

**Российская Ассоциация по сейсмостойкому строительству и защите  
от природных и техногенных воздействий**

**РАСС**

**ХIII Российская национальная конференция  
по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию  
(с международным участием)**

1-6 июля 2019, Санкт-Петербург

**Сборник материалов конференции**

**2019**

**Санкт-Петербург**

**Ответственные редакторы:** Ведяков И.И., Гусев Б.В.

**Редакторы:** Бубис А.А., Смирнова Л.Н.

ХIII Российская национальная конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с международным участием): материалы научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 1-6 июля 2019 г./ отв. ред. И.И. Ведяков; РАСС. 2019. 225 с.

ISSN: 2687-0045

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13**

В сборнике представлены материалы ХIII Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с международным участием), прошедшей 1-6 июля в городе Санкт-Петербурге. Организатор конференции - Российская Ассоциация по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС).

УДК 69.001.5; 69.699.8; 69.691; 69.692; 699.8

ISSN: 2687-0045

РАСС, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Кабанцев О. В., Умаров К. И. Оценка сейсмостойкости зданий с учетом дифференцированных характеристик предельных состояний конструктивных элементов и узлов .....	6
2. Тяпин А.Г. Концепция опасного направления сейсмического воздействия: плюсы и минусы.....	11
3. Минаев О. П. Наиболее важные аспекты расчёта и проектирования основания гравитационной подпорной стенки на сейсмическую нагрузку .....	13
4. Клячко М. А. Вновь о практической сейсмобезопасности в России .....	16
5. Бондарев Д. Е., Симборт Э. Кручение симметричных сооружений, расположенных на различных системах сейсмоизоляции, вызванное волновым эффектом землетрясения .....	19
6. Иванов А. Ю., Факири А., Рутман Ю. Л. Методика оценки экономического эффекта при различных способах сейсмоусиления железобетонного каркаса с гибким нижним этажом и кирпичными перегородками.....	21
7. Рутман Ю. Л., Островская Н. В., Кобелев Е. А. Оптимизация конструктивных параметров пластических демпферов в системах сейсмоизоляции.....	38
8. Саргсян А. Е., Гукова Е. Г. Концепция оценки сейсмостойкости здания резервной дизельной электростанции атомной станции .....	42
9. Алешин А. С. «Трудные» вопросы развития сейсмического микрорайонирования .....	44
10. Семенов С. Ю., Иваненко Н. А., Колесников А. В. Опыт применения кинематических систем сейсмоизоляции на территории большого Сочи при проектировании и строительстве зданий и сооружений .....	47
11. Иваненко Н. А., Семенов С. Ю., Папов Б. К., Колесников А. В. Работа кинематических систем сейсмоизоляции Курзанова-Семенова при реальных землетрясениях на основе натуральных испытаний зданий .....	49
12. Костарев В. В., Васильев П.С., Вайндрах М.В., Навроцкий П. Анализ динамических и сейсмических характеристик, оптимизация, тестирование и вероятностная оценка безопасности инновационной системы 3D сейсмической изоляции фундамента для важных сооружений.....	51
13. Ицков И. Е. Расчетные положения новых норм Республики Казахстан СП РК 2.03-30-2017 «Строительство в сейсмических зонах».....	52
14. Уздин А. М., Шульман С. А., Нестерова О. П. Сейсмозащита мечети им. Пророка Мухаммада в городе Махачкале .....	56

15. Уздин А. М., Абакаров А. Д., Смирнова Л. Н., Сорокина Г. В., Зайнулабидова Х. Б., Прокопович С. В. Статистическое моделирование сейсмических воздействий .....	58
16. Еманов А. Ф., Еманов А. А. Сейсмический мониторинг техногенного воздействия на территорию Западной Сибири.....	75
17. Еманов А. Ф., Бах А. А. Развитие алгоритмов интерпретации метода стоячих волн для исследования зданий и сооружений сложных конструкций .....	78
18. Кульбаев Б. Б., Шокбаров Е. М., Ицков И. Е. Современное состояние сейсмостойкого строительства в Республике Казахстан.....	81
19. Аптикаев Ф. Ф., Эртелева О.О. О строительных нормах нового поколения.....	84
20. Заалишвили В. Б., Гогмачадзе С. А. Колебания грунтов оснований, возбуждаемые при забивке свай на площадке, в условиях точечной городской застройки .....	94
21. Тихонов И. Н., Галишникова В. В., Окольникова Г. Э., Тихонов Г. И., Кузьменко Н. В. Эффективный арматурный прокат с четырёхрядным винтовым профилем для сейсмостойкого строительства (производство, исследование, применение) .....	95
22. Тонких Г. П. К вопросу использования периода собственных колебаний каркасных зданий при малоинтенсивных воздействиях .....	98
23. Турилов В. В., Уткин И. А. Валидация неклассического метода модальной суперпозиции для решения задач взаимодействия зданий и сооружений с грунтовым основанием.....	103
24. Султанов К. С., Кумаков Ж. Х. Развития нормативных методов расчета подземных магистральных трубопроводов на основе волновой теории сейсмостойкости подземных сооружений .....	107
25. Нефёдов С. С., Шевченко С. А. Аттестация программ для расчёта сейсмостойкости зданий и сооружений в Ростехнадзоре .....	113
26. Белаш Т. А., Альдреби З. А. Оценка сейсмологической обстановки территории Сирии.....	116
27. Гордеева С. П. Сопоставление математических алгоритмов линейно-спектральной и волновой теорий сейсмостойкости .....	119
28. Шокбаров Е. Паспортизация зданий и сооружений города Алматы .....	120
29. Джуриков В. И., Брыжак Е. В., Серебренников С. П., Ескин А. Ю. Районирование в пределах криолитозоны сейсмической опасности крупных геологических структур Восточной Сибири по вероятным сейсмогрунтовым моделям.....	124
30. Оганесян С. М. К построению новой теории сейсмостойкости и проблемы сил инерции и внутреннего трения.....	127
31. Белаш Т. А., Яковлев А. Д. Защита зданий от цунами в сейсмоопасных районах.....	130

32. Трекин Н. Н., Кодыш Э. Н., Келасьев Н. Г., Трёкин Д.Н. Использование резервов несущей способности железобетонных конструкций при кратковременном силовом воздействии .....	133
33. Жарков И. А. Сейсмоистория, археосейсмология: актуальное состояние, реферативный обзор .....	135
34. Заалишвили В. Б., Бурдзиева О. Г. Сейсмический риск современного города .....	139
35. Коновалов А. В., Генсиоровский Ю. В., Степнов А. А., Сычев А. С. Всесторонний вероятностный подход к оценке оползневой опасности сейсмогенного характера на отдельных участках .....	155
36. Клячко М. А. Очередные задачи нормирования цунамибезопасности морских портов и береговых зданий.....	157
37. Беспаяев А. А. Усиление поврежденных железобетонных конструкций фиброармированными пластиками .....	159
38. Хорошавин Е. А. Оценка сейсмостойкости зданий и сооружений на основе метода стоячих волн.....	167
39. Гизятуллин И. Р., Бубис А.А., Вахрина Г.Н., Чупанов М.В. Анализ динамической реакции здания с системой сейсмоизоляции при реальном сейсмическом воздействии .....	179
40. Хахимов Ш. А. Новые конструктивные системы жилищно-гражданских зданий и проблемы актуализации сейсмических норм .....	192
41. Петрашкович З. Трансфер технологии, ноу-хау и торговая марка – мой опыт.....	203
42. Кривцов Ю. В. Обеспечение пожарной безопасности объектов капитального строительства в сейсмоопасных районах.....	212
43. Апсеметов М. Ч., Айдаралиев А. Е., Осмонканов Н. А. Сейсмоизоляция зданий и мостов в Кыргызской Республике.....	214
44. Симбиркин В. Н., Панасенко Ю. В., Курнавин В. В. Расчет строительных конструкций нового пассажирского терминала международного аэропорта «Симферополь» им. И. К. Айвазовского .....	218
45. Митасов В. М., Стаценко Н. В. Напряженно-деформированное состояние железобетонных элементов со стохастическими и организованными трещинами .....	220
46. Абдыбалиев М. К., Сыдыков А. Ж., Бегалиев У. Т., Ицков И. Е. Особенности новых норм Кыргызской Республики в области сейсмостойкого строительства .....	221

# ОЦЕНКА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И УЗЛОВ

Кабанцев О.В., Умаров К.И.,  
Kabancev O.V., Umarov K.I.

Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)  
Moscow State University of Civil Engineering  
E-mail: ovk531@gmail.com, Karom\_Umarov@list.ru

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-6-10**

Оценка сейсмостойкости зданий базируется на принципах допущения пластических деформаций конструкций при сейсмических воздействиях. Работа конструкций за пределами упругости (т.е. с реализацией пластической фазы деформирования) учитывается путем введения в методику определения сейсмической нагрузки специального коэффициента, который в отечественных нормах [1] имеет наименование «коэффициента допускаемых повреждений» конструкций зданий и сооружений ( $K_1$ ), а его величина зависит от уровня допускаемых повреждений, реализуемых несущими конструкциями различного вида. Eurocode 8 [2] содержит «коэффициент поведения» конструкции, имеющий аналогичный физический смысл. Величина «коэффициента допускаемых повреждений/поведения» изменяется от нуля до единицы. По существу, величина «коэффициента допускаемых повреждений/поведения» является характеристикой предельного состояния конструкции.

При определении величины коэффициента допускаемых повреждений базируются, как правило, анализе состояния несущих конструкций зданий, получивших повреждения при землетрясениях. Основной целью таких исследований является определение некоторого «допустимого» уровня повреждений конструкций, при котором возможна дальнейшая эксплуатация здания после соответствующего ремонта.

На основе детального анализа пластической работы несущих конструкций при сейсмическом воздействии в [3] получена и обоснована зависимость коэффициента допускаемых повреждений сейсмостойких конструкций от предельной пластичности несущих конструкций:

$$K_1 = \frac{1}{\sqrt{2\mu - 1}} \quad (1)$$

где  $\mu$  – предельный коэффициент пластичности.

$$\mu = \frac{\varepsilon_{tot}}{\varepsilon_{el}}$$

где  $\varepsilon_{tot}$  – полная величина упругопластических относительных деформаций;

$\varepsilon_{el}$  – величина упругих относительных деформаций.

Необходимо подчеркнуть, что величина коэффициента допускаемых повреждений в действующих нормах принимается единой для всей несущей системы, что входит в противоречие как с наблюдаемой сейсмической реакцией зданий при реальных сейсмических воздействиях [4, 5, 6, 7], так и с принципиальными положениями федерального закона [8], которым предусматривается учет различного уровня ответственности не только зданий в целом, но и отдельных конструктивных элементов несущей системы. Для конструктивных элементов, от НДС которых зависит сохранение принятой при проектировании конструктивной схемы, вводятся повышенные (по отношению к иным элементам системы) коэффициенты надежности.

Инженерный анализ последствий землетрясений показывает, что отдельные конструктивные системы демонстрируют более низкий уровень надежности по отношению к другим системам. Так в работе [9] представлен сопоставительный обобщенный анализ сейсмической реакции зданий различных несущих систем, из которого следует, что железобетонные несущие системы рамно-связевой расчетной схемы являются наименее надежными по отношению к иным видам железобетонных систем: при среднем уровне повреждений  $d = 2,3$  коэффициент вариации  $\nu = 0,37$ . Для сравнения следует привести аналогичные характеристики сейсмической реакции крупнопанельных зданий:  $d = 1,1$ ;  $\nu = 0,18$ . Высокое значение коэффициента вариации, демонстрируемый зданиями рамно-связевой конструктивной схемы свидетельствует о существенных отклонениях значений степени повреждения конкретного здания от средней величины. В целом, указанное подтверждается большим объемом повреждений каркасно-панельных зданий в ряде землетрясений, например, при Спитакском землетрясении [10].

Анализ формирования НДС рамно-связевых железобетонных несущих систем показывает, что сохранение проектной расчетной схемы обеспечивается работой связевых элементов системы (диафрагм жесткости), которые выполняются в виде сборных или монолитных стен, в том числе стен лестнично-лифтовых блоков.

В рамках проведенных исследований выполнен анализ упруго-пластического деформирования рамно-связевых железобетонных систем различной этажности и различных величин пролетов при действии сейсмической нагрузки различного уровня (см. рис. 1). Исследован процесс формирования и развития пластических деформаций в вертикальных несущих элементах – колоннах и диафрагмах жесткости. В работах использован метод прямого динамического расчета.

В качестве критериев использованы величины предельных значений деформационных материалов железобетонных конструкций, предложенных и обоснованных в [11].

По результатам исследований установлено: при сейсмических воздействиях в колоннах предельные величины коэффициента пластичности  $\mu = 4,0$ , при котором начинается процесс обрушения, возникают при формировании коэффициента пластичности диафрагм жесткости  $\mu = 2,4 \div 2,6$ . Необходимо отметить, что приведенное соотношение достаточно стабильно и меняется в узких пределах при варьировании основных характеристик тестовых моделей: этажность, пролет, принятое армирование вертикальных несущих элементов.

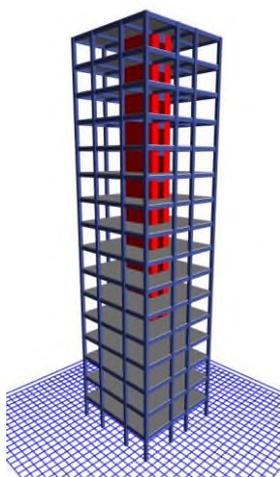


Рис. 1. Общий вид модели, использованной для расчетно-теоретических исследований.

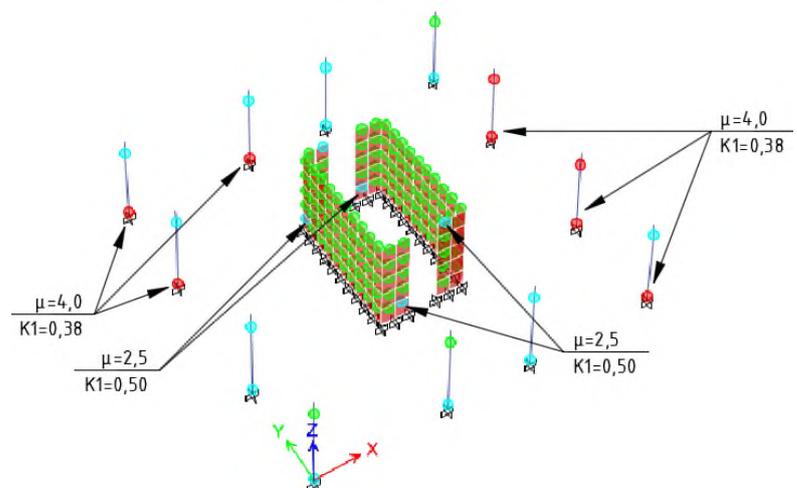
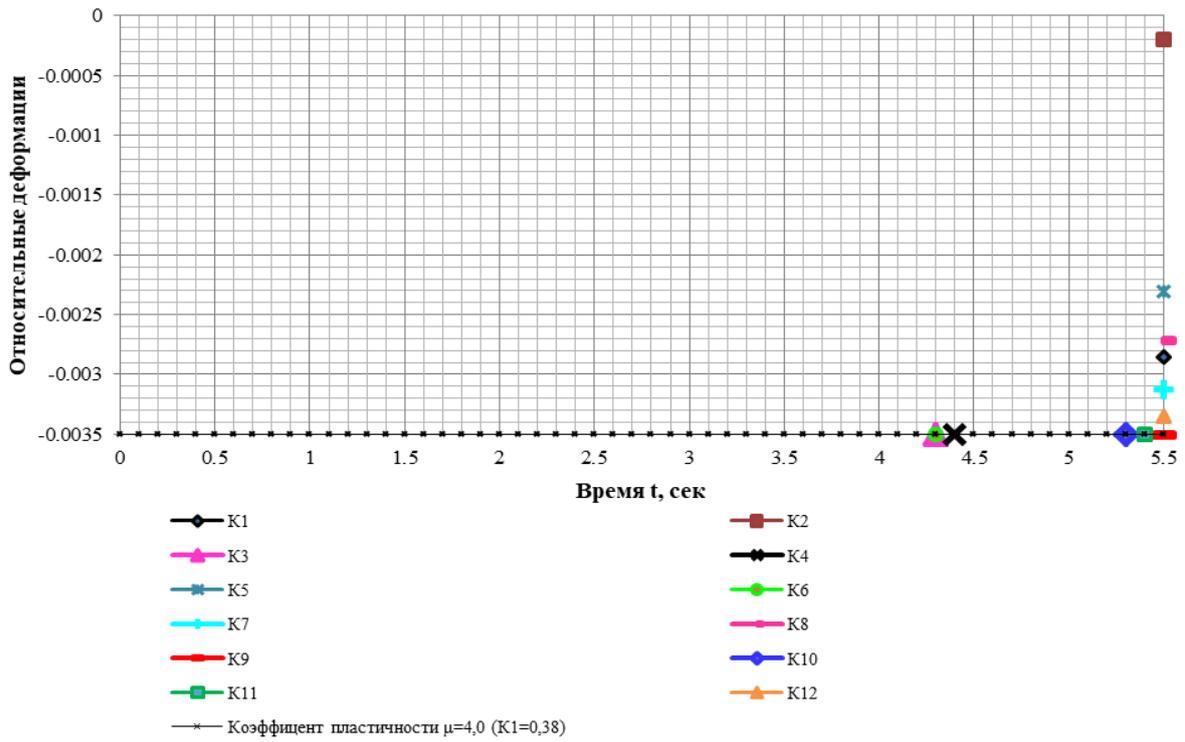


