძლონამ გაზრდილმა კვეთებმა. თუმცა, სიხისტის გაზრდა ვერ ეხმარებაარამზიდ ელემენტებს, გაუძლონ შენობის მნიშვნელოვან დეფორმაციებს.

მოქნილი ნაგებობები შეიძლება გაძლიერდეს მათი სიმტკიცის გაზრდით. განსაკუთრებით ეფექტურია ჯვარედინი განმბრჯენების გამოყენება. ასევე მისაღებია პლასტიკური სახსრების შემოღება. გაზრდილი პლასტიკურობა სძენს შენობას რღვევამდე მეტ დეფორმირებას სეისმური ძალების გაზრდის გარეშე.

როდესაც დაყენებულია პლასტიკური სახსრები, ისინი ეხმარებიან შენობას გავზარდოთ ნაგებობის დისიპაციური შესაძლებლობა.

როდესაც ხისტი ან მოქნილი ნაგებობები აღიჭურვება დემპფერული მოწყობილობით, მათ შეუძლიათ გააბნონ (მოახდინონ დისიპაცია) მასზე გადაცემული სეისმური ენერჯის მნიშვნელოვანი ნაწილი.

შენობაში ძაბვების გამომწვევი სეისმური მოქმედება შესაძლებელია შემცირდეს ნაგებობის იზოლაციით მისი საძირკვლისაგან, უპირატესად დემპფერული მოწყობილობის გამოყენებით. ხატოვანი გამოთქმით, ეს ნიშნავს “ფილტრი“-ს მოთავსებას ნიადაგსა და შენობას შორის, რომელიც უშვებს სეისმურ მოქმედების ენერჯის მხოლოდ ნაწილს. დინამიური იზოლატორები ახდენენ ნაგებობის სიხშირის კომპენსირებას, რომელიც მუშაობს ჰორიზონტალური მიმართულებით, როგორც შედარებით დაბალი სიხშირის

გენერატორი.

ანტისეისმურ ღონისძიებებს მიეკუთვნება და განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ჯვარედინი განმბრჯენების (ნახ.3) მოწყობას ექსპლუატაციაში მყოფ შენობებზე. ასეთი განმბრჯენები ეწყობა შენობის ყველა სართულზე. ძირითადად გარე კონტურზე. მათ უნდა მიიღონ ჰორიზონტალური ძალები შენობის თვითოეულ სართულზე და გადასცენ დინამიკური დატვირთვები საძირკვლებს.

ყურადღებას იპყრობს გაძლიერება განმბრჯენებით ენერჯის განმზნევი მოწყობილობით. Freyssinet-ის ფირმის მიერ შექმნილი განმბრჯენები Transpec™ FVD ანტისეისმური მოწყობილობებით. აქ გამოიყენება ბლანტი სითხის ენერჯის გაზნევის მოწყობილობა, რომელსაც აქვს ძალიან მაღალი ჩახშობის სიმძლავრე და განსაკუთრებით ეფექტურია ძალიან მოკლე ბიძგებისას.



**ნახ.3. ჯვარედინი განმბრჯენები**

განსაკუთრებული ადგილი უკავია სეისმოიზოლაციის ღონისძიებებში ნაგებობების იზოლაციას შენობის საძირკვლისაგან.

გამოიყენება ბანდაჟირებული ელასტომერული საკისრები. მათი ჰორიზონტალური მოქნილობა და მათი მაღალი გაზნევის შესაძლებლობები ვერტიკალური დატვირთვის ქვეშ, შესაძლებელს ხდის ნაგებობის იზოლირებას მისი საძირკვლის მოძრაობისაგან. მათი ელასტიურობის გამო ეს საკისრები

აფიქსირებენ ნაგებობას მიწისძვრის შემდეგ, ანუ უბრუნებენ საწყის მდგომარეობას.

აღნიშნულის გარდა დინამიურ იზოლატორებს ასევე გააჩნიათ საამორტიზაციო ფუნქციაც, რომ მოხდეს სეისმური ენერჯის ნაწილის გაბნევა.

ამ თავში განხილულია აგრეთვე ნაგებობათა საეისმური ზემოქმედებისაგან დაცვის კიდევ ერთი სისტემა, რომელიც გამოიყენება სლოვენიაში. ეს არის “Freyssinet”-თან ერთად შემუშავებული სისტემა YSO SLAB-ის ტექნოლოგიური გადაწყვეტა, რითაც მნიშვნელოვნად მარტივდება პროექტირება და მშენებლობა სეისმურ რაიონებში.

ამ სისტემის მუშაობის პრინციპია საფუძვლის იზოლაცია შენობისაგან: საძირკვლის ფილა ჩამოსხმულია პირდაპირ გრუნტზე. მათზე ეყრდნობიან სვეტები, რომელთა თავზე მოთავსებულია იზოლატორები. ამ უკანასკნელებზე თავსდება იზოლირებული გადახურვის ფილა, რომელზედაც აშენებულია შენობა (ნახ.4).



**ნახ.4. YSO SLAB-ის ტექნოლოგიით აგებული შენობა**

ფართოდ გამოიყენება საძირკვლების იზოლაცია შენობის მიწისზედა მზიდი კონსტრუქციებისაგან. აქ იზღუდება გადაადგილება და აჩქარება, რომლებსაც კონსტრუქცია იღებს მიწისძვრის დროს. შედეგად მცირდება სეისმური ძალების ამპლიტუდაშენობაზე, მნიშვნელოვნად მცირდება

აჩქარებები, მცირე ინერციის ძალები და შედეგად შემცირებულია დაზიანებები, ასევე შემცირებულია არაკონსტრუქციული ელემენტების დაზიანებები.

**მეოთხე თავში** განხილულია ახალ ანტისესმურ ღონისძიებათა ძიება, სეისმოიზოლაციის გამოყენების საკითხები სამშენებლო ნორმებსა და წესებში, ასევე მოცემულია სეისმოიზოლირებული სისტემების გაანგარიშების მეთოდები და რეალური შენობის გაანგარიშების კომპიუტერული ექსპერიმენტის შედეგები ევროკოდების საფუძველზე.