Рис. 2. Образование зона пластических деформаций в вертикальных несущих конструкция первого этажа рамно-связевого железобетонного каркаса и величины коэффициентов пластичности.

a)



б)

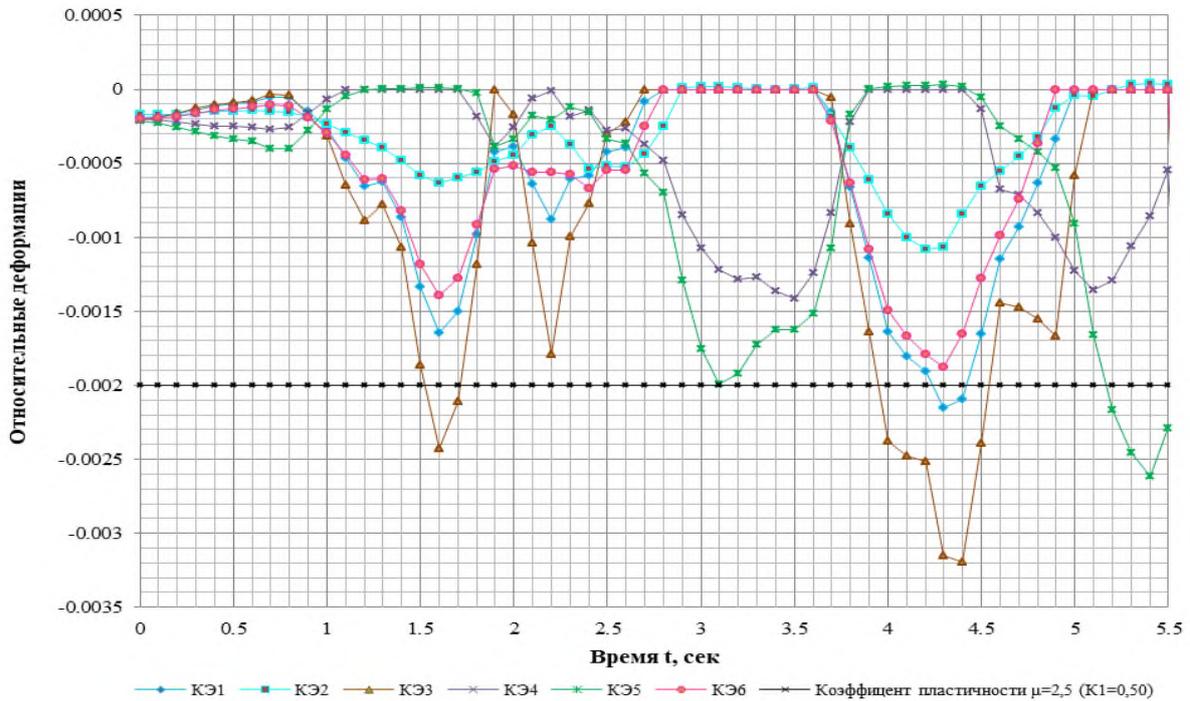


Рис. 3. Графики образование зона пластических деформаций в вертикальных несущих конструкциях первого этажа равно-связевого железобетонного каркаса перед обрушением ( $t=5.5$  сек) и величины коэффициентов пластичности.

$a$  – формирование пластических шарниров в колоннах первого этажа

$\bar{b}$  – формирование пластических шарниров в стенах первого этажа



Рис. 4. Перемещения верха здания по направлениям X и Y перед обрушением ( $t=5,5$  сек)

Таким образом, проведенными исследованиями установлен факт влияния различного уровня пластических деформаций разнородных по назначению элементов конструкции на общий уровень несущей способности несущих систем при сейсмических воздействиях.

На основе результатов исследований предлагается ввести дифференцированные величины значений коэффициента допускаемых повреждений ( $K_j$ ) для элементов несущих систем с учетом уровня ответственности таких элементов за обеспечение исходной (проектной) расчетной схемы несущей системы.

## Литература

1. Свод правил СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. СНиП II-7-81\*. – М.: Минстрой России, 2014. – 126 с.
2. EN 1998-1. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules seismic actions and rules for buildings. – Brussels.: CEN, 2005. – 102 p.
3. Кабанцев О.В. О методике определения коэффициента допускаемых повреждений  $K_1$  сейсмостойких конструкций [Текст] / О.В. Кабанцев, Ш. Шарипов, Э.С. Усеинов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – №2. – С. 117-129.
4. Айзенберг, Я.М. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 года. Некоторые уроки и выводы [Текст] / Я.М. Айзенберг // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 1999. – №1. – С. 6-9.
5. Андреев, О.О. Уроки землетрясения. Общие выводы [Текст] / О.О. Андреев, В.И. Ойзерман // Карпатское землетрясение 1986 г.; под редакцией А.В. Друмя, Н.В. Шебалина, Н.Н. Складнева, С.С. Графова, В.И. Ойзермана. – Кишинев, 1990. – С. 323-325.
6. Газлийское землетрясение 1984 г.: Анализ поведения зданий и инженерных сооружений [Текст] / Отв. Редакторы: А.И. Мартемьянов, Д.А. Алексеенков, Л.Ш. Килимник. -М.: Наука, 1988. -118 с.
7. Кабанцев, О.В. Макросейсмический эффект землетрясения 4 октября 1994 г. на островах Итуруп, Кунашир, Шикотан. [Текст] / О.В. Кабанцев // Экспресс-информация ВНИИИС

- Госстроя СССР. Серия 14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. – Вып. 4. – М., 1995. – С. 7-11.
8. Федеральный закон №384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
  9. Ципенюк, И.Ф. Надежность зданий жесткой конструктивной схемы при сейсмических воздействиях [Текст] / И.Ф. Ципенюк // Строительная механика и расчет сооружений. - 1990. - №10. - С. 84-87.
  10. Заключение Государственной комиссии о качестве проектирования и строительства жилых и общественных зданий массовых серий в северных районах Армянской ССР, причины их разрушения и предложения по совершенствованию практики проектирования и строительства в районах с повышенной сейсмичностью [Текст]. – М., 1989. – 99 с.
  11. Жарницкий, В.И. Сейсмостойкость железобетонных конструкций с учетом процесса развития повреждений [Текст] / В.И. Жарницкий, М.А. Алипур // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. – 2011. - №2. Т. 1. – С. 110-115.

# КОНЦЕПЦИЯ ОПАСНОГО НАПРАВЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ: ПЛЮСЫ И МИНУСЫ DANGEROUS DIRECTION OF SEISMIC EXCITATION: ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF THE CONCEPT

**Тяпин А.Г.**

д.т.н., главный специалист АО «Атомэнергопроект». Москва, Россия

**Tyapin Alexander G.**

D.Sc., Chief specialist of Atomenergoproject. Moscow, Russia

[atyapin@bvcp.ru](mailto:atyapin@bvcp.ru)

**Аннотация.** Анализируется понятие «опасного направления сейсмического воздействия», присутствующее в современных гражданских нормах России. Несмотря на явную нефизичность, этот подход способен в некоторых частных случаях давать хорошие результаты. Тем не менее, автор считает его использование в нормах излишним и затрудняющим понимание сейсмической реакции.

**Ключевые слова:** сейсмическая реакция, линейно-спектральный расчет, опасное направление сейсмического воздействия, гражданские строительные нормы

**Abstract.** The concept of the "dangerous direction of seismic excitation" used in the current civil codes in Russia is analyzed. In spite of obvious "physical incorrectness", this approach in some cases is able to produce reasonable results. However, the author considers its implementation in the codes to be unnecessary and spoiling the perception of the seismic response.

**Keywords:** seismic response, linear spectral analysis, dangerous direction of the seismic excitation, civil codes

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-11-12**

Понятие «направления сейсмического воздействия» появилось в отечественных нормах в начале XXI века; в СНиП II.7-81 расчет велся на однокомпонентное горизонтальное воздействие. Причина появления этого понятия – желание учесть «пространственный характер сейсмического воздействия» (этот термин имеет много разных значений; в данном случае лучше говорить о многокомпонентности кинематического воздействия на фундаменте). Характерно, что введено это понятие только в России и странах СНГ (трудами Ю.П. Назарова); в нормах других стран его нет. Почему так получилось, если многокомпонентность воздействия сегодня учитывается практически всюду?

В докладе сравниваются два метода учета многокомпонентности сейсмического воздействия в линейно-спектральных расчетах усилий реакции. Первый метод, применяемый, в частности, в международных атомных нормах, - это расчеты на три компоненты воздействия по отдельности, а затем «сложение» максимальных усилий реакции по определенным правилам с учетом статистической независимости компонент воздействия. Термин «сложение» взят в кавычки, поскольку максимальные усилия реакции на разные компоненты воздействия достигаются в разные моменты времени и складывать их алгебраически нельзя.

Второй способ – это собственно расчет с использованием понятия «направление сейсмического воздействия». Показано, что предлагаемые формулы эквивалентны

физическому допущению о том, что сейсмическое воздействие на самом деле однокомпонентное, но эта единственная компонента имеет в пространстве некое фиксированное во времени «направление», характеризуемое направляющими косинусами. Задача выбора «опасного направления» такого воздействия для одной выбранной формы собственных колебаний в реакции без особых усилий решается строго и точно.

Показано тождество результатов двух подходов в том специальном частном случае, когда собственные частоты сооружения разнесены между собой, а спектры воздействия по трем осям равны между собой. Характерно, что спектр ускорений воздействия, используемый при этом во втором подходе, вовсе не равен спектру модуля ускорения в пространстве, а равен каждому из спектров ускорения отдельной компоненты.

Основой для такого тождества результатов является применение правила ККСК (корня квадратного из суммы квадратов) в обоих методах, хотя и в совершенно разном контексте. В первом методе по правилу ККСК суммируются максимальные усилия как по разным формам в ответ на однокомпонентное воздействие, так и между суммарными реакциями на разные компоненты воздействия. ККСК здесь учитывает статистическую независимость слагаемых друг от друга. Во втором методе правило ККСК используется на практике для получения модуля вектора из его отдельных компонент. При этом нефизичное занижение модуля вектора ускорения компенсируется нефизичным же завышающим предположением об одновременности достижения максимумов реакции по компонентам.

Преимуществом метода «опасных направлений» является учет в одной формуле трех компонент воздействия. Однако корректность результата обусловлена равенством спектров по трем компонентам, что для вертикального и горизонтальных направлений обычно не выполняется. Если дополнительно задать пропорциональность спектров (например, с коэффициентом  $2/3$ ), нынешние формулы легко модифицировать. Однако, на взгляд автора, сама концепция «опасных направлений» является не просто нефизичной, но избыточной; даваемый ею выигрыш не стоит того, чтобы отказываться от физического подхода, принятого в других нормативных документах. Своей нефизичностью концепция «опасного направления» затемняет понимание происходящего, и автор считает, что в следующей редакции норм от нее следует отказаться.

# НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ АСПЕКТЫ РАСЧЁТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСНОВАНИЯ ГРАВИТАЦИОННОЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ НА СЕЙСМИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ

## THE MOST IMPORTANT ASPECTS OF CALCULATION AND DESIGNING THE BASIS OF THE GRAVITATIONAL SUPPORTING WALL FOR SEISMIC LOAD

**Минаев О.П.**

к.т.н., доцент, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия

**Oleg P. Minaev**

Ph.D., the Ministry of Transport of the Russian Federation, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 5/7, Dvinskaya str., Saint-Petersburg, 198035, Russia  
ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-0920-9081>

**Аннотация.** В докладе излагаются наиболее важные аспекты и приводятся основные результаты расчёта и проектирования гравитационной подпорной стенки (железобетонной уголковой с передней консолью и массивной бетонной) на сейсмическую нагрузку. Дается сравнительный анализ проведенных расчетов для эксплуатационного случая при статической и динамической (сейсмической нагрузке) для широкого диапазонов исходных данных. Подчеркивается, что при проектировании основания подпорной стенки не допускается разжижение песчаных грунтов засыпки и подушки в её основании, что приведёт к катастрофической потере несущей способности грунтов основания и устойчивости подпорной стенки. Для повышения устойчивости структуры песчаных грунтов процессу разжижения должны применяться разработанные автором эффективные вибродинамические методы их уплотнения.

**Ключевые слова:** подпорная стенка, устойчивость, песчаная засыпка, основание, разжижение грунтов

**Abstract.** The report outlines the most important aspects and summarizes the main results of the calculation and design of a gravitational retaining wall (reinforced concrete corner with a front console and massive concrete) on the seismic load. A comparative analysis of the calculations for the operational case with static and dynamic (seismic load) for a wide range of input data is given. It is emphasized that during the design of the base of the retaining wall it is not allowed to liquefaction the sandy soils of the backfill and cushion at its base, which will lead to a catastrophic loss of the bearing capacity of the base soils and the stability of the retaining wall. To increase the stability of the structure of sandy soils, the liquefaction process should be applied by effective vibrodynamic methods of their compaction, developed by the author.

## DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-13-15

Гравитационная подпорная стенка является базовой ограждающей конструкцией гидротехнических сооружений: причальных сооружений морских и речных портов, городских набережных и элементов конструкций дамб и плотин и т.п. Известно, что на подпорную стенку действует значительная горизонтальная нагрузка  $E_a^c$  от веса грунта засыпки и полезной нагрузки территории порта, а также динамическая нагрузка при её расчёте в сейсмоопасных районах строительства. В этом случае требуется обязательная проверка устойчивости подпорной стенки на плоский сдвиг по подошве или слабой прослойке грунта основания, а также на глубинный сдвиг. При этом в расчётах на сдвиг коэффициент запаса устойчивости определяется соотношением между удерживающей силой грунта основания и сдвигающей силой веса грунта засыпки и внешней нагрузки. Значение данного коэффициента запаса устойчивости определяется классом сооружения по нормативным документам. Проверка устойчивости подпорной стенки на скольжение при плоском сдвиге в плоскости подошвы при действии сейсмической нагрузки выполняется по формуле

$$K^{пл} = \frac{N_{экспл} \cdot tg\varphi + bc}{E_a^c} \geq 1.15, \quad (1)$$

где  $K^{пл}$  - коэффициент запаса устойчивости при плоском сдвиге;  $\varphi$  и  $c$  - соответственно расчетный угол внутреннего трения и сцепление грунта основания. В результате расчётов строится график несущей способности основания  $\tau_{пр} = f(\sigma)$ , где  $\tau_{пр}$  - предельное сопротивление грунтов сдвигу. По напряжению  $\sigma_{экспл} = N_{экспл} / b_{пр}$  в эксплуатационном случае при сейсмической нагрузке определяется соответствующее предельное сдвигающее напряжение  $\tau_{пр}^{экспл}$ . Коэффициент запаса устойчивости на глубинный сдвиг  $K_{гд}$  окончательно вычисляется из соотношения

$$K_{гд} = \tau_{пр}^{экспл} \cdot b_{пр} / E_a \geq 1.15. \quad (2)$$

Расчётами было установлено, что в результате предусмотренных мероприятий по повышению несущей способности основания коэффициент запаса устойчивости подпорной стенки может быть значительно повышен. В докладе особо подчёркивается, что при проектировании основания подпорной стенки не допускается разжижение песчаных грунтов

засыпки и подушки в её основании, что приведёт к катастрофической потере несущей способности грунтов основания и устойчивости подпорной стенки как при её устройстве на грунтах естественного основания, так и свайном варианте фундамента. Для выявления условий опасного разжижения водонасыщенных грунтов основания при динамическом воздействии используется соотношение

$$\Delta_K = \frac{\tau_{\text{дин}}}{\sigma_{\text{стат}}} \leq 0.6 \dots 0.65. \quad (3)$$

Формула (3) широко используется зарубежными и отечественными учёными для выявления условия разжижения грунтов основания при землетрясении с учётом нагрузок, действующих на подпорную стенку, выражение (3) при проверке устойчивости структуры грунтов основания непосредственно под подошвой подпорной стенки, преобразуется в зависимость

$$\Delta_K = \frac{\tau_{\text{дин}}}{\sigma_{\text{стат}}} \leq \frac{E_a^c}{N_{\text{экспл}}}, \quad (4)$$

где  $N_{\text{экспл}}$  – вертикальная сила при эксплуатационной нагрузке от собственного веса подпорной стенки и грунта засыпки (с учетом взвешивающего действия воды для частей, расположенных ниже уровня воды в акватории) на грунты основания, кН. Аналогичным образом осуществляется проверка устойчивости песчаной засыпки процессу разжижения структуры грунта. Только в этом случае по формуле (4) определяется соотношение между ординатой  $e_a^c$  бокового давления грунта и воды на единицу объёма грунта и вертикальными напряжениями  $\sigma(\gamma_{gp}) = (q + \sum \gamma_i y_i)$  в скелете грунта на заданной глубине грунта засыпки (с учётом величины полезной нагрузки  $q$  на поверхности грунта).