მსოფლიოს ბევრ სეისმურადაქტიურ ქვეყანაში იყენებენ აქტიურ და პასიურ სეისმოდამცავკონსტრუქციულ სქემებს: სეისმოიზოლაციას და სეისმოდამხშობებს.

**აქტიური სეისმოდამცავი** ღონისძიებები რთავენ დამატებით ენერჯის წყაროებს და ელემენტებს, რომელთა მეშვეობითაც ხდება ამ წყაროების მუშაობის რეგულირება.

**პასიურ სეისმოდამცავ** სისტემებში შედიან სეისმოდამხშობი და სეისმოიზოლაციის საშუალებები. აქ დამატებითი ენერჯის წყაროები არ გამოიყენება.

შენობის სიმძიმის ცენტრისა და სიმეტრიის ცენტრის აცდენის დროს ხდება გრეხვითი მოვლენების განვითარება, რომელიც გამოწვეულია სეისმური ზემოქმედების სივრცითი დინამიური მოქმედებით. ეს მოვლენა იწვევს განაპირა სეისმოსაიზოლაციო საყრდენების უფრო მეტად გადატვირთვას. ამიტომ საჭიროა შევიყვანოთ სპეციალური საკომპენსაციო ღონისძიებები ნაგებობის დასაცავად.

ერთიგაა, რეზინი-ლითონის საყრდენების ექსპლუატაციის პირობებში გამოცვლა ადვილია დამუშავებული ტექნოლოგიური სისტემის საშუალებით.

რეზინა-ლითონის მრავალფენიანი საყრდენების დამზადება ადვილია მათი სიმარტივის გამო. ნაგებობათა პროექტირების დროს საყრდენების პარამეტრის შერჩევა მარტივად ხდება საფენების სისქის და რაოდენობის დადგენის ხარჯზე.

სეისმოსაიზოლაციო საყრდენები რეზინა-ლითონის ელემენტები საგრძნობლად ახშობს რხევას და თითქმის 2 ჯერ ამცირებს შენობის



მედევობასსეისმური ზემოქმედების დროს, 2-3 ჯერ მცირდება საკუთარი რხევების ძირითადი პერიოდი.

სეისმური დატვირთვების არაწრფივი ხასიათის მუშაობისასსიმება კითხვა, როგორ უნდა გავითვალსწინოთ ამ ელემენტების (სეისმოიზოლატორების) გავლენა შენობის მზიდ კონსტრუქციებზე კომპიუტერული პროგრამების კომპლექსით გაანგარიშების დროს.

სნკც-ს მიერ შემოთავაზებულია რეზინოლითონის საყრდენებით აღჭურვილ შენობათა გაანგარიშების მეთოდი საეისმურ დატვირთვებზე, სადაც გამოყენებულია სეისმური ზემოქმედების მოდიფიცირებული სპექტრი.

ასეთი წესი მნიშვნელოვნად ამცირებს საანგარიშო სიმძლავრეებს, იმის ხარჯზე, რომ საშუალებას გვაძლევს ნაგებობის გაანგარიშება ვაწარმოოთ დრეკად სტადიაში.

ამ წესის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ შენობის გაანგარიშება სრულდება საანგარიშო მოდელის ეტაპების მიხედვით. პირველ ეტაპზე ვაწარმოებთ სეისმური დატვირთვის განსაზღვრას შენობის იზოლირებულ ნაწილზე. სეისმოიზოლაციის სისტემის არაწრფივი ხასიათის მუშაობის გასათვალისწინებლად, საანგარიშო სეისმური კვანძური დატვირთვების მნიშვნელობების განსაზღვრისას, გამოიყენება სპეციალურად მიღებული აჩქარების სპექტრის გრაფიკი.

აჩქარების სპექტრის გრაფიკის აგება ხორციელდება პროგრამა „ფილტრში“, რომელიც დაწერილია Fortran-ის ენაზე, დამუშავებული რეგიონალური თავისებურებების ანალიზის, კონსტრუქციული გადაწყვეტის და უშუალოდ მშენებლობის მოედანზე გრუნტული პირობების შესაბამისად.

სეისმური დატვირთვების გაანგარიშებისას დინამიური კოეფიციენტების გრაფიკის ნაცვლადსაანგარიშო კომპლექსში წინასწარ დაისახება აჩქარების სპექტრი.

სეისმური დატვირთვების განსაზღვრის შემდეგ, სრულდება იზოლირებული ნაწილის სტატიკური გაანგარიშება, რის შედეგად განისაზღვრება ძალები, გადაადგილება დაშენობის კონსტრუქციული ნაწილის აარმირება.

შემდგომშენობის არაიზოლირებული ნაწილის გაანგარიშება ხდება ცნობილი ფორმულებით, გრაფიკებით და იზოლირებული შენობის ნაწილის მასის შეყურსულად გადაცემა რლს განლაგების წერტილებში.

ამასთან დაკავშირებით სეისმური დატვირთვების გასაანგარიშებლად მიღებული ფორმულა შემდეგია:

$$S = m_k A K_1 K_\psi K_A \eta_{jk},$$

სადაც

$K_1$  – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს შენობაში დასაშვებ დაზიანებებს, რომლებიც მიიღება - იზოლირებული ნაწილისათვის  $K_1=1$ , ხოლო არაიზოლირებული ნაწილისათვის  $K_1=0,3$ .

$m_k^j$  – შენობის მასა, რომელიც ეხება კონსტრუქციის  $K$  წერტილს, რომელიც ითვალისწინებს კონსტრუქციაზე დატვირთვას.

$A$  – სპექტრალური აჩქარება  $m/s^2$ , რომლის მნიშვნელობა მიიღება აჩქარების სპექტრის გრაფიკის მიხედვით ;

$K_\psi$  – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ნაგებობის თვისებას გაფანტოს რხევის ენერგია, მიიღება  $K = 1$ .