## **ВНОВЬ О ПРАКТИЧЕСКОЙ СЕЙСМОБЕЗОПАСНОСТИ В РОССИИ AGAIN REGARDING THE PRACTICAL SEISMIC SAFETY IN RUSSIA**

**Клячко М.А.**

председатель Совета АНО «Региональный альянс для анализа и уменьшения бедствий»  
(АНО «РАДАР»)

**Mark Klyachko**

Chairman, Regional Alliance for Disaster Analysis & Reduction (RADAR) NRO, [radar@cendr.org](mailto:radar@cendr.org)

### **DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-16-18**

Рассматриваются ключевые положения политики и стратегии обеспечения сейсмобезопасности урбанизированных территорий и практические пионерные российские разработки, хорошо апробированные в течение последних 30 лет. Комплекс этих разработок представляется как необходимый и достаточный набор инструментов для уменьшения сейсмического риска и контроля приемлемого уровня сейсмобезопасности.

The key provisions of the policy and strategy to ensure the seismic safety of urbanized areas and practical Russian pioneering developments, which have been well tested over the past 30 years, are under consideration. The complex of these developments is presented as a necessary and sufficient tool-box to reduce seismic risk and to control an acceptable level of seismic safety.

Сейсмоопасные районы, урбанизированные территории, эксплуатируемая застройка, сейсмостойкое строительство, устойчивая безопасность, политика и стратегия, программный подход, дорожная карта и ключевые решения, сценарии бедствия, сейсмический риск и безопасность, контроль приемлемых параметров.

Seismo-prone zones, urban areas, existing built environment, earthquake engineering, sustainable safety, policy and strategy, program approach, roadmap and key tool-box, disaster scenarios, seismic risk and safety, control of acceptable parameters.

Как принято в Токийской декларации 1988 года, единственным путем управления сейсмическим риском является снижение уязвимости застройки сейсмически активных урбанизированных территорий. В представляемой программе превентивной сейсмической безопасности «PRESS», которая складывается из программы анализа риска «PRANA» и программы управления риском «PRIMA», уязвимость является главным параметром анализа и управления. В частности, приемлемые значения сейсмического риска достигаются путем сейсмоусиления зданий и/или посредством градостроительного регулирования урбанизированной территории.

Описываются и обсуждаются наиболее эффективные, реализованные в развитие проекта ЮНЕСКО «RADIUS» современные способы анализа и управления сейсмическим риском; значимость и последовательность использования каждого инструмента риск-анализа демонстрируется на единой схеме. Подробно описываются место и целевая функция каждого методического авторского инструмента риск-анализа, в том числе шкала конструктивной уязвимости зданий, шкала бедствий «DIMAK», разработанная после Спитакского землетрясения, техника построения сценариев вероятных бедствий, модернизированная макросейсмическая шкала, формирование каталога зданий-аналогов и базовых объектов анализа безопасности. Основным математическим аппаратом «PRESS» является метод логических оценок и системного анализа (МЕЛОСА/МЕЛЕСА), базирующийся на теории неопределенных множеств и теории «размытых образов». Каждый этап программ «PRANA» и «PRIMA» заблаговременно обеспечивается нормативно-методическими документами (НМД) требующими при необходимости привязки к специфическим условиям застройки разных урбанизированных территорий. Указывается, что наилучшими тестами являются проанализированные последствия повреждающих и разрушительных землетрясений, что позволяет корректировать и улучшать стратегию смягчения сейсмических бедствий.

Таблица 1. Блок-программа превентивной сейсмической безопасности «PRESS»

п/п	Наименование подпрограммы	Содержание блока/этапа	Ожидаемый результат
I	Программа анализа риска (PRANA - Program of Risk ANALysis)	1 Сертификация (инвентаризация и паспортизация) жилой и социально значимой застройки сейсмоопасных территорий. ■ Разработка НМД «Сертификация зданий и сооружений в сейсмических районах» - СП «Сейсмическая безопасность урбанизированных территорий»	Оценка сейсмостойкости и уязвимости социально значимых зданий Выявление и классификация сейсмоопасных зданий по объему и конструктивному типу
		2 Экспериментальные исследования БАОБАБов и моделирование для оценки уязвимости. 3 Анализ последствий землетрясений, повредивших БАОБАБы и ЗДАН	Назначение базовых объектов анализа безопасности (БАОБАБ) для типовых зданий массового строительства. Выбор зданий-аналогов (ЗДАН) по анализу последствий повреждающих землетрясений и данным ИСН. Формирование регионального /национального/территориального каталога и ЗДАН
		4 Разработка сценариев вероятных сейсмических бедствий (DISC) 4.1 Назначение наиболее вероятных сейсмических событий 4.2 Разработка рабочих сценариев вероятных последствий ■ Разработка СП «Сейсмическая безопасность. Сценарии последствий землетрясений на урбанизированных территориях» ■ Разработка ГОСТ «Шкала бедствий»	Виртуальные сценарии бедствия с оценками конструктивного ущерба зданий, материальных и человеческих потерь. Оценка тяжести вероятного бедствия по нормативным критериям безопасности, включая оценку сейсмического риска

II	Программа управления риском (PRIMA - Program of Risk Management)	1 Разработка методов и технологий сейсмоусиления зданий различного конструктивного типа без остановки нормальной эксплуатации объекта	Эффективные методы и современные технологии сейсмоусиления (ВСОС, метод аппликации, внешний каркас, динамические гасители и др.). Рекомендации и ограничения применения
		Разработка эталонных решений и типовых проектов повышения сейсмостойкости зданий различного конструктивного типа (БАОБАБов)	ППР, короткие сроки производства СМР, стоимость СМР на 1 м <sup>2</sup> общей площади зданий при использовании разных методов и технологий
		Апробация и массовое внедрение новых эффективных методов и технологий сейсмоусиления	Практические знания и опыт сейсмоусиления зданий массового строительства
		2 Разработка градостроительных стратегий и проекта планировки урбанизированной территории с ТЭО соотношения нового строительства и реконструкции (в т.ч. сейсмоусиления) эксплуатируемых зданий	Стратегия устойчивого безопасного развития урбанизированной территории и утвержденный проект территориального планирования
		3 Виртуальная проверка соответствия застройки урбанизированной территории критериям безопасного развития и требуемым параметрам допустимого сейсмического риска с помощью контрольного сценария бедствия DISCONT	Подтверждение правильности выбранной стратегии планировки и застройки урбанизированной территории с позиции устойчивой сейсмической безопасности
4 Реализация градостроительной стратегии с использованием сейсмоусиления части застройки и применением новых прогрессивных строительных материалов	Достижение цели – сейсмобезопасности застройки урбанизированной территории		

Цели, задачи и содержание необходимых работ по обеспечению сейсмобезопасности урбанизированных территорий представляются в виде блок-программы (таблица 1), которая работала в России с 1987 до 2004 года в качестве ФЦКП «Сейсмозащита».

Необходимые и достаточные для реализации программы «PRESS» подходы, правила и решения разработаны и реализованы в России в ДальНИИС и в ФГУП «НТЦ по сейсмостойкому строительству и инженерной защите от стихийных бедствий» Госстроя

России в период с 1986-1999 годы, а также успешно использованы за рубежом в рамках программы ЮНЕСКО «RADIUS» (1994-1998) по диагностике городов против землетрясений. Однако все эти достижения до сих пор не претворены в соответствующие НМД и, прежде всего, в СП «Сейсмобезопасность урбанизированных территорий».

Предлагается вернуться к реализации ФЦП «Сейсмозащита», предварительно ранжировав сейсмоопасные территории по имеющимся оценкам сейсмического риска и выбрав эталонные территории. При этом надо выделить недостаточно сейсмостойкие эксплуатируемые жилые дома массового строительства, которые можно и нужно включать в территориальные проекты «Обеспечение устойчивого сокращения непригодного для проживания жилищного фонда» для наиболее сейсмоопасных субъектов РФ в рамках национального проекта №3 «Жилье и окружающая среда».

# **КРУЧЕНИЕ СИММЕТРИЧНЫХ СООРУЖЕНИЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ, ВЫЗВАННОЕ ВОЛНОВЫМ ЭФФЕКТОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ**

## **TORSION OF SYMMETRIC STRUCTURES LOCATED ON THE VARIOUS SYSTEMS OF SEISMIC ISOLATION SUBJECTED TO WAVE PASSAGE EFFECT OF EARTHQUAKE**

**Бондарев Дмитрий Евгеньевич**

Аспирант Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета

[89523684328@mail.ru](mailto:89523684328@mail.ru)

**Симборт Энрике**

Канд. техн. наук, директор школы ПГС в Университете Сан Пабло. Арекипе, Перу

[e-simbort@mail.ru](mailto:e-simbort@mail.ru)

**Bondarev Dmitrii Evgenevich**

Post-graduate Student of Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

**Enrique Simbort**

PhD in Sci. Tech., Structural Engineer, Director Esc. Prof. Ing. Civil. Arequipa, Perú.

**Аннотация.** Рассматривается математическая модель сооружения, расположенного на различных системах сейсмоизоляции: резинометаллических и маятниковых опорах. Данная модель учитывает кручение изолированной части сооружения, вызванное ротационной компонентой сейсмического воздействия. Ротационная компонента сейсмического воздействия отражает волновую природу землетрясения. В данной статье проиллюстрированы результаты влияния данной компоненты на динамику сейсмоизолированного сооружения.

**Ключевые слова:** кручение, сейсмические ротации, ротационная компонента сейсмического воздействия, маятниковая система сейсмоизоляции, резинометаллические опоры

### **Abstract**

Mathematical model of structure located on various systems of seismic isolation such as laminated rubber bearings and pendulum bearings are considered. This model take into account torsion of superstructure caused by rotational component of seismic excitation. Rotational component of seismic excitation reflects the wave nature of earthquake. This paper illustrates the torsional response of isolated structure.

**Keywords:** torsion, seismic rotations, rotation component of seismic excitation, pendulum bearings, rubber bearings

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-19-20**

Один из самых важных факторов кручения зданий и сооружений – это сейсмические ротации. Это эффекты пространственного характера сейсмического воздействия, определённые его волновой природой и вызывающие пространственную работу сооружений. Данные ротации определяются параметрами волнового поля, которое соответствует сейсмическому воздействию. Данный фактор вызывает кручение в симметричных зданиях (здания, где совпадает центр масс и центр жёсткости). Этот сложный эффект может быть

оценён как косвенным, так и инструментальным методом. В настоящий момент инструментальные методы недостаточно развиты. В данной работе предлагается ротационное воздействие генерировать по имеющимся поступательным акселерограммам, измеренных в одной точке, как предлагают многие отечественные и зарубежные исследователи [1-4].

Считая, что изолированная часть сооружения при землетрясении ведёт себя как твёрдое тело, то для анализа можно использовать одномассовую модель, которая будет учитывать кручение. При этом в модели для резинометаллических опор можно учесть три степени свободы: два линейных горизонтальных направления и угловое относительно вертикальной оси. А в модели для маятниковых опор, четыре степени свободы: три линейных направления и одно угловое относительно вертикальной оси.

Основными результатами динамического анализа во временной области являются ускорения и перемещения, полученные в угловой точке здания, которые увеличиваются по сравнению с ускорениями и перемещениями центра масс здания. На данные эффекты кручения влияет тип грунта, на котором расположено сооружения, так как сейсмические ротации возрастают на мягких грунтах и уменьшаются на жёстких.

### **Литература**

1. Назаров Ю.П., Позняк Е.В. Оценка ротационных компонент сейсмического движения грунта//Сейсмостойкое строительство, ОФМГ, №6-2015, с. 32-36
2. Basu, D., Whittaker, A. S. and Constantinou, M. C. (2012) “Estimating rotational components of ground motion using data recorded at a single station,” *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE 138(9), 1141–1156.
3. Hao, H. (1996), “Characteristics of torsional ground motions”, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 25(6), 599-610.
4. Newmark N. (1969) “Torsion in symmetrical buildings”, 4th World Conference on Earthquake Engineering, Chile.

УДК 624.04:[624.042.7+699.841]

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ СЕЙСМОУСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КАРКАСА С ГИБКИМ НИЖНИМ ЭТАЖОМ И КИРПИЧНЫМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ**

**SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF SOFT GROUND STORY RC FRAME WITH MASONRY INFILL CONSIDERING VARIOUS RETROFIT STRATEGIES**

**Иванов Андрей Юрьевич**

Аспирант Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета ([andreyivanov4@gmail.com](mailto:andreyivanov4@gmail.com))

**Факири Аманолла**

Преподаватель университета в Герате (Афганистан), аспирант Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета ([amanollahfaqiri@gmail.com](mailto:amanollahfaqiri@gmail.com))

**Рутман Юрий Лазаревич**

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механики Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета ([605fractal@mail.ru](mailto:605fractal@mail.ru))

**Ivanov Andrei Yurievich**

PhD Student of Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

**Faqiri Amanollah**

Lecturer of Herat University, Afghanistan and PhD Student of Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

**Rutman Yuri Lazarevich**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Mechanics of Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

**Аннотация.** Рассматривается методика определения оптимального с экономической точки зрения варианта сейсмоусиления железобетонного каркаса с гибким нижним этажом и кирпичными перегородками. Представлены зависимости, позволяющие оценить влияние кирпичных перегородок, располагающихся в пространстве между несущими колоннами и ригелями железобетонного каркаса на его прочность и жесткость. Продемонстрирован способ моделирования расчетной схемы, учитывающий влияние кирпичных перегородок на работу каркаса при действии сейсмической нагрузки. Применяется аналитическая зависимость, позволяющая выбрать оптимальный с экономической точки зрения вариант сейсмоусиления каркаса данного типа. Рассматриваются варианты усиления, предусматривающие либо применение сейсмоизоляции, либо усиление колонн нижнего этажа традиционным способом, т.е. путем увеличения их сечений и площади арматуры. Экономический эффект при выборе того или иного варианта усиления рассматривается на разных этапах жизненного цикла здания.

**Ключевые слова:** Железобетонный каркас, кирпичная перегородка, нелинейный статический анализ, гибкий нижний этаж, сейсмоизолированное здание, экономическая оптимизация.

**Abstract.** There is a representation of seismic performance evaluation method with due regard to economic effect assessment, which consider different seismic retrofit strategies applying for reinforced concrete (RC) soft ground story building with masonry infilled frame in upper stories. The dependencies, which allows to estimate the influence of masonry infill panel, located between structural columns and beams inside the RC frame, on the strength and stiffness, are shown. The analytical model simulation approach, which consider the influence of masonry infill panel on seismic response of the frame, is demonstrated. The analytical dependency, which allows to select the optimal seismic retrofit scheme for this kind of building with due regard to economic consideration, is applied. Two seismic retrofit strategies are analyzed in this study among with non-retrofitted (typical) one, where the first represents the base isolation technique implementation, and the second is the ground story RC columns strengthening by increasing their cross-section and area of reinforcements.

**Keywords:** RC frame, masonry infill panel, nonlinear static Pushover-analysis, soft ground story, base isolation seismic retrofit technique, economic optimization procedure.