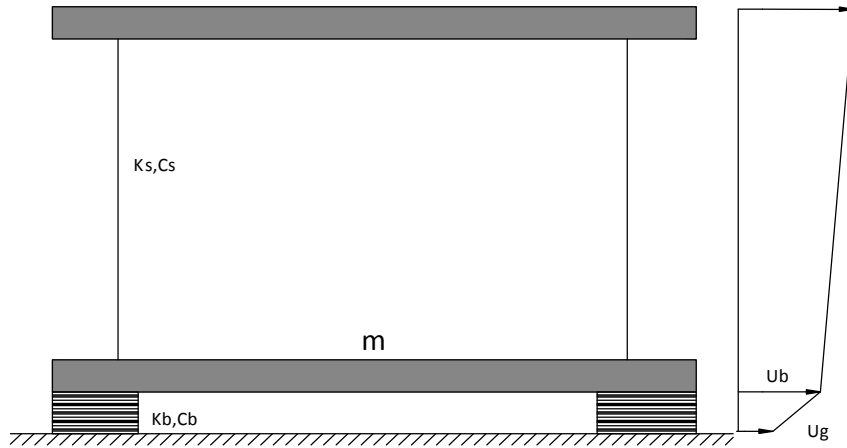
$K_A$  – კოეფიციენტი  $K_A=1$ . ტერიტორიის მიკრორაიონების გათვალისწინებით.

$\eta_{jk}$  – კოეფიციენტი, შენობის დეფორმაციის ფორმაზეა დამოკიდებული, მისი საკუთარი რხევების დროს  $i$ -ნური ფორმის,  $j$ -მიმრთველების და მასის განლაგების  $m_k$  ადგილზე დამოუკიდებლადაა მიღებული.

მოცემულ

თავში მოყვანილია სეისმოიზოლაციის მქონე შენობების გაანგარიშება – გამარტივებული წრფივი მეთოდის, სპექტრული მეთოდის, „ევროკოდი 8“-ის და კომპიუტერული საანგარიშო პროგრამის საშუალებით და მიღებული დინამური მახასიათებლების ცვლილებები სშედარება. გაანგარიშებულია ბლოკური შენობა როგორც სეისმოდამცავი სისტემით, ისე მის გარეშე. სეისმოიზოლაციის სისტემის წრფივი თეორია დეტალურად აღმოცემულია „ევროკოდი 8“-ის გათვალისწინებით ქვემოთ. თეორიის მოკლე მიმოხილვა,

რომელიც მყარება მარტივსაანგარიშო მოდელს,  
 სისტემას ორითავე სუფლების ხარისხით,  
 შეყურსული და ტვრით ვით მოცემული ანახა ზე.



**ნახ.5. სეისმოლოგიის მქონე შენობების წრფივი გაანგარიშების ორმასიანი მოდელი**

გაანგარიშების საანგარიშო ფორმულები გამოყვანილია „ევროკოდი 8“-ის ნორმატიული მასალის გამოყენებით.

ორითავე სუფლების ხარისხი შეესაბამება ორმასიანი ნაგებობის საანგარიშო სქემას,

რომლის ჰორიზონტალურ გადაადგილებების მიხედვით, საჭიროა ჩავწეროთ გადაადგილების განტოლება ფარდობითი გადაადგილების ტერმინებში.

რხევის განტოლება შეიძლება ჩაიწეროს და ლამბერის პრინციპის მიხედვით.

$$(m_s + m_b) \ddot{v}_b + m_s \dot{v}_b + c_b v_b + K_b v_b = -(m_s + m_b) \ddot{u}_g$$

$$m_s \ddot{v}_b + m_s \dot{v}_s + c_s v_s + K_s v_s = -m_s \ddot{u}_g ,$$

სადაც,

$m_s$  – ნაგებობის მიწისზედ აწილის მასა;

$m_b$  – იზოლაციის სისტემის მასა საძირკვლის ზემოთ;

$k_s, c_s$  – მიწისზედ აწილის სიხისტის და რხევის მილვეის კოეფიციენტი.

$k_b, c_b$  – იზოლაციის სისტემის დენად-პლასტიკური სიხისტის და რხევის მილვეის კოეფიციენტი;

$u_g$  – გრუნტისჰორიზონტალური გადაადგილება;

შენობის მთლიანი მასა:

$$M = m_s + m_b$$

მატრიცული ფორმით განტოლება შემცირებულია შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგისა ხით:

$$M\dot{v} + C\dot{v} + Kv = -Mr\ddot{u}_g$$

იმასთან დაკავშირებით, რომ იზოლაციის სისტემა ბევრად უფრო დამყოლია, ვიდრე ნაგებობა ( $K_b \ll K_s$ ), მაგრამ ნაგებობის მიწისზედა ნაწილის მასა ბევრად მეტია ვიდრე საძირკვლის მასა, ამიტომ  $\gamma \cong 1$  და  $\varepsilon \ll 1$ . მოდელური ანალიზის მიხედვით განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

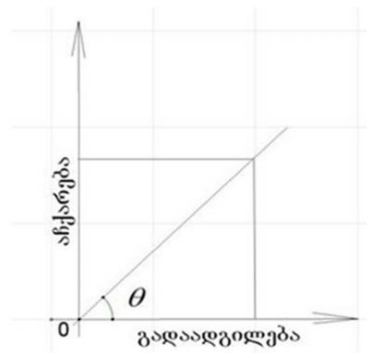
$$(m_s + m_b)\ddot{v}_b + m_s\dot{v}_b + c_b\dot{v}_b + K_b v_b = -(m_s + m_b)\ddot{u}_g$$

მოყვანილი ფორმულები აუცილებელია იზოლაციის სისტემის მქონე შენობების ქცევის და განგარიშებისათვის, როცა  $\varepsilon$ -ის მნიშვნელობა მცირეა და სპექტრის ფორმა სტანდარტულია, საიზოლაციო სისტემა გაიანგარიშება მაქსიმალურ გადაადგილებაზე თუ გვეცოდინება  $S_d(\omega_b, \xi_b)$ . ეს სიდიდე შეიძლება მივიღოთ უბრალო ოსცილიატორისაგან, რომლის მასა ტოლია ნაგებობის მიწისზედა ნაწილის მთლიანი მასის  $M$ , ხოლო სიხისტე და რხევის ჩახშობა ტოლია საიზოლაციო სისტემის შესაბამისი რაოდენობრივი მაჩვენებლის ( $K_b, \xi_b$ ). შენობის კონსტრუქციული ელემენტების დაზიანება დამოკიდებულია სართულშორისი გადახურვის ძვრის  $d_{b,max}$  სიდიდეზე, რომელიც წარმოიქმნება სეისმური რხევის შედეგად, სიხშირის პროპორციულად  $\sqrt{\varepsilon}$  და საძირკვლის მაქსიმალური გადაადგილებისაგან  $S_d(\omega_b, \xi_b)$ .