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-21-37**

## **Введение**

Проблема выбора оптимального варианта сейсмоусиления как существующих, так и проектируемых зданий является одной из основных и должна быть решена на ранних этапах проектирования, так как от принятых антисейсмических мероприятий зависят экономические затраты, которые будут нести инвестор и эксплуатирующая организация в течении всего жизненного цикла здания, начиная с этапа строительства. В данной работе рассматривается методика оценки экономического эффекта при выборе того или иного варианта сейсмоусиления железобетонного каркасного здания с гибким нижним этажом и кирпичными перегородками, заполняющими пространство между рамами каркаса на остальных этажах (далее ЖБКНИ здание), являющегося распространенным типом зданий, возводимых в сейсмически опасных регионах.

Для оценки экономического эффекта применяются методы и алгоритмы, предложенные авторами в работах [1, 2], которые в свою очередь были получены на основании работ В. И. Кейлис-Борока, И. А. Нерсесова, А. М. Яглома [3], А. М. Уздина, О. А. Сахарова, К. С. Сергина, М. А. Богдановой [4, 5] и др.

Важным параметром в оптимизационном алгоритме является стоимость сейсмического ущерба, т.е. восстановительных и ремонтных работ, необходимость в которых возникает вследствие различных сейсмических воздействий на сооружение за весь планируемый срок службы. Стоимость ущерба предлагается определять по кривой несущей способности здания, связывая ключевые точки на ней, соответствующие перемещениям системы, с затратами на восстановление. Поскольку ущерб связан с развитием в системе значительных пластических деформаций, то для описания состояния системы за пределами ее упругой работы наиболее рациональным представляется определять перемещения с помощью нелинейного статического Pushover-анализа (НСМ). Если речь идет о так называемом традиционном способе сейсмоусиления (наращивание сечений элементов, увеличение количества арматуры), то сейсмическое воздействие в процедуре НСМ задается

нормативным или усредненным спектрами. Однако, если антисейсмическое мероприятие заключается в применении системы сейсмоизоляции, то такой подход не годится, потому что воздействие на суперструктуру (сооружение, расположенное на системе сейсмоизоляции) не совпадает с воздействием на субструктуру (фундамент сооружения). В этом случае предлагается использовать метод поэтажных спектров для расчета воздействий на здание [1, 6].

В данной статье описанные выше процедуры рассматриваются на примере ЖБКНИ здания. При его моделировании учитывались главным образом исследования D.R. Sahoo, D.C. Rai [7], V. Bertero, S. Brokken [8], а также работы A. Faqiri.

## 1. Алгоритм экономической оптимизации

Предлагаемый в [1, 2, 6] алгоритм оптимизации представляет собой упрощенный вариант алгоритмов, предложенных в [3, 4, 5]. В таком виде он более удобен для проведения конкретных инженерно-экономических расчетов на ранних этапах проектирования

$$E = -K_{ant} + f(k, N) \sum_{I=I_{\min}}^{I=I_{\max}} L(I) \cdot D_{rel} \quad (1)$$

Здесь  $D_{rel}$  - стоимость наступившего ущерба в результате одного землетрясения  $I$ -й балльности;  $I$  - интенсивность землетрясения в баллах;  $K_{ant}$  - затраты на антисейсмические мероприятия при строительстве здания;  $L(I)$  - среднегодовое число  $I$ -балльных землетрясений на площадке строительства  $f(k, N)$  - коэффициент приведения затрат, вычисляемый по формуле  $f(k, N) = \left(\frac{1}{k} - 1\right) \left[1 - (1 - k)^N\right]$  [4, 5]. Здесь  $N$  - время после начала эксплуатации (в годах);  $k = \frac{d + d^*}{1 + d^*}$ , где  $d^*$  - норма амортизации (параметр, определяющий снижение стоимости здания во времени и обратный его сроку эксплуатации)  $d$  - годовая прибыль, получаемая при эксплуатации здания.

В данной работе рассматривается только конструктивный ущерб, причиняемый землетрясением зданию, т.е. затраты на ремонт и замену строительных конструкций. Ущерб измеряется в долях от общей стоимости здания, которая получается на основании сметных расчетов. Также стоит отметить, что в данной работе рассматривается новое строительство, а не усиление существующих ЖБКНИ зданий, как в [7]. При этом не учитывается эффект накопления повреждений от предыдущих землетрясений рассматриваемого жизненного цикла, а считается, что после каждого воздействия от 7 баллов и выше повреждения устраняются (производится ремонт ЖБ колонн, балок и кирпичной кладки).

Таким образом, финансовые потери при землетрясении определяются ущербом  $D_{rel}$  с учетом количества землетрясений интенсивностью  $I$  и корректировки стоимости ущерба от года к году. При наличии антисейсмических мероприятий наступивший ущерб будет меньше, но изначально требуются более крупные инвестиции в строительство, выражаемые параметром  $K_{ant}$ . Этот параметр представляет собой либо разницу в стоимости типового и усиленного традиционным способом каркаса, либо затратами на сейсмоизоляцию того же типового каркаса. Соотношение этих двух варьируемых параметров  $D_{rel}$  и  $K_{ant}$  определяет значение целевой функции  $E$  на всех этапах жизненного цикла здания.

## 2. Задание воздействий. Расчет спектров отклика

Для задания воздействий на не усиленное (типовое) здание, а также здание, усиленное традиционным способом, отбираются 3 группы акселерограмм, каждая группа характеризует воздействие определенной балльности. Для акселерограмм каждой группы строятся спектры отклика и по ним находится усредненный спектр. Таким образом, для каждой интенсивности  $I$  имеем свой усредненный спектр отклика.

Для расчета ущерба в здании, расположенном на системе сейсмоизоляции (ССИ), необходимо построить спектр отклика, соответствующий движению суперструктуры. Предлагаемая методика базируется на идее поэтажных спектров и работе [9], но в конечном счете расчет ведется не по линейно-спектральной методике, как это предлагается в [9], а по НСМ. Здесь используется следующий порядок расчета:

1. Выполняется прямой динамический расчет системы «грунтовое основание – субструктура». При этом, сооружение рассматривается, как твердое тело. В результате расчета находятся законы движения субструктуры.
2. Для каждого закона движения субструктуры находится спектр отклика.
3. Производится обработка спектров отклика ускорений, в результате которой находится усредненный спектр, соответствующий движению суперструктуры.

## 3. Особенности моделирования и расчета ЖБКНИ здания

Если говорить о рассматриваемом ЖБКНИ здании, то здесь необходимо отметить ряд особенностей, которые определяют его сейсмический отклик и которые должны быть учтены при его моделировании:

1. Обычно кирпичные перегородки не считаются конструктивным элементом здания. Это означает, что их прочность и жесткость не принимаются во внимание при расчете из-за того, что кирпичная кладка является более хрупкой по сравнению с основными конструктивными элементами здания. Тем не менее, при горизонтальном воздействии на здание она включается в работу, причем, как будет показано далее, весьма существенным образом. Это подтверждается характером разрушения кирпичной кладки при землетрясении (рис. 1).



**Рис. 1.** Растрескивание кирпичной кладки в здании с железобетонным каркасом

Сложность учета ее вклада состоит в том, что ее работа при землетрясении носит нелинейный характер. В расчетной схеме здания кладку, на основании работ Paulay и Priestley (1992), Saneinejad и Hobbs (1995), а также Dakhkhni (2003) предлагается моделировать тремя диагональными раскосами, работающими на сжатие (рис. 2).

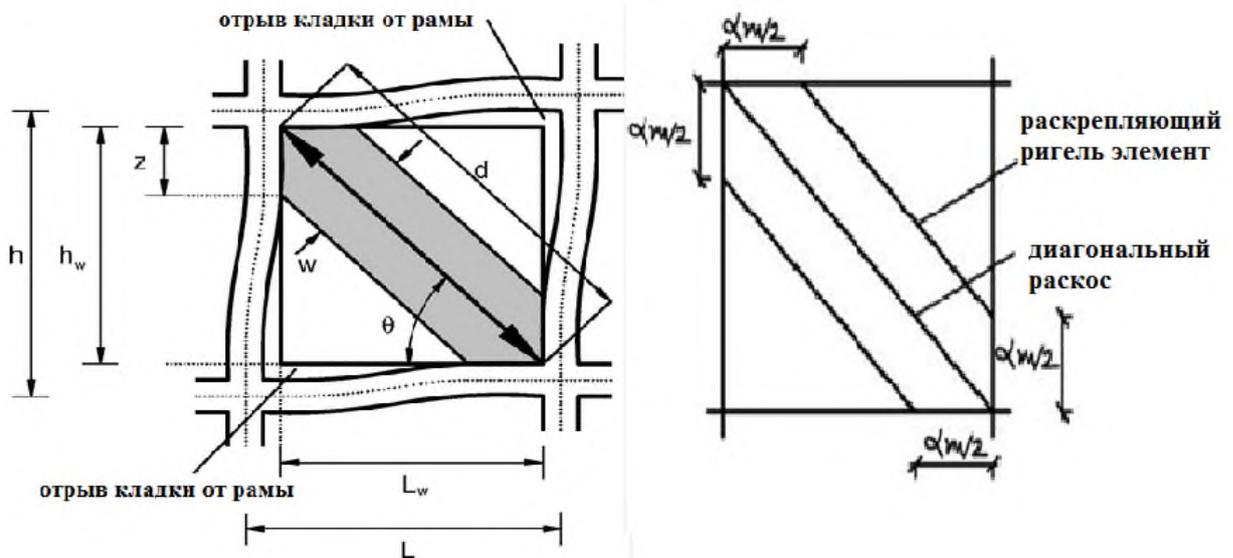


Рис. 2. Моделирование и расчетная схема кирпичной кладки

При этом два боковых раскоса уменьшают расчетную длину ригелей каркаса в вертикальной плоскости, что препятствует возникновению зон неупругих деформаций в зоне их сопряжения с колоннами. Для определения прочностных характеристик таких раскосов получен ряд зависимостей:

1. Эквивалентная ширина раскоса  $w = \frac{1}{4}d$ , где  $d$  - длина диагонали, соединяющей противоположные верхний и нижний узлы (см. рис. 2);
2. Продольное сжимающее усилие, которое может быть воспринято кладкой до того, как она начнет растрескиваться  $R_c = \frac{2}{3} \alpha_m t f_m' \frac{1}{\cos \theta}$ , где  $\alpha_m$  - длина контакта кладки с рамой (см. рис. 2),  $t$  - толщина кладки,  $f_m'$  - расчетное сопротивление кладки сжатию,  $\theta$  - угол между раскосом и горизонталью (см. рис. 2). Значение  $\alpha_m$  в случае моделирования кладки одной диагональной связью вычисляется по формуле  $\alpha_m = \frac{\pi}{2} \sqrt[4]{\frac{4E_c I_c h}{E_m t \sin(2\theta)}}$ , где  $E_c$  - модуль упругости материала рамы (бетона),  $I_c$  - момент инерции колонны,  $h$  - высота этажа, взятая между центральными осями верхней и нижней балок (см. рис. 2),  $E_m$  - модуль упругости кирпичной кладки.
3. При моделировании кладки тремя раскосами площадь сечения диагонального раскоса принимается равной  $A = \frac{wt}{2}$ , площадь раскрепляющего ригель элемента  $A = \frac{wt}{4}$ , длина контакта кладки с рамой равна  $\frac{\alpha_m}{2}$ .

2. Главной проблемой ЖБКНИ зданий является гибкий нижний этаж, являющийся причиной неравномерного распределения жесткости и прочности каркаса по высоте здания. Разрушение таких зданий, как показывает практика (рис. 3), происходит из-за развития зон неупругих деформаций в основаниях и оголовках колонн нижнего этажа, при этом верхняя часть здания остается практически неповрежденной. Необходимо правильно смоделировать условия перехода этих зон в нелинейную стадию деформирования и определить критерий разрушения, в качестве которого предлагается принять ограничение по максимальному перемещению  $\Delta$  верхнего угла здания (далее верха здания) (рис. 4).



Рис. 3. Разрушение ЖБКНИ зданий

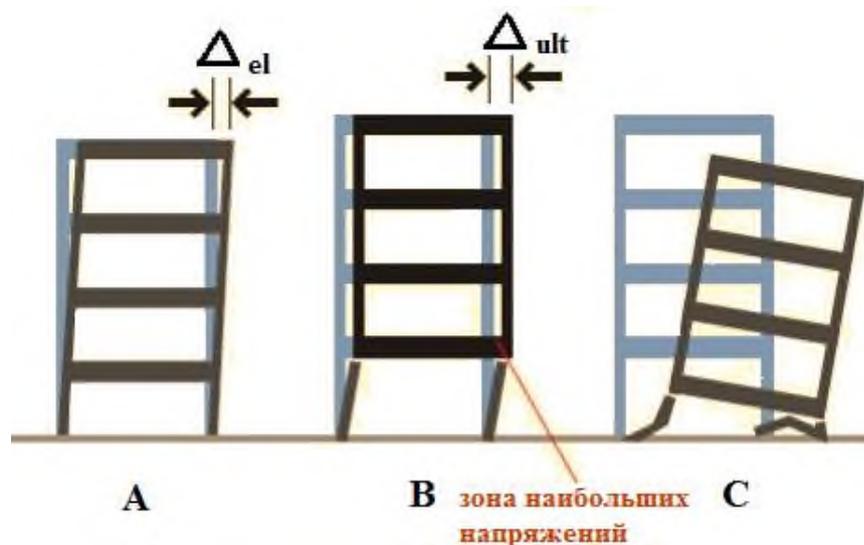


Рис. 4. Характер обрушения зданий с гибким нижним этажом

#### 4. Определение ущерба при помощи НСМ

Как было сказано ранее, ущерб является следствием появления в элементах конструкции значительных неупругих деформаций, т.е. элемент, в котором на определенном шаге приложения монотонно возрастающей нагрузки<sup>1</sup> появляется зона неупругой

<sup>1</sup> Монотонно возрастающая нагрузка здесь прикладывается пропорционально первой форме колебаний системы

деформации считается поврежденным и требует ремонта (замены). Исходя из такой логики рассуждений можно выделить в процессе нагружения конструкции, например, два момента:

1. В некоторый момент процесса нагружения в каком-то элементе (или сразу нескольких) конструкции появляются зоны неупругих деформаций, что свидетельствует о переходе конструкции из упругой в неупругую стадию работы. Значению горизонтальной нагрузки  $V_{el}$ , при котором это происходит, будет соответствовать определенное горизонтальное перемещение верха здания  $\Delta_{el}$  (рис. 4). Ущерб, который можно сопоставить этому состоянию системы, принимается равным нулю, следовательно, нулю равна и стоимость затрат на восстановление и ремонт.

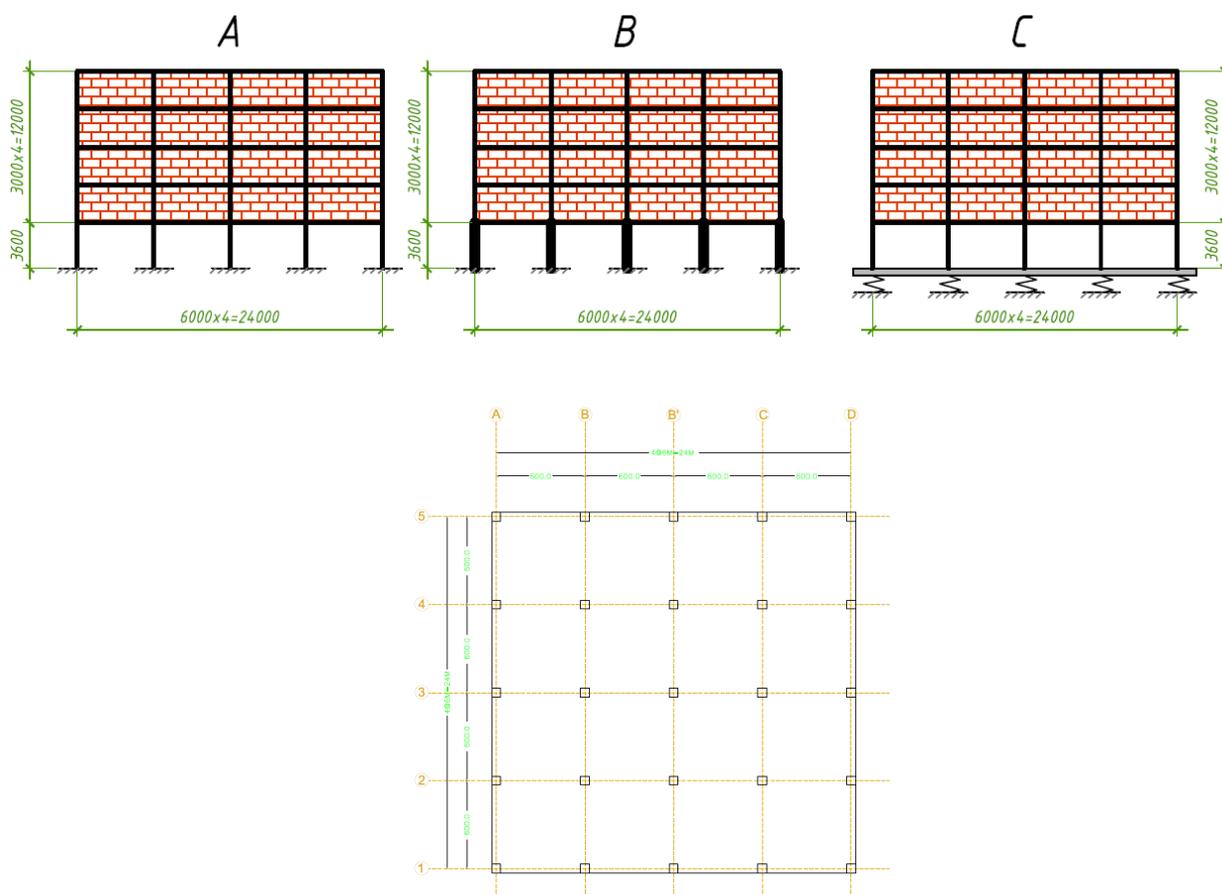
2. При дальнейшем увеличении горизонтальной нагрузки зон неупругих деформаций будет становиться больше, что в конечном счете должно привести здание к обрушению (в данном случае, к превращению нижнего этажа в механизм). Перемещение  $\Delta_{ult}$  применительно к данной конкретной задаче можно задать, пользуясь способами задания предельных перемещений элементов, приведенными в [11]. Определив предельную величину угла раскрытия трещины в шарнире пластичности в крайней колонне нижнего этажа (рис. 4), можно от него перейти к предельному смещению  $\Delta_{ult}$ , превышая которое здание обрушится. Используя для выполнения расчетов по НСМ SAP2000 можно ограничить процесс нагружения конструкции моментом, когда горизонтальное перемещение указанного узла достигнет своего предельного значения  $\Delta_{ult}$ . Этому значению перемещения и соответствующей ему горизонтальной нагрузке  $V_{ult}$  можно сопоставить ущерб, равный 1, т.е. полной стоимости здания.

3. Кривая несущей способности преобразовывается в финансовую кривую [1], тогда полученным точкам состояния системы (перемещениям верха  $\Delta$ ) будут соответствовать разные значения финансового ущерба  $D_{rel,i}$ . Получив множество значений финансового ущерба  $D_{rel,i}$  и зная сметные стоимости затрат на антисейсмические мероприятия  $K_{ant,i}$  для каждого варианта, применяется приведенный ранее алгоритм оптимизации и определяется экономический эффект  $E$ .

## **5. Пример расчёта. Численный анализ**

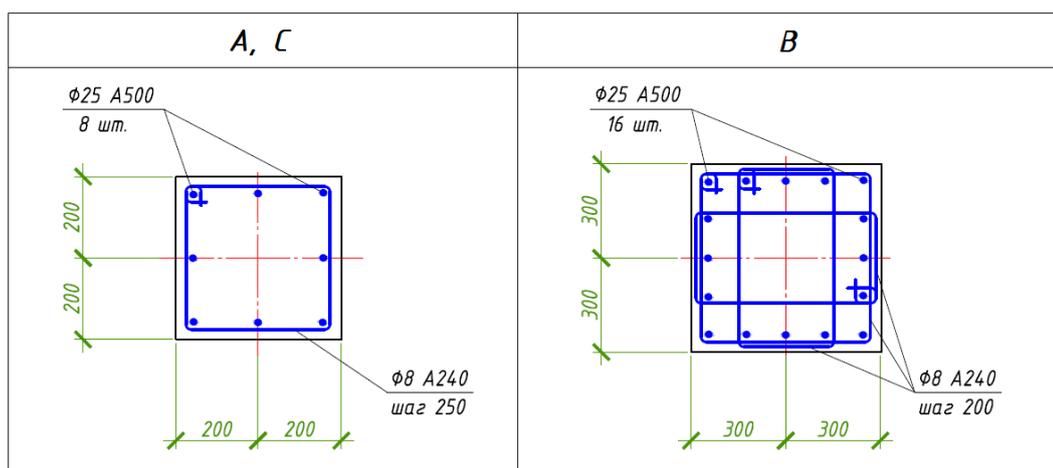
### **5.1 Описание принятых конструктивных решений**

В качестве примера рассматривается здание, схематично показанное на рис. 5. Наряду с двумя вариантами сейсмоусиления (традиционным  $B$  и сейсмоизолированным  $C$  (см. рис. 5)) рассматривается типовое здание  $A$  без каких-либо антисейсмических мероприятий. Для колонн и ригелей ЖБ каркаса принимается бетон класса В25, арматура А500. Прочность кирпичной кладки на сжатие 8 МПа, толщина 250 мм.



**Рис. 5.** Схема поперечного каркаса ЖБКНИ здания. План типового этажа

Армирование колонн нижнего этажа, а также их поперечные сечения различаются в зависимости от выбранного варианта сейсмоусиления (рис. 6).



**Рис. 6.** Армирование колонн нижнего этажа

Общий вес здания с учетом постоянных и длительных нагрузок, собранных с плоской рамы и полов примыкающих к ней из плоскости пролетов, равен 9100 кН. Для устройства кинематического фундамента применяются резинометаллические изоляторы со свинцовым сердечником, на которых устраивается ЖБ балочный сейсмический ростверк.

## 5.2 Стоимость работ по устройству различных вариантов несущих каркасов и затраты на их сейсмоусиление

Предлагаемая методика экономической оптимизации требует наличия данных о стоимости строительства здания. Допустим, что на основании ведомостей материалов определена стоимость работ по устройству несущего каркаса  $C$  каждого из трёх вариантов. Стоимость типового варианта  $A$  составляет  $C_A = 10$  млн рублей, варианта  $B$  -  $C_B = 11$  млн рублей, а варианта  $C$  -  $C_C = 12$  млн рублей. Предположим, что общая сумма инвестирования в строительство объекта составляет 50 млн рублей. Это значение принимается за 1, тогда в относительных единицах

- Стоимость варианта  $A$  равна 0.2;
- Стоимость варианта  $B$  равна 0.22;
- Стоимость варианта  $C$  равна 0.24.

Тогда затраты на антисейсмические мероприятия для каждого из двух вариантов

- $K_{ant(B)} = C_B - C_A = 0.02$ ;
- $K_{ant(C)} = C_C - C_A = 0.04$ .

## 5.3 Определение воздействий

При проектировании любого объекта капитального строительства закладывается определенный срок службы (жизненный цикл). Допустим, что для данного здания он равен 100 годам, за которые на площадке строительства произойдет одно 9-балльное, два 8-балльных и три 7-балльных землетрясения.

В соответствии с описанным в п. 2 способом задания воздействий строятся усредненные спектры для ансамблей акселерограмм, сгруппированных по балльности. Для построений используется программы, написанные в MathCad. На рис. 7 приведены усредненные спектры для 7, 8 и 9-балльных воздействий на не усиленное здание и здание с традиционным способом сейсмоусиления, а на рис. 8 – для 7, 8 и 9-балльных воздействий на сейсмоизолированное здание.

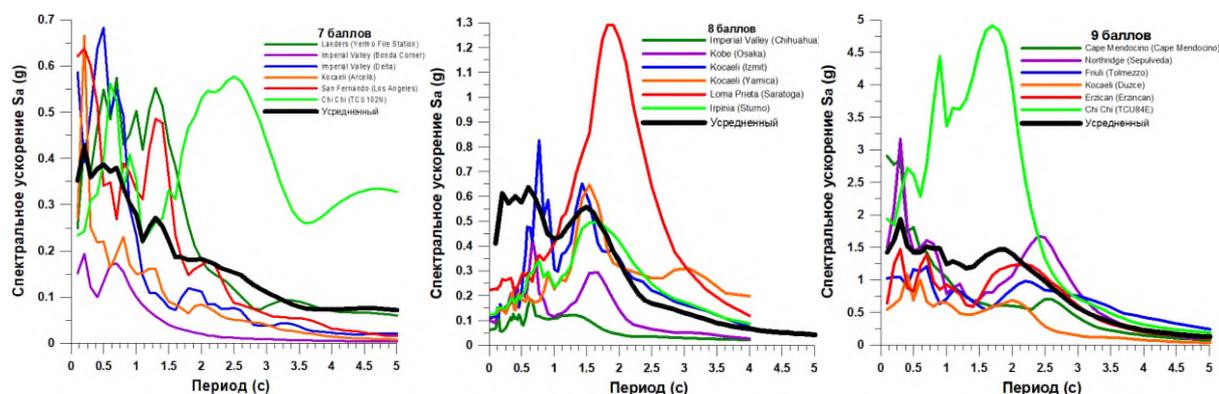
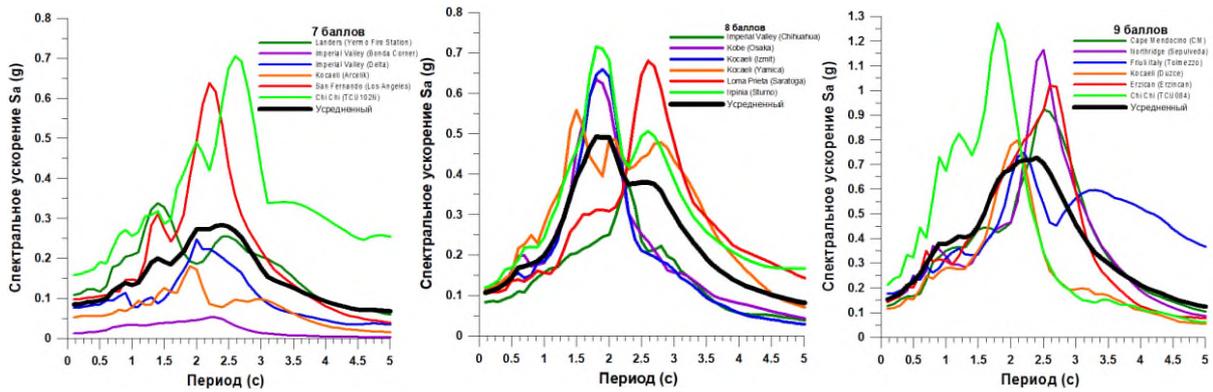
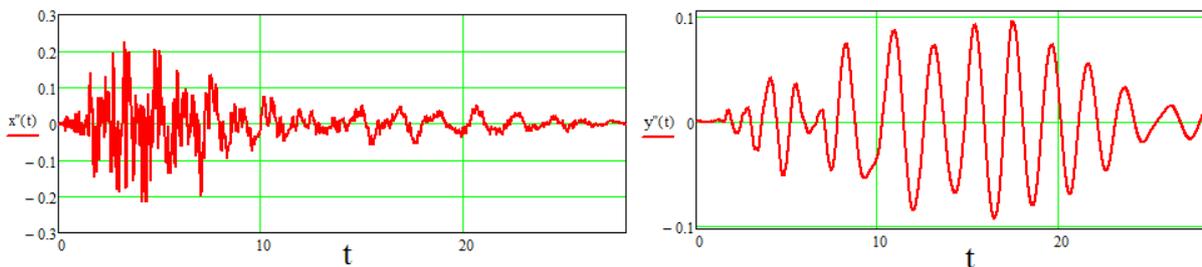


Рис. 7. Усредненные спектры для 7, 8 и 9-балльных воздействий на не усиленное здание и здание с традиционным способом сейсмоусиления



**Рис. 8.** Усредненные спектры для 7, 8 и 9-балльных воздействий на сейсмоизолированное здание

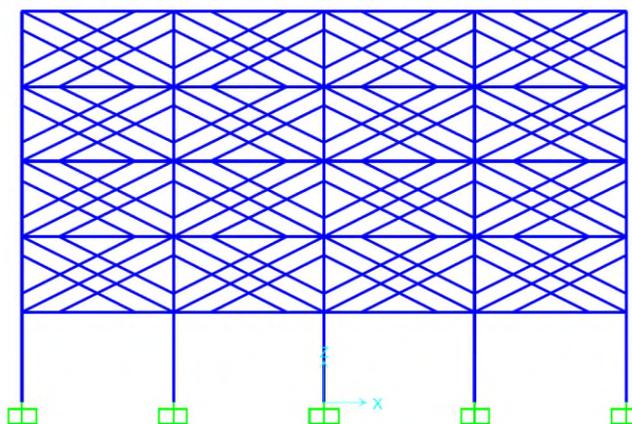
Период первой формы собственных колебаний неусиленного здания  $A$  равен 0.48 с, усиленного традиционным способом  $B$  – 0.28 с, сейсмоизолированного  $C$  – 2.41 с. Из данных на рис. 7 и 8 для 7-балльных спектров видно, что рассматриваемый тип сейсмоизоляции малоэффективен в случае воздействия на систему акселерограммы Chichi (станция TCU102, направление N), т.к. пик спектрального ускорения в диапазоне около 2.5 с снижается лишь на 15-20%. При этом, если говорить о воздействии San Fernando (станция Los Angeles Hollywood Stor, направление 90), то гармоника с периодом того же диапазона усиливается практически в 3 раза после прохождения через ССИ, несмотря на то, что пиковые ускорения PGA соответствующего закона движения снизились в 2 раза (рис. 9). Это говорит о необходимости введения в данную систему наряду с ССИ дополнительных демпфирующих устройств.



**Рис. 9.** Акселерограмма San Fernando (Los Angeles Hollywood Stor, 90) и соответствующий ей закон движения рассматриваемого кинематического фундамента

#### 5.4. Моделирование и расчет здания. Определение ущерба при различных воздействиях

Для расчета используется комплекс SAP2000. Расчетная схема представлена в виде плоской рамы, вырезанной из середины здания (рис. 10). Кирпичные перегородки моделируются тремя раскосами (установлены в прямом и противоположном направлениях), их прочностные характеристики вычисляются согласно формулам п. 3.