მიღებული შედეგების აპროქსიმაცია ერთი თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემისათვის საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ რეაქციის სპექტრი უშუალოდ იზოლაციის მქონე შენობების გამარტივებისათვის. რეაქციის სპექტრი იძლევა საძირკვლის მაქსიმალურ გადაადგილებას და მაქსიმალურ განივ ძალას

საძირკველში  $(m_s + m_b) \cdot S_d(\omega_b, \xi_b)$ . ეს ძალები გამოიყენება რეაქციის სპექტრის აჩქარება-გადაადგილების გრაფიკის (ნახ.6) ასაგებად, რომელზეც დატანილი სწორი ხაზი, რომელიც გადის კოორდინატთა სათავეში, რომლის დახრის კუთხე  $\Theta = S_o / S_d = 4\pi^2 / T^2$  და გვიჩვენებს იზოლირებული სისტემის რხევის პერიოდს. სწორი ხაზის და დიაგრამის გადაკვეთის წერტილი გვიჩვენებს გადაადგილების სისდიდეს იზოლაციის სისტემის დონეზე და გრუნტის აჩქარებას.

იზოლაციის სისტემის მოდელირებისას აუცილებელია გავითვალისწინოთ საკმაო სიზუსტით იზოლირების სივრცითი განლაგება გეგმაში ისე, რომ ორივე ჰორიზონტალური მიმართულებით გადამყირავებელი მომენტი და გრუნტის ეფექტივერტიკალური ღების მიმართ იყოს გათვალისწინებული.



**ნახ.6. წრფივი ექვივალენტური გაანგარიშებისგრაფიკი**

საიზოლაციო სისტემის ფიზიკური და მექანიკური თვისებების შეფასება, რომელიც შეიძლება ექსპლუატაციის მთელი ვადის დროს იქნას მოპოვებული, გაანგარიშებისათვის არის ყველაზე აუცილებელი. ასეთი შეფასება უნდა აისახოს შემდეგი გავლენით:

- დატვირთვის ხარისხი;
- ვერტიკალური დატვირთვის ერთდროული მოდებით;
- ჰორიზონტალური დატვირთვის ერთდროული მოდება ორივე განივი მიმართულებით;
- ტემპერატურის ცვლილებით;
- შენობის ექსპლუატაციის ვადებში მასალის თვისებების ცვლილებით;

კვანძებში ენერჯის განხვევა (დისიპაცია) გამოისახება ენერჯის განზომილებით, რომელიც განიხვევა ერთ ციკლში საკუთარი რხევის სიხშირით განსახილველი ნაწილისათვის. მაღალი ფორმების დროს, რომელიც გადის ამ ზღვრებიდან, რხევის ჩახშობის ფორმისკოეფიციენტი მთელი შენობისათვის უნდა იყოს ისეთი, როგორც ნაგებობის მიწისზედა ნაწილის საძირკველში ხისტი ჩამაგრებისას.

თუ ეფექტური სიხისტე ან ეფექტური რხევის ჩახშობა ცალკეული იზოლატორის დამოკიდებულია საანგარიშო გადაადგილებაზე  $d_{dc}$ , მაშინ იტერაციის პროცესი გაგრძელდება მანამ, სანამ შეჯამებულ დაანგარშით მიღებულ მნიშვნელობებს შორის განსხვავება არ გადააჭარბებს 5%-ს შეჯამებულ მნიშვნელობისას.

საიზოლაციო სისტემის ქცევა შეიძლება მიღებულიქნას ექვივალენტურად წრფივი, თუ სრულდება ქვემოთჩამოთვლილი პირობები:

ა) საიზოლაციო სისტემის ეფექტური სიხისტე, როგორც ზემოთ იყო აღწერილი, შეადგენს არანაკლებ 50%-ს, გადაადგილების ეფექტური  $0,2d_{dc}$  სიხისტისას;

ბ) საიზოლაციო სისტემის რხევის ჩახშობის ეფექტური სიხისტე არაღემატება 30%-ს;

გ) „ძალა-გადაადგილების“ დამოკიდებულების მახასიათებლები საიზოლაციო სისტემისა იცვლება ზღვრებში 10%, დამოკიდებულია ვერტიკალური დატვირთვის სიჩქარეზე;

დ) საიზოლაციო სისტემაში გადაადგილების დროს  $0,5d_{dc}$  და  $d_{dc}$

აღდგენის ძალის სიდიდის ზრდა შეადგენს ნაგებობის საიზოლაციო სისტემის ზემოთ მდებარე ჯამური ვერტიკალური დატვირთვის არანაკლებ 2,5%-ს.

თუ საიზოლაციო სისტემის ქცევა მიღებულია როგორც წრფივად ექვივალენტური და სეისმური ზემოქმედება მიიღება რეაქციის დრეკადი სპექტრით, რხევის ჩახშობის კორექტირება ხდება

რხევის ჩახშობის ეფექტური კოეფიციენტის შემოღებით  $K_{\xi}$ .

$$K_{\xi} = 10 / (5 - \xi) \geq 0,55$$

სადაც  $\xi$  – შენობის რხევის ბლანტი ჩახშობის კოეფიციენტი, გამოისახება პროცენტებში.

აღსანიშნავია ასევე, რომ აჩქარების რეაქციის დრეკადის პექტრი შეიძლება მიღებული იქნას შემდეგი საფუძველის მიხედვით:

1) მნიშვნელოვანია  $\beta$  – დინამიურობის კოეფიციენტის გრაფიკს თუ გადავამრავლებთ  $A$  კოეფიციენტზე და გ – თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაზე, რომელიც აიღება 0.1, 0.2, 0.4 ტოლი ისეთის სისტემებისავის, რომელთა საანგარიშო სეისმურობა შესაბამისად 7, 8, 9 ბალს შეადგენს.