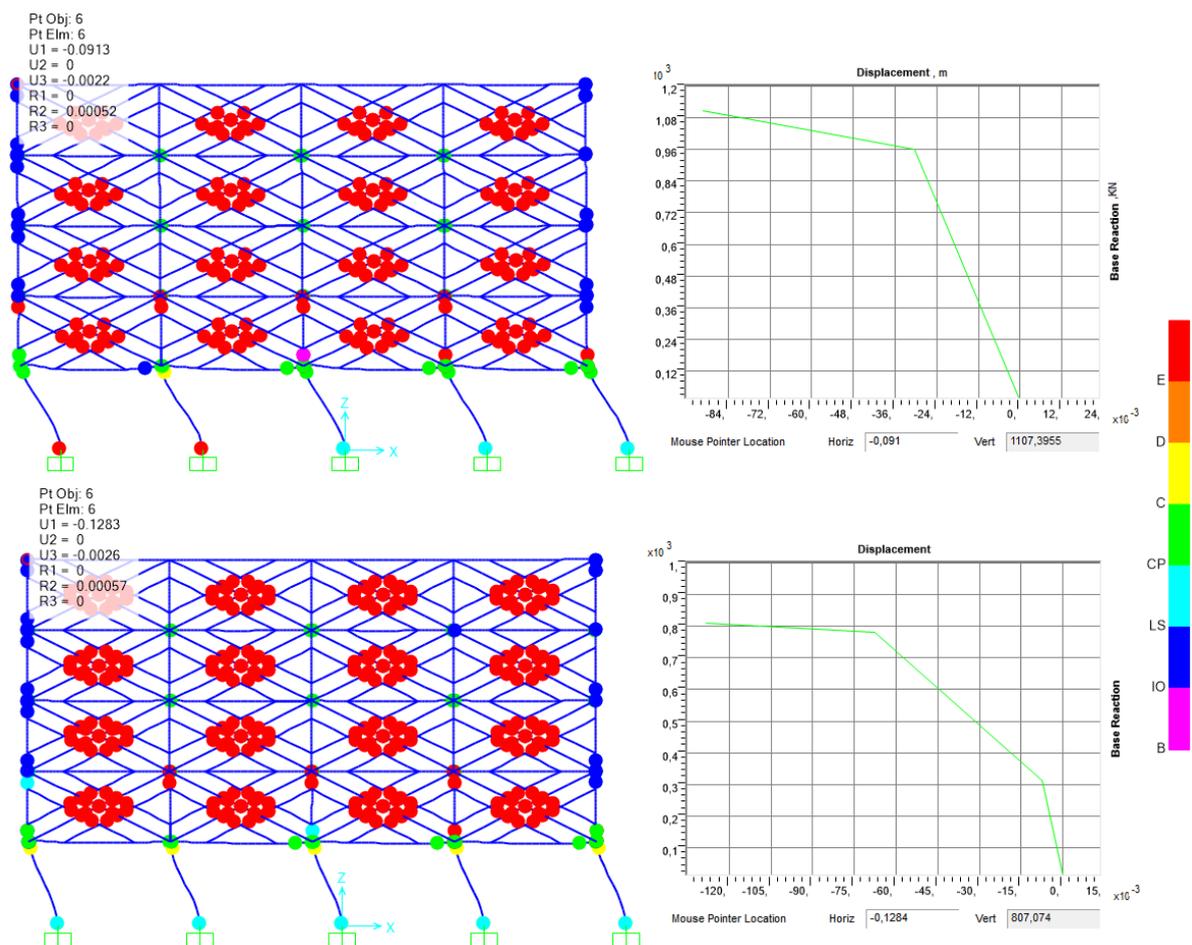


**Рис. 10.** Расчетная схема

Здесь необходимо отметить, что в SAP2000 (как и в некоторых других зарубежных расчетных комплексах) нелинейный статический анализ реализуется путем введения в сечения элементов расчетной схемы пластических шарниров, в которых, с точки зрения пользователя программы, и должны развиваться неупругие деформации. Это значительно повышает возможность ошибки, т.к. назначить соответствующий действительности механизм разрушения сложной конструкции практически невозможно. Однако для рассматриваемого простого типа здания, механизм разрушения которого при сейсмических воздействиях вполне подтвержден множеством реальных примеров, такой подход можно считать вполне оправданным. Таким образом, для элементов показанной на рис. 10 расчетной схемы назначаются следующие пластические шарниры:

1. Шарнир типа Ductile (Deformation Controlled) P-M3 Interaction в основаниях и оголовках колонн всех этажей, где P – предельная продольная сила и M3 – предельный изгибающий момент для данного сечения. Аппроксимируя зависимость «Усилие – Деформация» в элементе диаграммой работы идеально упруго-пластического тела, на кривой определяются из упругого расчета точка перелома и по [11] предельное перемещение.
2. Шарнир типа Brittle (Force Controlled) Shear V2 в основании колонн нижнего этажа, где V2 – предельная поперечная сила.
3. Шарнир типа Ductile (Deformation Controlled) M3 в середине пролетов балок и около опор.
4. Шарнир типа Brittle (Force Controlled) Axial P в средней части диагональных раскосов, моделирующих кирпичную кладку. Здесь P – предельное продольное сжимающее усилие, вычисляемое согласно п. 3 и различное для центральных и боковых раскосов. Помимо этого, данный тип шарнира настраивается таким образом, что при появлении растягивающего усилия в элементе происходит его разрушение.

Для шарниров типа Brittle разрушение происходит, когда усилие в некотором сечении элемента достигает заданного предельного значения. Для шарниров типа Ductile разрушением считается превышение в определенном сечении элемента заданного значения предельной деформации. На рис. 11 показаны деформированные схемы здания в момент реализации предельного перемещения в заданном узле, соответственно с диагональными связями и без них, цвет шарниров показывает критичность реализовавшегося в элементе фактора.



**Рис. 11.** Деформированные схемы и кривые несущей способности для соответствующих моделей каркаса<sup>2</sup>

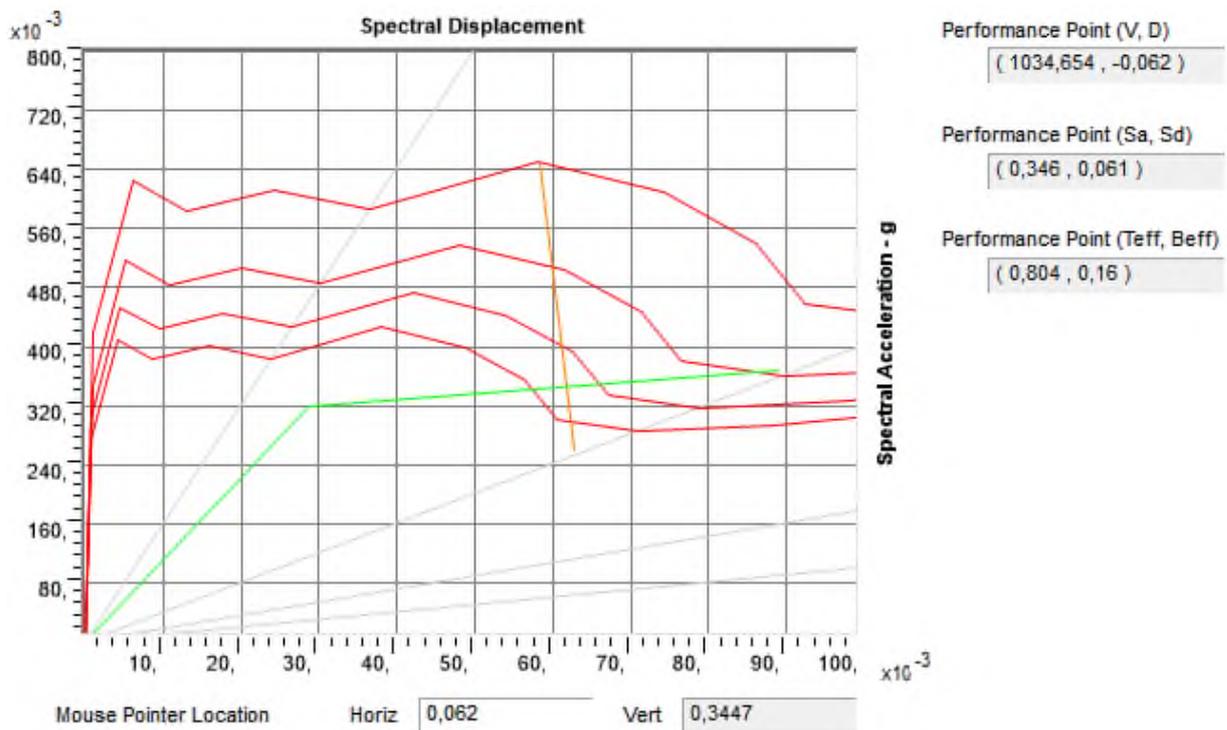
Из рис. 11 видно, что введение в КЭ модель диагональных расколов, учитывающих влияние кирпичных перегородок, существенно влияет на работу каркаса. Влияние кирпичной кладки на горизонтальную прочность каркаса значительно: горизонтальная сила, которую может воспринять модель с расколами на 38% больше, но гибкость при этом падает на 29%, а в кладке в уже на ранних этапах нагружения появляются трещины (красные точки на диагональных элементах).

Далее полученные в п. 5.3 усредненные спектры задаются в качестве воздействий функцией Response Spectrum. Программой строятся кривые несущей способности и выполняется серия расчетов по методу спектра несущей способности НСМ, в результате чего определяется точка состояния системы (перемещение  $\Delta_{t,arg}$ ) от всех воздействий для каждого варианта сейсмоусиления. По каждому перемещению  $\Delta_{t,arg,i}$  с помощью линейной интерполяции находятся финансовые ущербы  $D_{rel,i}$ , результаты расчетов сведены в табл. 1.

На рис. 12 на примере каркаса с традиционным вариантом усиления *B* продемонстрирован поиск точки состояния системы при 8-балльном воздействии. Эта точка

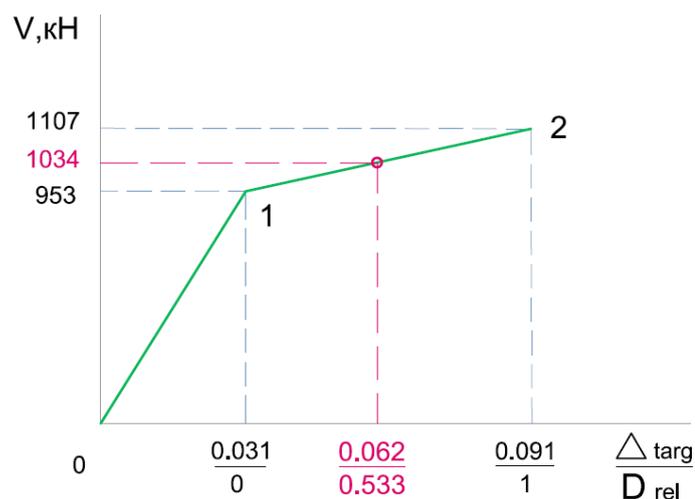
<sup>2</sup> В нижней части показана деформированная схема, в которой диагональные расколы не работают и на сжатие (продольному сжимающему усилию  $R_c$ , определяемому согласно п. 3, заданы бесконечно малые отрицательные значения). Тем самым влияние кирпичной кладки не учитывается

имеет спектральные координаты  $S_a=0.346$ ,  $S_d=0.061$ , которые после перерасчета в систему координат «Горизонтальная сила в основании  $V$  – перемещение  $\Delta_{arg}$ » приобретают значения  $V=1035$  кН,  $\Delta_{arg}=0.062$  м. В соответствии с изложенными в п. 4 соображениями относительно определения ущерба, полагаем, что упругая стадия работы каркаса  $B$  заканчивается, когда перемещение верха принимает значение  $\Delta_{el}=0.031$  м, а разрушение наступает при его значении  $\Delta_{ult}=0.091$  м. Тогда в первом случае перемещению  $\Delta_{el}$  соответствует экономический ущерб  $D_{rel,el}=0$ , а во втором предельному перемещению  $\Delta_{ult}$  уже будет соответствовать экономический ущерб  $D_{rel,ult}=1$ . Для более детального анализа на кривой несущей способности можно, исходя из различных соображений, назначить дополнительные точки.



**Рис. 12.** Поиск точки состояния системы методом спектра несущей способности НСМ

Линейная интерполяция дает значение экономического ущерба при указанном 8-балльном воздействии  $D_{rel,TRAD,8}=0.533$ , при этом вся процедура его определения может быть графически представлена с помощью финансовой кривой (рис. 13).



**Рис. 13.** Определение экономического ущерба от 8-балльного воздействия с помощью финансовой кривой для каркаса с традиционным вариантом усиления

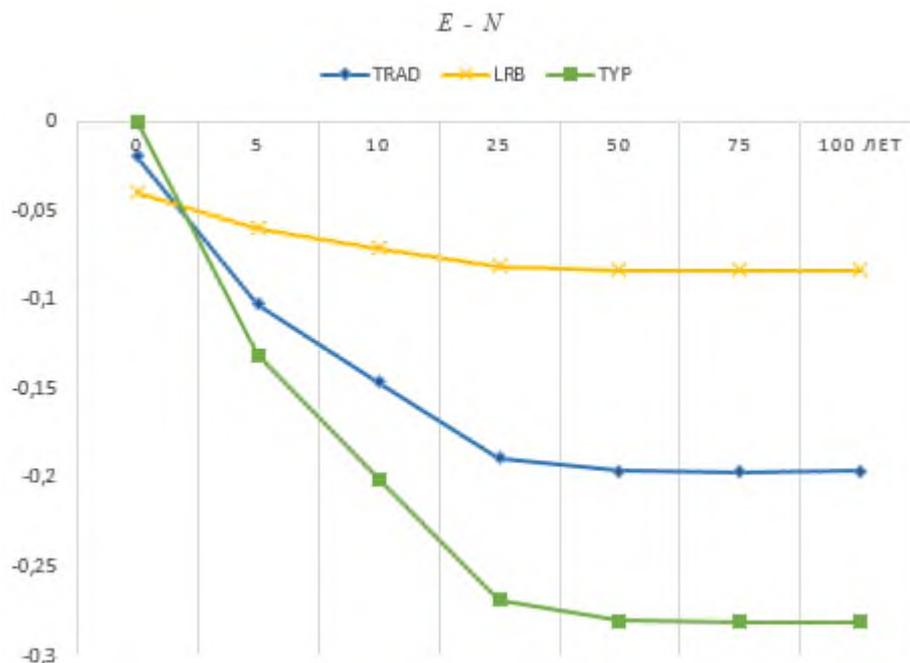
**Таблица 1.** Результаты расчетов каркасов с различными вариантами сейсмоусиления на воздействия разной балльности

Варианты сейсмо-усиления Воздействия	7-балльное	8-балльное	9-балльное
Не усиленное здание (вариант А):			
- Перемещение $\Delta_{targ, TYP, i}$ , [М]	0.039	-	-
- Финансовый ущерб $D_{rel, TYP, i}$	0.254	1	1
Традиционное усиление (вариант В):			
- Перемещение $\Delta_{targ, TRAD, i}$ , [М]	0.036	0.062	-
- Финансовый ущерб $D_{rel, TYP, i}$	0.1	0.533	1
Применение сейсмоизоляции (вариант С):			
- Перемещение $\Delta_{targ, LRB, i}$ , [М]	0.007	0.013	0.069
- Финансовый ущерб $D_{rel, LRB, i}$	0	0.041	0.5

### 5.5. Определение экономического эффекта. Анализ результатов

Теперь, когда определены границы изменения всех варьируемых параметров, входящих в оптимизационный алгоритм (1), становится возможным построить зависимости, характеризующие убытки при строительстве и эксплуатации здания во времени. Эти зависимости графически представлены на рис. 14. Они показывают, что несущественно большие затраты на сейсмоизоляцию на этапе строительства окупают себя уже в первые 5 лет. Наклон кривых зависит от параметра  $d$ , характеризующего годовую прибыль, приносимую зданием: чем она меньше, тем наклон сильнее.

В алгоритме существенным является то обстоятельство, что реализация землетрясений во времени выражена через среднегодовое их число, т.е. получается равномерно распределенной на протяжении всего жизненного цикла здания, что в действительности не так. В условиях данной задачи принято, что происходит всего 6 землетрясений разной балльности на протяжении жизненного цикла здания, а это фактически означает, что на каждой кривой на рис. 14 должно быть 6 скачков вниз (6 моментов наступления относительно большого ущерба) в разное время  $N$ . Это возможно, если имеются данные о том, когда на конкретной площадке строительства происходили последние землетрясения. Тогда по картам сейсмического районирования, зная периоды повторяемости землетрясений каждой интенсивности, можно с некоторой долей вероятности определить время  $N$ , когда эти скачки вниз будут происходить. Однако это все существенно усложнит формулу (1), она потеряет свою универсальность и простоту и станет малопригодной для проведения оценочных инженерно-экономических расчетов на ранних стадиях проектирования.



**Рис. 14.** График зависимости «экономическая эффективность  $E$  – жизненный цикл здания  $N$ » с учётом конструктивного ущерба (TYP – А, TRAD – В, LRB – С)

### Заключение

1. В данной работе рассмотрена методика определения наиболее эффективного способа сейсмоусиления ЖБКНИ зданий с экономической точки зрения, учитывающая фактор времени.

2. Рассмотрены особенности моделирования и расчета ЖБКНИ зданий, учитывающие влияние кирпичной кладки на горизонтальную прочность каркаса.

## Библиографический список

1. Иванов А.Ю., Черногорский С.А., Власов М.П. Оптимизация конструктивных решений сейсмостойкого проектирования по экономическому критерию с учетом применения системы сейсмоизоляции // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 4(80). С. 138-150.
2. Ватин Н.И., Иванов А.Ю., Рутман Ю.Л., Черногорский С.А. Оптимизация конструкций сейсмостойких сооружений по экономическому критерию // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 8(76). С. 77–93.
3. Кейлис-Борок В.И., Нерсесов И.А., Яглом А.М. Методы оценки экономического эффекта сейсмостойкого строительства. М.: АН СССР, 1962. 46 с.
4. Уздин А.М., Елизаров С.В., Белаш Т.А. Сейсмостойкие конструкции транспортных зданий и сооружений. М.: 2012. 501 с.
5. Богданова М.А., Сахаров О.А., Сергин К.С., Сигидов В.В. Оптимизация инвестирования в сейсмостойкое строительство // Экономическое возрождение России. 2011. № 1(27). С. 132-138.
6. Иванов А.Ю. Оптимизация проектов сейсмоизолированных сооружений // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 4(69). С. 36-45.
7. Sahoo D.S., D.C. Rai. Design and evaluation of seismic strengthening techniques for reinforced concrete frames with soft ground story // Engineering Structures. 2013. No 56. Pp. 1933-1944.
8. Bertero V., and Brokken S. Infills in seismic resistant building // Journal of Structural Engineering. 1983. No 109(6). Pp. 1337-1361.
9. Рутман Ю.Л., Чылбак А.А. Оценка сейсмочности сооружения, расположенного на системе сейсмоизоляции // Вестник гражданских инженеров. 2009. № 1(18). С. 30-33.

## References

1. Ivanov A.Y., Chernogorskiy S.A., Vlasov M.P. Seismic design optimization considering base-isolation system. Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 4 (80). Pp. 138–150.
2. Vatin N.I., Ivanov A.Yu., Rutman Yu.L., Chernogorskiy S.A. Earthquake engineering optimization of structures by economic criterion. Magazine of Civil Engineering. 2017. No. 8(76). Pp. 77–93.
3. Keylis-Borok V.I., Nersesov I.A., Yaglom A.M. Metody otsenki ekonomicheskogo effekta seysmostoykogo stroitelstva [Methods of assessment of economic effect in earthquake design]. Moscow: AN SSSR, 1962. 46 p.
4. Uzdin A.M., Yelizarov S.V., Belash T.A. Seysmostoykiye konstruktсии transportnykh zdaniy i sooruzheniy [Earthquake engineering of transport buildings and structures]. M.: 2012. 501 p.
5. Bogdanova M.A., Saharov O.A., Sergin K.S., Sigidov V.V. Optimization of investments in earthquake engineering. Economic Revival of Russia. 2011. No. 1(27). Pp. 132-138.
6. Ivanov A.Y. Optimization of base-isolated structures designs. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2018. No. 4(69). Pp. 36–45.

7. Sahoo D.S., D.C. Rai. Design and evaluation of seismic strengthening techniques for reinforced concrete frames with soft ground story. *Engineering Structures*. 2013. No 56. Pp. 1933-1944.
8. Bertero V., and Brokken S. Infills in seismic resistant building. *Journal of Structural Engineering*. 1983. No 109(6). Pp. 1337-1361.
9. Rutman Yu.L., Chylbak A.A. Otsenka seysmoprochnosti sooruzheniya, raspolozhennogo na sisteme seysmoizolyatsii. [Seismic structural strenght assessment of base-isolated building]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2009. No. 1(18). Pp. 30–33.

## **Оптимизация конструктивных параметров пластических демпферов в системах сейсмоизоляции**

### **Optimization of plastic dampers design parameters in seismic isolation systems**

**Рутман Юрий Лазаревич\***

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механики

**Островская Надежда Владимировна\***

кандидат технических наук, доцент кафедры механики

**Кобелев Евгений Анатольевич\***

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой механики

\*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

**Rutman Yuri Lazarevich\***

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Mechanics

**Ostrovskaya Nadezhda Vladimirovna\***

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanics

**Kobelev Evgeny Anatolyevich\***

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanics

\*St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

**Аннотация.** Эффективность применения систем сейсмоизоляции (ССИ) в значительной мере зависит от правильного выбора параметров демпфирования. В докладе рассматривается задача поиска оптимальных параметров пластических демпферов (ПД) в ССИ. Основное внимание уделено методологии варьирования и выбора конструктивных параметров ПД с целью реализации оптимального коэффициента демпфирования  $\zeta$ , используемого в линеаризованной динамической модели сейсмоизоляции.

Получен ряд аналитических зависимостей, позволяющих найти силовую характеристику ПД различной конфигурации (прямолинейных и криволинейных). Рассмотрены различные варианты нагружения ПД (в т.ч. пространственное нагружение).

Также рассмотрены численные методы установления силовых характеристик (с помощью ПК «ANSYS» и метода псевдожесткостей). Приведено сравнение силовой характеристики, вычисленной с помощью ПК «ANSYS», криволинейного ПД с экспериментом.

**Ключевые слова:** системы сейсмоизоляции, пластический демпфер, поиск оптимальных параметров демпфирования, метод псевдожесткостей

**Annotation** The effectiveness of the use of seismic isolation systems (SIS) largely depends on the correct choice of damping parameters. The report deals with the task of finding the optimal parameters of plastic dampers (PD) in the SIS. The main attention is paid to the methodology of variation and selection of design parameters of PD in order to implement the optimal damping coefficient  $\zeta$  used in the linearized dynamic model of seismic isolation.

A number of analytical dependencies were obtained, allowing to find the power characteristic of PD of various configurations, both straight and curvilinear. The various options for loading PD including spatial loading are considered.

Numerical methods for determining power characteristics (using the «ANSYS» software package and the pseudo-hardness method) were considered also. A comparison of the curvilinear PD power characteristics, calculated by using «ANSYS», with the experiment was carried out.

**Keywords:** seismic isolation system, plastic damper, search of optimum damping parameters, pseudorigidity method

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-38-41**

## 1. Introduction

One of the most effective criteria for optimizing a seismically isolated system (SIS) is the criterion for minimizing the absolute accelerations of the protected object (PO) [1, 2, 3]. This criterion can significantly reduce construction costs of building of seismically isolated objects. The optimization of damping parameters plays a significant role for this criterion. Methods of implementation of the optimal parameters of the dynamic model of an SIS by choosing the design characteristics of plastic dampers (PD) are being researched in this report.

## 2. Formulation of the problem

The mathematical model of the SIS is non-linear and contains at least 3 parameters characterizing the power characteristic of plastic dampers. The linearization of the model and the use of the Voigt-Bocca hypothesis allows one to characterize the damping with just one parameter — a dimensionless damping coefficient [4]. Varying this coefficient you can set its optimal value. This raises the problem of the implementation of this coefficient in specific designs of PD. To do this, you need to be able to set the power characteristic of the PD or its main parameters using relatively simple means.

## 3. Analytical dependencies and software for obtaining power characteristics of PD or determining the main parameters of these characteristics

A) If the PD is a straight rod of rectangular cross section, then the power characteristic is described by the following parametric dependencies [5, 6]:

$$p(t) = \frac{(3t^2-1)+a(2t+1)(t-1)^2}{6t^2} \quad (1)$$

$$w(t) = \frac{2t(4a^2t^6+9a(1-a)t^5+(20-21a+6alnt)(1-a)t^3-(1-a)^2(18t^2-2))}{3(4a^2t^6+12a(1-a)t^5+(1-a)^2(9t^4-6t^2+1)-4a(1-a)t^3)},$$

$$p \equiv \frac{2Pl}{\sigma_T b_0 h^2}, \quad w \equiv \frac{Wh}{\varepsilon_T l^2}. \quad (2)$$

In these formulas  $p(t)$ ,  $w(t)$  – values associated with the physically meaningful parameters (force and displacement) by relations (2);  $a = E_{nl}/E$ ;  $t$  – dimensionless parameter that forms the power characteristic. The remaining obvious symbols describe the size of the rod, its cross-section and the characteristics of the material of the rod. For rods of circular cross section there are similar dependencies [6].

B) In [6] there are analytical dependencies for obtaining the force characteristics of flat curvilinear rods, if the force acting on PD lies in the plane of the rod. However, such dependencies cannot be obtained if the load on PD is perpendicular to the plane of the rod. In this case one can consider as the rigid-rod structure and obtain the formula for calculating its yield surface (curve describing actuation PD). These formulas are:

$$\frac{P_{BX}}{P_{TX}} = \frac{1}{\sqrt{1+\beta t g^2 \theta}}, \quad \frac{P_{BZ}}{P_{TZ}} = \frac{1}{\sqrt{1+\beta t g^2 \theta}}, \quad (3)$$

In the above formulas  $P_{BZ}$ ,  $P_{BX}$  – the components of the force applied to the PD (axis Z perpendicular to the plane of the rod);  $\frac{M_{TX}^2}{M_{TZ}^2} = \alpha$ ,  $\frac{M_{TZ}^6}{M_{TX}^6} = \beta$ ,  $M_{TZ}$ ,  $M_{TX}$  – limiting moments in bending around the axes X, Z;  $P_{TZ}$ ,  $P_{TX}$  – limiting forces along the Z, X axes.

An effective method for determining PD triggering forces is the use of the pseudo-rigidity method [7]. In [7], a PD consisting of several curved rods was considered and its yield surface was found (Table 1).

**Table 1. Surface yield a three-dimensional plastic damper**

$\theta^\circ$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$P_Y / P_{TY}$	1	0.881	0.731	0.587	0.462	0.344	0.25	0.156	0.081	0
$P_X / P_{TY}$	0	0.156	0.262	0.337	0.387	0.412	0.431	0.437	0.444	0.45

In the table it is accepted:  $P_Y$ ,  $P_X$  – components of a maximum load;  $\theta^\circ$  – the angle between the Y axis and the load applied to the damper lying in the XY plane;  $P_{TY}$  – the value of the maximum load at  $\theta = 0$ .

#### 4. Using the finite element method (FEM) and software package «ANSYS»

Numerical analysis showed that the use of elastoplastic models of FEM yields results that differ from the results obtained by the above methods by no more than 5–10% [6]. It should be borne in mind that the formulas of paragraph A give an exact solution in the framework of the theory of Kirchhoff-Clebsch rods. However, calculations based on FEM using an «ANSYS» SP require the use of high-dimensional models and, accordingly, a large time resource. This is usually not possible in design practice.

#### 5. The experiment

To establish the adequacy of methods for calculating PD, an experiment was carried out and a finite element calculation was performed using the «ANSYS» computer package [8]. A comparison of the experimental and calculated power characteristics showed that the force characteristics of the PD give results that differ from the experiment by no more than 5%. The type of deformation of PD in the calculation and experiment coincide.

#### 6. Conclusion

The article considers the problem of optimizing the design parameters of plastic dampers in the SIS. The target function is the dimensionless damping coefficient, which minimizes the absolute accelerations of the PO. Various methods for the selection of design parameters of PD for the implementation of the optimal damping coefficient in the linearized dynamic model of the SIS are proposed.

#### Bibliography

1. Rutman Yu.L., Vatin N.I., Ivanov A.Yu., Chernogorskiy S.A., Shvetsov K.V. Optimizatsiya konstruktivnykh seysmostoykikh sooruzheniy po ekonomicheskomu kriteriyu // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal, 2017, 8(76), pp. 67–83.
2. Ivanov A.Yu., Chernogorskiy S.A., Vlasov M.P. Optimizatsiya seysmostoykogo proyektirovaniya s uchetom primeneniya seysmoizolyatsii // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal, 4(80), 2018, pp. 138–150.

3. Yu, C.-C., Bolisetti, C., Coleman, J.L., Kosbab, B., Whittaker, A.S. Using seismic isolation to reduce risk and capital cost of safety-related nuclear structures // Nuclear Engineering and Design, 2018, 326, pp. 268–284.
4. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Vol. 1: ATC-40 Report. – Applied Technology Council. RedwoodCity, California, 1996, 334 p.
5. Rutman Yu.L., Kovaleva N.V. Otsenka effektivnosti parametrov dempfirovaniya v sistemakh seysmoizolyatsii // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal, 2012, 1(27), pp. 37–43.
6. Ostrovskaya N.V. Metod rascheta i optimizatsii parametrov plasticheskikh dempferov v sistemakh seysmoizolyatsii: avtoreferat dis. ... kandidata tekhnicheskikh nauk / SPbGASU, 2016, 22 p.
7. Rutman Yu.L. Metod psevdozhestkostey dlya resheniya zadach o predel'nom ravnovesii zhestkoplacheskikh konstruktsiy (monografiya) BGTU, Sankt-Peterburg, 1998, 54 p.
8. Rutman Yu.L., Ostrovskaya N.V., Grunin V.V. Sopostavleniye rezul'tatov konechno-elementnogo rascheta kharakteristik plasticheskogo dempfera s eksperimentom // Morskiye intellektual'nyye tekhnologii, 4(34), 2016, pp. 28–34.

# КОНЦЕПЦИЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЯ РЕЗЕРВНОЙ ДИЗЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ АТОМНОЙ СТАНЦИИ

## THE CONCEPT OF EVALUATION OF SEISMIC SAFETY OF THE STANDBY DIESEL POWER PLANT

### **Саргсян Акоп Егишович**

доктор технических наук, профессор, академик МАИ при ООН, начальник НИОДиС АО «Атомэнергопроект», г. Москва

### **Гукова Елена Геннадиевна**

главный специалист НИОДиС АО «Атомэнергопроект», г. Москва

### **Sargsyan Akop Egishovich**

doctor of technical sciences, professor, academician of PA UN, head of department, JSC «Atomenergoproekt», Moscow. Russia

### **Gukova Elena Gennadievna**

chief specialist, JSC «Atomenergoproekt», Moscow. Russia

**Аннотация.** В работе продемонстрирована концепция выполнения поверочных расчетов строительных конструкций и основания здания РДЭС при НЭ (нормальный режим эксплуатации) + МРЗ (максимально расчетное землетрясение). При этом рассматриваются:

- определение поэтажных обобщенных спектров отклика от МРЗ;
- проверка прочности строительных конструкций при НЭ+МРЗ;
- оценка несущей способности и устойчивости основания сооружения при НЭ+МРЗ.

Разработаны статическая и динамическая конечно-элементные модели системы сооружение-основание сооружения РДЭС. Выполнены расчеты сооружения с применением ВК ANSYS. Определены обобщенные поэтажные спектры отклика при МРЗ.

Выполнена проверка прочности. Установлено, что прочность несущих конструкций сооружения РДЭС при НЭ+МРЗ обеспечена.

Проведена оценка несущей способности и устойчивости основания сооружения. Установлено, что несущая способность и устойчивость основания при НЭ+МРЗ обеспечена.

**Abstract.** The concept of the verification analysis of Standby Diesel Power Plant (SDPP) foundation and structures at NO (Normal Operation mode) + SSE (Safe Shutdown Earthquake) is demonstrated.

Let us consider:

- enveloped floor response spectra calculation at the SSE level;
- checking the strength of building structures at NO + SSE;
- Assessment of load-bearing capacity and stability of the foundation of the structure at NO + SSE.

The static and dynamic finite-element models of the soil - structure system for the SDPP have been developed. The analysis of the structure were represented by ANSYS software. The enveloped floor response spectra were calculated at the SSE level.

The strength calculations were performed. It was established that the strength of the bearing structures of the SDPP at NO + SSE is ensured.

The load-bearing capacity and stability of the foundation of the structure were estimated. It is established that the load-bearing capacity and stability of the base in the case of NO + SSE is ensured.

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-42-43**

## **СОДЕРЖАНИЕ**

1. Введение
2. Расчетная модель системы сооружение - основание
3. Результаты расчетов
4. Оценка прочности фундаментной плиты
5. Оценка несущей способности и устойчивости основания
6. Заключение

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Разработаны статическая и динамическая конечно-элементные модели системы сооружение-основание сооружения РДЭС. Выполнены расчеты сооружения РДЭС с применением ВК ANSYS. Определены обобщенные поэтажные спектры отклика при МРЗ.

Выполнена проверка прочности и установлено, что прочность несущих конструкций сооружения РДЭС при НЭ+МРЗ обеспечена. Проведена оценка несущей способности и устойчивости основания сооружения РДЭС. Установлено, что несущая способность и устойчивость основания при НЭ+МРЗ обеспечена.

**«DIFFICULT» QUESTIONS OF DEVELOPMENT OF SEISMIC MICROZONING**

**Алешин А.С.**

д.ф.-м.н, ст.н. сотр., Главный научный сотрудник ИФЗ РАН. Москва, Россия

**Aleshin A.S.**

DSc, Chief Researcher, IPE RAS. Moscow, Russia

**Аннотация.** В последнее время в нормативной базе сейсмостойкого строительства России произошли давно ожидаемые события: появился целый ряд новых документов. Это, казалось бы, положительное явление породило ситуацию, которая в одной из работ не без основания была охарактеризована как "нормативный хаос". Такое положение во многом объясняется различием основных понятий и соотношений в новых и привычных старых нормативных документах. Здесь в тезисной форме отмечены эти противоречия и намечены пути их преодоления.

**Abstract.** Recently, long-awaited events have taken place in the regulatory framework of earthquake-resistant construction in Russia: a number of new documents have appeared. This seemingly positive phenomenon gave rise to a situation that in one of the works was not without reason described as "normative chaos". This situation is largely due to the difference between the basic concepts and relationships in the new and familiar old regulations. Here in the thesis form these contradictions are marked and ways of their overcoming are outlined.