2) სამშენებლო მოედნის რეალური აქსელეროგრამის ჩანაწერის მიხედვით გაანგარიშება;

3) ხელოვნული აქსელეროგრამის მიხედვით გაანგარიშება, რომელიც ითვალისწინებს მოდელირებისას ადგილობრივი გრუნტის პირობებს;

გამარტივებული გაანგარიშების წრფივი მეთოდი ითვალისწინებს ორჰორიზონტალურ დინამიურ მდგენელს და სტატიკური გრუნტის ეფექტს.

იგულისხმება, რომ ნაგებობის მიწისზედა ნაწილი წარმოადგენს ხისტ კონსტრუქციას, რომელიც მდებარეობს საიზოლაციო სისტემისზემოთ. ასეთ შემთხვევაში ეფექტური საკუთარი რხევის პერიოდი გამოისახება ფორმულით:

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{M / K_{eff}}$$

მგრები მომენტი ვერტიკალური ღერძის მიმართ შეიძლება უგულვებელყოთ თუ ორივე ძირითადი ჰორიზონტალური მიმართულებით წრფივი დრეკადი გაანგარიშებისას ეფექტური ჰორიზონტალურის იხისტე არ აღემატება მთლიან ექსცენტრის იტეტს სეისმოიზოლაციის სისტემის სიხისტის ცენტრს შორის მიწისზედა ნაწილის განივი ჰორიზონტალური ზომის 7,5%-ს. ეს არის პირობა როდის შეიძლება გამოვიყენოთ გამარტივებული წრფივი

განგარიშების მეთოდი.

გამარტივებული განგარიშების წრფივი მეთოდი შესაძლებელია გამოვიყენოთ საიზოლაციო სისტემებში ექვივალენტური წრფივი რხევის ჩახშობისას, თუ სისტემა ასევე აკმაყოფილებს შემდეგ პირობებს:

ა) მანძილი სამშენებლო მოედნიდან უახლოეს პოტენციალურ აქტიურ მიწიძვრის რღვევის ხაზთან, რომლის მაგნიტუდა კმ.-ია;  $M_5 \geq 6,5$

არაუმცირესი 15 ბ) მიწისზედა ნაწილის უდიდესი ზომა გეგმაში არაუმეტესი 50 მ-ია;

გ) საძირკველის აკმაოდ ხისტია, რომ მინიმუმამდე დავიყვანოთ გრუნტის მრავალმხრივი გადაადგილება;

დ) ყველა სეისმოიზოლაციის დანადგარები, რომელიც მოთავსებულია საძირკველის ზემოთ, იტანს მთლიან ვერტიკალურ დატვირთვას;

ე) ეფექტური პერიოდი  $T_{eff}$  აკმაყოფილებს შემდეგ პირობას:

$$3 T_f \leq T_{eff} \leq 3 T_{sec}$$



სადაც,  $T_f$  – შენობის მიწისზედა ნაწილის ძირითადი ფორმის საკუთარი რხევის პერიოდია.

შენობაში ყველა ქვემოთ მოყვანილი პირობები უნდა იქნას შესრულებული, რომ შესაძლებელი იყოს გამარტივებული მეთოდის გამოყენება იზოლაციის მქონე ნაგებობების გაანგარიშებისათვის.

ა) კონსტრუქციული ელემენტები, რომელზედაც მოქმედებს ჰორიზონტალური დატვირთვა სეისმური ზემოქმედებისას, უნდა განაწილდეს გეგმაში ორი მთავარი ღერძის მიმართულებით, რეგულარულად დასიმეტრიულად;

ბ) საძირკვლის გრეხა ფუძეში უნდა იყოს მინიმალური;

გ) საიზოლაციო სისტემის ჰორიზონტალური დავერტიკალური სიხისტეების ფარდობა უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ პირობას:

$$\frac{K_v}{K_{eff}} \geq 150,$$

დ) ძირითადი ფორმის ვერტიკალური საკუთარი რხევის პერიოდი უნდა იყოს  $T_v \leq 0,1 \text{ sec.}$  და გამოითვლებფორმულით:

$$T_v = 2\sqrt{M/K_v} \quad (18)$$

სტანდარტული კონსტრუქციების სეისმური დაცვა დეფორმაციის და რღვევის დროს დამყარებულია დინამური მახასიათებლების დადებით ცვლილებებზე, რომელიც ხდება მზიდ და არამზიდ კონსტრუქციულ ელემენტებში ინტენსიური სეისმური დატვირთვის ზემოქმედებისას. ასეთი ცვლილებები შეიძლება დახასიათდეს როგორც მოქნილობის და დემფირების ამაღლება. ჩვეულებრივ მიწისძვრის სპექტრული მახასიათებლების ან ენერჯის განზნევის თანახმად, რომელიც აღიძვრება კონსტრუქციაში, მითითებული ცვლილებები იწვევენ სტრუქტურული მასის და ინერჯის ძალების მნიშვნელოვან შემცირებას, რომელიც პლასტიკურ კონსტრუქციას აძლევს საშუალებას გაუძლოს დამანგრეველ მიწისძვრას და არ დაინგრეს. ასეთი მიდგომების უზრუნველსაყოფად მოქმედ ნორმებში და „EN 1989-1“ შემოღებულია ქცევის კოეფიციენტი, რომელიც ამცირებს სეისმურ ძალას სხვადასხვა

ტიპისკონსტრუქციის პლასტიკურობის ხასიათისმიხედვით.

ცნობილია, რომ იზოლაცია, მცირე სიხშირის რხევებისასმიწისძვრის დროს, რომლის სიხშირე რამდენჯერმე ნაკლებია, ვიდრე ნაგებობისრხევა, მიყვავართ პლასტიკურობის მაღალ დონეზე კონსტრუქციის ზედანაწილში. თუ მას არ შეუძლია ხანგრძლივი დროის განმავლობაში წინაღობაგაუწიოს აჩქარების იმპულსებს. ამაში მდგომარეობს მიზეზი, რომელიცდევს ევროკოდის საფუძვლებში “EN-1998-1”, სადაც აღნიშნულია,რომ:

-„სეისმომდეგობა“ ელემენტის კონსტრუქციის ზედა ნაწილშიშეიძლება დაკმაყოფილდეს თუ რეაქციის სპექტრს გავყოფთ ქვევისკოეფიციენტებზე, რომელიც არ არის მეტი ვიდრე1,5;

-კონსტრუქციული ელემენტი ზედა და ქვედა კონსტრუქციისნაწილისა შეიძლება დაპროექტდეს ენერჯის არაგანზნევით. ეს იწვევსმნიშვნელოვან ეკონომიას ნაგებობის დაპროექტებისასსეისმოიზოლირებული საფუძვლით, უფრო ნაკლები მოთხოვნებით სიმტკიცეზე დამზიდი კონსტრუქციების დეტალიზაციაზე. ასეთმა ეკონომიამშეიძლება გააწონასწოროს და გადაფაროს სეისმოიზოლაციის ელემენტებისდა სპეციალურად მოწყობილი საიზოლაციო ფენისღირებულება.

მეორეს მხრივ, მთლიან იზოლაციაში იგულისხმება,რომ იზოლირებული კონსტრუქცია იტანს ძლიერი მიწისძვრისზემოქმედებას რღვევის გარეშე, რასაც ასევე მოაქვს მნიშვნელოვანი ეკონომია,თუ გავითვალისწინებთ მოსალოდნელ დანახარჯებს ნაგებობისარსებობის მთელი პერიოდისგანმავლობაში.

ეკონომიურიუპირატესობასეისმოიზოლირებულ შენობებშიდამოკიდებულია რამდენიმეპარამეტრზე:

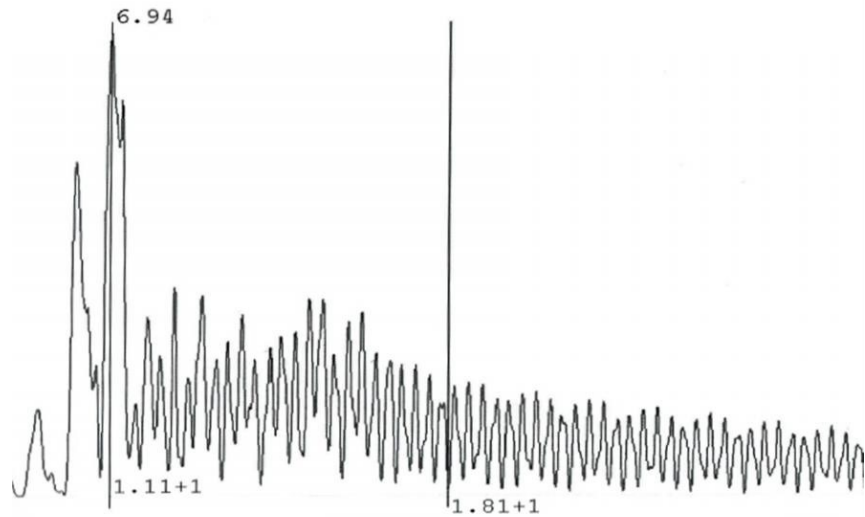
- შენობის ზომებზე და განსაკუთრებით სართულებისრაოდენობაზე;
- შენობის კონფიგურაციაზე;
- კონსტრუქციის სქემაზე, მექანიზმების რაოდენობაზე, რომელიცაუცილებელია სეისმოიზოლაციის

სისტემისრეალიზაციისათვის;

სეისმოიზოლაცია უპირატესად უნდა მოეწყოს ისეთ შენობებში, რომლებმაც არ უნდა შეწყვიტონ ფუნქციონირება მიწისძვრის დროს. ასეთებია: საავადმყოფოები,

მართვის ცენტრები, შენობები, სადაცინახება მაღალი ღირებულების ნივთები (მუზეუმები) დაეკოლოგიურადსაშიში ქარხნები. ასეთი ნაგებობების სეისმოიზოლაციითდაპროექტებისას საჭიროა განსაკორექტირებული კრიტერიუმების და წესების დაცვა. ამ მიზნით “EN-1998-1” ევროკოდექსში ცალკე განყოფილება არის გამოყოფილი, სადაცგაშუქებულია სეისმოიზოლაციასთან დაკავშირებული მონაცემები.

კომპიუტერული ექსპერიმენტისთვის რიცხვით მაგალითად შერჩეულ იქნა მშენებარე ბაღის ბლოკური შენობა სეისმოიზოლაციის გამოყენებით და მის გარეშე. გაანგარიშებისათვის აღებულ იქნა რეალური აქსელეროგრამა (ნახ.7), რომელიც ჩაწერილი იყო სპიტაკის მიწისძვრის დროს.



**ნახ.7. სპიტაკის მიწისძვრის აქსელეროგრამა**

შენობები შეიძლება იყოს სხვადასხვა ტიპის : ქვის, რკინაბეტონის, ლითონის, კარკასული, კარკასული სიხისტის ბირთვით, დიაფრაგმებით და სხვა.

მიღებული შედეგებიდან (შედეგების სიმრავლის გამო) დამუშავებულია 4 შენობის მონაცემები, რომელიც წარმოდგენილია ცხრილი №1-ში.

როგორც ცხრილში მითითებული მონაცემები გვიჩვენებს, სეისმოიზოლაციის მქონე შენობების მიწისზედა ნაწილს გადაადგილება პირველი შენობის მაგალითზე აქვს 9სმ, ხოლო სეისმოიზოლაციის სისტემას, რომელზედაც მოქმედებს სეისმური ჰორიზონტალური დატვირთვა -16სმ.

გადაადგილების შემცირება გამოიწვია ინერციის ძალების შემცირებამ, რადგან სეისმოიზოლაციაზე სეისმური ძალის მოქმედება ინერჯის განხრევის გამო შემცირდა მიახლოებით ორჯერ, რაც კლიტერატურაში მოცემული მკვლევარების მიერ არის დადასტურებული. მიწისზედა ნაწილს შემცირებული სიდიდით გადაეცემა დატვირთვა, რაც შესაბამისად იწვევს ინერციული ძალების შემცირებას.

ცხრილი 1. კომპიუტერით გაანგარიშების შედეგები

შენობის სეისმოიზოლაციის გარეშე				შენობის სეისმოიზოლაციით				მონაცემების სხვაობა				განსხვავება %	
M	Q	δ	T	M	Q	δ	T	M	Q	δ	T	M <sub>შლწ</sub> ავი მომენტი	Q განივი ძალა
71,3	53,1	0,09	0,079	56,1	41,7	0,16	0,71	15,2	11,4	0,079	0,08	21,03	21,4
-81,9	61,2			-72,6	53,3			-9,3	7,9			-11,35	12,7
68,92	47,79	0,087	0,8	53,72	37,3	0,169	0,721	15,2	10,49	0,082	0,014	21,03	21,9
-79,17	53,16			-69,87				-9,3	8,91			-11,35	16,7
64,80	44,93	0,081	0,95	49,6	38,2	0,178	0,871	15,2	6,33	0,087	0,079	21,03	14,08
-74,438	49,98	8		-65,138				-9,3	7,4			-11,35	14,08
60,36	41,85	0,076	0,68	45,16	33,76	0,187	0,601	15,2	3,31	0,0611	0,079	21,35	7,90
-59,54	46,558	2		-51,24	43,34			-9,3	3,21			-11,35	6,89

ინერციული ძალები აღიძვრება მასებისაგან, რომელიც მოდებულია სართულშორისი გადახურვის დონეზე, რადგან საანგარიშოსქემა ბლოკური შენობის სეისმოიზოლაციის გარეშე არის ერთიბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული ღერო ერთი მასით. გადაადგილების შემცირებამ როგორც მოსალოდნელი იყო გამოიწვია ძალების შემცირება, პერიოდების, რხევის ჩახშობის კოეფიციენტების (დეკრემენტი) დინამიურობის კოეფიციენტის და ყველა დინამიური მახასიათებლების ცვლილება. განსაკუთრების აღსანიშნავია, რომ მზიდ კონსტრუქციებში ძალების ცვლილება, რომელიც პირდაპირ პროპორციულია მზიდ იელემენტების კვეთის ზომების და არმატურის ხარჯის შემცირებასთან. უნდა აღინიშნოს, რომ სეისმოიზოლატორის სისტემის დანერგვა მკვეთრად გააუმჯობესებს შენობა-ნაგებობების სეისმომდეგობას. ამ სისტემების გამოყენება მიზანშეწონილია არსებული შენობების სეისმომდეგობის გასაუმჯობესებლად, რომლებიც ჩვენს ქვეყანაში მრავლადაა, ხოლო მას შემდგომ, რაც საქართველო მიაკუთვნეს 7,8 და 9 ბალიან რეგიონს, დღის წესრიგში დგას არსებული შენობების სეისმოუსაფრთხოების გაუმჯობესება.

## ძირითადი დასკვნები

კვლევების შედეგად დადგინდა:

1. სეისმოიზოლაციის სისტემის გამოყენებისას ნაგებობაზე მოქმედი სეისმური დატვირთვა დაახლოებით 1,9–2–მდე მცირდება;

2. სეისმური ძალის ზემოქმედების შემცირება მზიდიკონსტრუქციებში იწვევს ინერციული ძალების შემცირებას, რის შედეგადაც მცირდება მიწისძვრის დროს კონსტრუქციული ელემენტების რღვევის სიხშირე;

3. ინერციული ძალების შემცირება იწვევს შენობის მზიდი კონსტრუქციების გადაადგილების შემცირებას, რაც ძალზე მნიშვნელოვანია ნაგებობის სეისმომდეგობაზე გაანგარიშებისას;

4. გადაადგილების შემცირება დაკავშირებულია მზიდ კონსტრუქციულ ელემენტებში ძალების შემცირებასთან, ძალების შემცირება იწვევს კონსტრუქციების განიკვეთის, ბეტონისა და არმატურის ხარჯის შემცირებას;

5. სეისმოიზოლაციის გამოყენებისას შეზღუდულია გადახურვის ძვრა, რომელიც გამორიცხავს არაკონსტრუქციული ელემენტების დაზიანებას და საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ შენობაძლიერი მიწისძვრის შემდეგაც;

6. კომპიუტერით გაანგარიშებისას გამოყენებულია სპიტაკის მიწისძვრის რეალური აქსელეროგრამა, მიღებულია სეისმოიზოლაციის მქონე შენობის გადაადგილება 16სმ, ხოლო იგივე შენობის გადაადგილება იზოლაციის გარეშე შეადგენს 9სმ–ს;

7. ძალების სიდიდე მზიდ კონსტრუქციებში შემცირდა დაახლოებით 2–ჯერ, რომელიც ემთხვევა მიახლოებითი მეთოდით (მაგალითი) გაანგარიშებისას მიღებულ იქნა;

8.

დღევანდელი მდგომარეობით პრაქტიკულად შეუძლებელია რეალური ნაგებობებისათვის არაწრფივი დინამიური ამოცანის ამოხსნა პირდაპირი მეთოდით.

ასეთ შემთხვევაში გამოიყენებანაგებობის ნაწილის საანგარიშო მოდელის გამარტივების მეთოდი.

## დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში

1. მ. ბედიაშვილი - „საქართველოში სეისმოიზოლაციის სისტემის დანერგვისათვის“. „მშენებლობა“ სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი № 4(31)2013 წ. 39-45 გვ.
2. А. Сохадзе, М. Бедиашвили. «Предпосылки антисейсмических мероприятий гражданских сооружений и усиление-восстановление поврежденных зданий» Москва, 2013г. Материалы 2-ой Международной конференции асоциации ЕНСЕРТ.
3. ა. სოხადე, მ. ბედიაშვილი „ნაგებობათა სეისმომედეგობის ამაღლება სეისმოიზოლაციის საშუალებების გამოყენებით“. „მშენებლობა“ სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი № 1(32)2014 წ. 100-109 გვ.
4. მ. ბედიაშვილი - „არსებული შენობა-ნაგებობების სეისმომედეგობის ამაღლება სეისმოიზოლაციის მეთოდებით“. „მშენებლობა“ სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი № 1(32)2014 წ. 121-125 გვ.
5. ა. სოხადე, მ. ბედიაშვილი. „არსებული შენობების გაძლიერება სეისმომედეგობის ამაღლების მიზნით.“ „მშენებლობა“ სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი № 1(36)2015 წ. 36-43 გვ.
6. Soxadze, Bediasvili – “Improvement of buildings seismic resistance by application of application of seismic insulation”. International Conference- Seismic-2014. “Seismic resistance and rehabilitation of buildings” Tbilisi, Georgia, 2014. გვ. 32-40;

## **Abstract**

In the presented doctoral thesis are considered and recommended known methods for mitigation and generally protective measures for most catastrophic event on the earth - earthquake.

Most of all humanity, its cultural and civilized achievement, make losses from sudden catastrophic earthquake.

From ancient times, our ancestors were fought earthquake, they creates of such engineering methods for improving stability of buildings, especially the religious monuments, that is still under studying with interest and some even are use in the modern mass and industrial construction.

Georgia and the Georgian builders also in the modern era are staying on the leading positions and also will standing on it.

The resonant–vibration theory was advanced by a Japanese scientist in Mononobe in 1920. Exactly this theory were extended in 1927 by our fellow citizens, the world renowned scholar, C.S. Zavriv, this was followed by establish of entire team of specialists to a scientific study of seismic events and earthquake resistance in Georgia.

Was established Tbilisi zonal scientific research and experimental design institute, who won on the all-union competition and create a unified framework for massive industrial construction of public buildings.

Unified framework is intended for the all Soviet Union seismic areas under action of 6,7,8 and 9-point seismic effects, for buildings with up to 16 floors, although were built lot of 18 and more floors public buildings. A headed by me as chief engineer of institute and chief engineer of the project group, further make adaptation the same framework for construction of multi-storey industrial high useful loads.

Particularly would be mentioned the multi-storey residential buildings construction method by roofing reinforcement tension in conditions under construction by Yugoslavian professor Zhezhelis.

For creation and massively introducing of above mentioned framework systems in the 11 Soviet Union seismic active Republics our staff twice was awarded by the USSR Council of Ministers laureates title and the State Prize of Georgia, First Prize of the Georgia Trade-Unions Central Council of Presidium, Medal of Honor, a gold medal of the All-Union achievements exhibition, and so on.

During 30-35 years with created by us uniform frame ИИС-04 were built up to millions of residential, public and industrial buildings. During this time, there has not been any serious damage. In some places, they still are in use.

But now is the 21st century. The devastating earthquakes had escalated, in adjacent of our country: Spitak, Armenia, 1988, Van Turkey 2011, Iran, Makhachkala, etc. earthquakes has forced us to

observe the world's advanced countries' experience and let us made familiar with their latest achievements in the field of seismic resistance.

We, who have been at leading positions in the Soviet Union in the field of earthquake engineering, are now forced to use foreign achievements.

In Georgia has been canceled the K. Zavriev Institute of Earthquake Engineering and Structural Mechanics of Academy of Sciences, Tbilisi zonal scientific research and typical and experimental design Institute, hydraulic structures, building materials and other institutions.

And more: was destroyed for years, carefully created scientific experimental bases, in which were created new construction seismic systems for public and worldwide known famous waterworks.

Therefore, the intensively study the experience of such countries and works of new seismic protection systems developers in field of science and engineering, such as, Japan, France, Italy, Armenia, Kazakhstan, Russia, US and others.

It is known that during the design earthquake in building were originated different size cracks. After further aftershocks the number of crack increases, while the stiffness of building is reduced and as a result are reduced the values of the seismic load.

But, you know, that the due decreasing of stiffness of building would be reduced the applied seismic impact, therefore we will think how to save the building in this way. Exactly due this fact has led scientists to the start of exposure to seismic protection systems search.

Over the past three decades were created several implemented in practice method: seismic insulation systems that are widely used in our country, as well as abroad. These include active and passive seismic insulation and seismic dampingsystems: Mostly was widespread in seismic protection systems the seismic insulated foundations, which is widespread in many countries.

We consider the seismic protection compression pillars, which represent rubber-metal and rubber-plastic elements. Such pillars produced and used at new construction, especially in construction of multi-story buildings.

Manufacturing of rubber-metals multilayer pillars are easy due to their simplicity. At building design parameters of pillars are easily selected by determination of pads thickness and quantity.

Such pillars significantly increases the vibration damping and almost 2 times reduces the building reaction time at seismic impact as well as almost 2 times is reduced the basic period of seismic oscillations.

Due state of our cities, special importance has the issue of reinforcement of existing buildings. Especial importance has such building that will cause irreparable consequences, and for some, the destruction is not permitted. These include: hospitals, kindergartens, schools, police, prison, communications, water supply and such buildings.

For them in Armenia was created a special method: the existing buildings was lifted by jacks, were exposure foundations, on them are placed on rubber-metal pillars and then arrange the building



on this pillars. This is facilitated by the fact that such buildings are 2-4 floors.

On this method, we informed the Tbilisi City Hall and the Ministry of Economy and Sustainable Development.

The second method, which is also suggested by Armenian experts provides on the tenth floor of existing 9 floors building arrangement of seismic damping system.

The top of the 9th floor building column was exposure and on it was arranged rubber-metalsupports. And on those are arranged the columns of tenth floor. Was created the tenth floor, which is reinforced building rigid metalwork. This procedure takes place without eviction of tenants. Both of these techniques is advisable to be applied in the form of experiment in Tbilisi, on which is informed the Mayor of Tbilisi.

On necessity of implementation in Georgia of seismic insulation systems, I was referred to the 61th General Assembly of European Council of Civil Engineers, in Naples (Italy) and on the 63 th General Assembly in Madrid (Spain) in 2015 and 2016 accordingly.

The General Assembly of Europe expressed its full support and now it will be done by City hall, as well as us, the enthusiasts of this case.