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-44-46**

Нормативная база сейсмостойкого строительства России в последнее время обогатилась целым рядом новых, давно ожидаемых, документов. Это, казалось бы, положительное явление породило ситуацию, которая в одной из работ не без основания была охарактеризована как "нормативный хаос". Такое положение во многом объясняется различием основных понятий и соотношений в новых и привычных старых нормативных документах. Конечно, явление это временное и в чем-то понятное, но для дела экспертизы и прохождения рабочей документации безусловно вредное. Данная работа имеет целью, хотя бы отчасти, разрешить возникшие противоречия.

Рассмотрим наиболее важные противоречия и приведем краткие результирующие ответы на возникающие вопросы. Полный анализ затрагиваемых проблем требует значительно больших объемов, чем разрешенные условиями конференции размеры тезисов.

**1.** Общее сейсмическое районирование (ОСР) согласно нормативу СП 14.13330.2014 представляет оценку сейсмической опасности на территории всей страны и имеет общегосударственное значение для осуществления рационального землепользования и планирования социально-экономического развития крупных регионов. Большие различия в методике и масштабах делают затруднительным прямое использование данных ОСР при работах по СМР, как это представляется в ряде работ. По этой причине представляется, что значение ОСР сильно переоценено.

**2.** На практике для строительства крупных и особо ответственных объектов проводят работы по детальному сейсмическому районированию (ДСР). Для объектов нормальной ответственности допускается проведение работ по уточнению исходной сейсмичности (УИС). Методика ДСР и УИС детально изложена в нормативном документе СП 286.1325800.2016. Поскольку, как показывает практика, пересмотр карт ОСР вряд ли рационально осуществлять чаще чем в 10-15 лет, представляется перспективным разработать

альбом карт ДСР для каждого сейсмоактивного региона страны. Это позволит точнее учесть региональные особенности сейсмичности.

**3.** В основе отечественной инженерной сейсмологии лежат макросейсмические представления. Это, прежде всего, балл и приращение балла, что неудовлетворительно в отношении точности задания сейсмических нагрузок. Отсюда возникает дискуссия о возможности (или невозможности) использования дробных значений балла. Практика сейсмостойкого строительства настоятельно требует использования инструментальных характеристик сейсмических воздействий – пиковых ускорений, частотного состава и длительности сейсмических колебаний, спектров реакции, коэффициентов динамичности и акселерограмм. Приращениям сейсмической интенсивности в этом случае соответствуют грунтовые коэффициенты, о чем в ряде нормативов даже не упоминается.

**4.** В большинстве нормативных документов в качестве референтных грунтов выступают "средние" грунты, свойства которых варьируют в довольно широком диапазоне. Это приводит к неучтенной ошибке в определении приращения сейсмической интенсивности. Выход из описанной ситуации видится в определении референтного грунта со строго фиксированным параметром сейсмической жесткости. В качестве референтного грунта рекомендуется выбрать достаточно жесткий грунт, как это сделано в сейсмических нормах США и ряда других развитых стран, что исключает влияние сильных сейсмических воздействий на параметры грунта. Описанные условия приведены в ряде новейших нормативов. Задача состоит в распространении их на все нормативные документы, включая те, что регламентируют проведение ОСР и ДСР.

**5.** При выводе всех основных соотношений инженерной сейсмологии (например, формулы макросейсмического поля, коэффициента сейсмичности  $A$ , расчета приращений сейсмической интенсивности по сейсмологическим данным, формулы метода сейсмической жесткости и др.) в соответствии с требованиями шкалы MSK-64. В настоящее время в России принята новая сейсмическая шкала ГОСТ Р 57546-2017. В ней для шага ускорений от балльности принято значение 2,5 вместо 2 для шкалы MSK-64. При учете данного обстоятельства вид выше отмеченных соотношений изменится, что необходимо учесть во всех нормативных документах.

Все разобранные до сих пор вопросы так или иначе относятся ко всем видам сейсмического районирования. Следующие замечания в основном относятся к собственно сейсмическому микрорайонированию.

**6.** Основным параметром, характеризующим свойства грунтов, является скорость поперечных волн. При этом следует заметить, что скорость поперечных волн, хотя и является важнейшей характеристикой сейсмических свойств грунтового массива, но это не единственная величина, определяющая сейсмические свойства грунта. Реакция грунта на сейсмические воздействия, определяется также плотностью, точнее сейсмической жесткостью - произведением плотности на скорость поперечных волн. Будет уместно отметить, что именно эта величина фигурирует в качестве главной количественной характеристики свойств грунта в таблице 1 норматива СП 14.13330, 2014.

**7.** Использование постоянных грунтовых поправок или постоянных приращений сейсмической интенсивности, соответствующих определенным грунтовым категориям, приводит к скачкообразным изменениям на границах категорий и соответствующим ошибкам. Постоянство значений грунтовых коэффициентов (или приращений сейсмической интенсивности) для всего диапазона свойств, характеризуемых грунтовой категорией, обуславливает нагружение среды воздействием, неадекватным свойствам среды. В нормативе СП 283.1325800.2016 изложена методика описания связи параметров сейсмических воздействий со свойствами грунтов непрерывной зависимостью. Такой способ представления свойств грунта делает излишним использование понятия грунтовых категорий.

**8.** В теории колебаний коэффициентом динамичности называют отношение амплитуды динамического смещения к статическому смещению. Э тот коэффициент характеризует

любую динамическую систему: будь то колебания здания на упругом основании, или реакцию грунтового массива на приходящие к его подошве сейсмические колебания. В главном нормативном документе СП 14.13330.2014 традиционно (и вполне обосновано) коэффициент динамичности рассматривается в первом отмеченном выше значении, как реакцию колебаний сооружения на сейсмическое воздействие. В документе СП 283.1325800.2016 коэффициент динамичности относится к колебаниям поверхности грунтового массива под влиянием сейсмического воздействия, подходящего снизу из упругого полупространства. Это позволяет учесть резонансные свойства грунтового массива.

**9.** В основе метода сейсмической жесткости (МСЖ) лежит предположение о равенстве потоков мощности на соседних участках с различными свойствами верхней части грунтового массива. Это положение принципиально неверно, поскольку вверх к дневной поверхности, на которой располагается строение распространяется лишь часть сейсмической энергии, а другая, порой значительная, отражается в нижнее полупространство. Соотношение частей, проходящей вверх и отраженной вниз зависит от конкретного строения грунтового массива. Учет этого обстоятельства значительно изменяет вид формулы метода. Насущной задачей является распространение этого положения на все нормативные документы.

**10.** Помимо сейсмической жесткости на приращение сейсмической интенсивности, оказывают влияние такие факторы как обводненность, резонансные явления, рельеф местности и нелинейные свойства грунтов. В различных нормативах эти факторы так или иначе учитываются. Например, член формулы МСЖ, учитывающий влияние обводненности грунтов, во многих нормативах исключен, поскольку влияние обводненности учитывается изменением сейсмической жесткости и нет надобности в дополнительном члене. Нелинейность свойств грунтов учитывается в виде зависимости грунтовых коэффициентов от величины сейсмических воздействий.

**11.** Вопросы методики проведения работ по СМР обобщены в документах, появившихся на свет более 30 лет тому назад. За истекшее время в теории и практике сейсмического микрорайонирования произошло много изменений, не нашедших должного отражения. В частности, требует пересмотра представление об особенностях инженерно-геологических изысканий на участках выполнения СМР, о приоритете сейсмологических наблюдений, большей конкретизации требуют расчетные методы и т.д.

**12.** В основных Российских нормах СП 14.13330.2014 влияние свойств грунта на параметры сейсмических колебаний учитывается величиной сейсмической жесткости грунта, средней для 30-метрового верхнего слоя. Данная классификация основана на исследованиях, проведенных в США, где свойства грунтов изучались до нескольких сотен метров, но еще не достигли уровня достаточно твердых слоев. Во многих работах показано, что эта классификация не может быть непосредственно применена к другим регионам, особенно к регионам с неглубоким скальным фундаментом. В новых российских нормах СП 283.1325800.2016 толщина слоя грунта, значимая для целей СМР, определяется пунктом 6.18, в котором расчетная мощность грунта должна соответствовать 30 м и более в дисперсных породах или мощности слоя грунта до границы с более жесткими породами при  $R > 2000$  тм-2с-1 в случае его наличия в верхней 30-метровой толще. Это требование более точно соответствует реалиям СМР в нашей стране.

## **Заключение**

Рассмотренные вопросы показывают весьма существенные различия в отечественных нормативных документах, разработанных в разное время и для разных объектов. Однако эту ситуацию характеризовать как "нормативный хаос" можно только с позиций текущего момента. В идейном отношении хаоса в нормативах сейсмостойкого строительства нет. Требуется время и административный ресурс, чтобы исправить это положение и унифицировать нормативную документацию.

# **Опыт применения кинематических систем сейсмоизоляции на территории большого Сочи при проектировании и строительстве зданий и сооружений**

## **Practice of kinematic base isolation applications in Sochi area, Russia**

### **Семенов Станислав Юрьевич**

генеральный директор ООО «СЕЙСМОИЗОЛЯЦИЯ», старший преподаватель кафедры Строительства Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Сочинский государственный университет" (СГУ)

### **Иваненко Николай Алексеевич**

канд. техн. наук, доцент кафедры Строительства Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Сочинский государственный университет" (СГУ)

### **Колесников Алексей Викторович**

технический директор ООО «ЛИРА софт»

### **Semenov Stanislav Yuryevich**

CEO of "Seismoisolatzia" R&D Company, Senior Lecturer at the Department of Industrial and Civil Engineering, Sochi State University, Russia

### **Ivanenko Nikolay Alekseyevich**

PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Industrial and Civil Engineering, Sochi State University, Russia

**Kolesnikov Alexey Viktorovich** - GEO of "Lira-soft", Russia

## **DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-47-48**

Кинематическая система сейсмоизоляции зданий применяется на территории большого Сочи уже более 15 лет. Построено и введено в эксплуатацию 5 зданий этажностью от 5 до 17 этажей. Эти здания побывали в условиях относительно небольших, интенсивностью порядка 4.5 балла (МСК-64), землетрясений.

В настоящее время ведётся строительство 14-ти этажное здание в посёлке Хоста и 12-ти этажный жилой дом в центре г. Сочи.

Приостановлено строительство из-за финансовых сложностей 27-ми этажного дома на улице Бамбуковая и комплекса 2-х этажных блокированных домов на улице Коммунаров.

Подготовлена проектная документация, прошедшая экспертизу:

6-ти этажный Жилой комплекс на улице Лесная;

6-ти этажный жилой дом на улице Петрозаводская;

10-ти этажный жилой дом в поселке Лазаревское на улице Павлова;

12-ти этажный дом на улице Пионерская;

7-ми этажный кирпичный дом в городе Славянск на Кубани.

Применение кинематической системы сейсмоизоляции из-за отсутствия стен и перегородок в сейсмоизолирующем поясе позволило разместить в подвальном (цокольном) этаже полноценный паркинг для легкового транспорта жителей. В уровнях первого, а в отдельных домах и на втором этаже разместить просторные помещения для торговых и

офисных помещений. В ряде проектов применение сейсмоизоляции позволило увеличить расчетную этажность.

Практически на всех объектах получен осязаемый экономический эффект.

На всех построенных и строящихся объектах кинематическая система сейсмоизоляции проверяется на расчетную работоспособность.

Наработанная экспериментальная практика позволяет в широком диапазоне регулировать интенсивность горизонтальных сейсмических воздействий на сейсмоизолированную часть здания. При наличии на участке строительства синтезированных акселерограмм и сейсмограмм вычисляются расчетные акселерограммы и сейсмограммы сейсмоизолированной части здания. Примеры полученных диаграмм приведены в докладе.

В целях минимизации трудоёмкости вычислений в настоящее время ведется совместная работа по отработке наработанного опыта в программном расчетном программном комплексе ЛИРА 10.8. Информация об этом представляется в отдельном докладе.

Kinematic base isolation has been used in Sochi, Russia, for more than 15 years. So far 5 buildings, from 5-floors to 17 floors, are built and commissioned. These buildings have successfully withstand some mild earthquakes, intensity of about 4.5, MSK-64 scale.

Another two buildings are under construction: 14-floor building in Khosta district of Sochi, and 12-floor apartments building in downtown.

Development of 27-floor building in Bambukovaya St., and apartment complex of 2-floor buildings in Kommunarov St. are halted due to business reasons.

Project documentation has passed government technical assessment for the following projects:

- 6-floor apartment complex in Lesnaya St;
- 6-floor apartment building in Petrozavodskaya St.;
- 10-floor apartment building in Lazarevskoye district of Sochi, Pavlova St.;
- 12-floor building in Pionerskaya St.;
- 7-floor brick building in Slavyansk, Krasnodar region.

Applying kinematic base isolation has allowed to use building basements as spacious auto parkings, as kinematic base isolation does not rely on walls or similar constructions. Ground floors, and sometimes first floors were designed as commercial or office areas. In several projects applying kinematic base isolation also allowed to increase number of total floors in the building.

Applying kinematic base isolation delivered business benefits on all projects.

Every construction built with kinematic base isolation in Sochi is field-tested.

So far we've collected significant experience and field tests data to predict and control horizontal seismic impact on the buildings with kinematic base isolation systems. We can compute predicted motions of the building due to the earthquake. Examples of actual field test data provided in the report.

Our priority is to simplify applications of kinematic base isolation, so we work with "Lira-soft" company, developers of "Lira 10.8" CAD software, to implement kinematic base isolation design in future versions of Lira CAD. There's a talk at this Conference to cover our joint project in details.

## **РАБОТА КИНЕМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ КУРЗАНОВА-СЕМЕНОВА ПРИ РЕАЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ НА ОСНОВЕ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЗДАНИЙ**

## **WORK OF KINEMATIC SYSTEMS OF SEISMOISOLATION OF KURZANOV-SEMYONOV AT REAL EARTHQUAKES ON THE BASIS OF FIELD TESTS OF BUILDINGS**

### **Иваненко Николай Алексеевич**

канд. техн. наук, доцент кафедры Строительства Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Сочинский государственный университет" (СГУ)

### **Семенов Станислав Юрьевич**

генеральный директор ООО «СЕЙСМОИЗОЛЯЦИЯ», старший преподаватель кафедры Строительства Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Сочинский государственный университет" (СГУ)

### **Папов Беслан Кушукевич**

канд. техн. наук, доцент кафедры Строительства Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Сочинский государственный университет" (СГУ)

### **Колесников Алексей Викторович**

технический директор ООО «ЛИРА софт»

### **Ivanenko Nikolay Alekseyevich**

Cand. Tech.Sci., the associate professor Stroitelstva of Federal state-funded educational institution of the higher education Sochi State University (SSU)

### **Semyonov Stanislav Yuryevich**

CEO of research and production implementation "Yug", the senior teacher (in combination) of department of Construction of Federal state-funded educational institution of the higher education Sochi State University (SSU)

### **Papov Beslan Kushukovich**

Cand.Tech.Sci., the associate professor Stroitelstva of Federal state-funded educational institution of the higher education Sochi State University (SSU)

### **Kolesnikov Alexey**

CTO of «LIRA soft» Ltd

**Аннотация.** На основе экспериментальных данных, полученных в ходе испытания реальных зданий с кинематическими опорами на статические и динамические нагрузки, разработана методика расчета зданий с использованием реальных или синтезированных акселерограмм.

**Abstract.** On the basis of the experimental datas obtained during test of real buildings with kinematic support on dead and inertial reaction the method of calculation of buildings with use of the real or synthesized accelerograms is developed.

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-49-50**

Применение систем сейсмоизоляции при строительстве зданий и сооружений в сейсмических районах позволяет значительно снизить усилия от сейсмического воздействия, что позволяет сократить расход материалов, а в некоторых случаях дает и саму возможность строительства конкретных высотных и тяжело нагруженных зданий и сооружений. В настоящее время, из рекомендованных в СП 14.13330.2018 (приложение В) сейсмоизолирующих элементов, наибольшее распространение получили эластомерные опоры

со свинцовыми сердечниками и без них. Однако высокая цена, отсутствие изделий отечественного производства и ограниченный срок службы сдерживают их применение.

Кинематические системы сейсмоизоляции имеют ряд неоспоримых преимуществ: относительно невысокая цена опоры, возможность производства на отечественных предприятиях, практически неограниченный срок службы. Однако широкое внедрение кинематических систем сдерживается недостаточно хорошей изученностью их работы в реальных сейсмических условиях.

В г. Сочи РФ в настоящее время построено несколько зданий с применением кинематических систем сейсмоизоляции Курзанова-Семенова. Перед сдачей зданий в эксплуатацию и во время строительства проводились натурные статические и динамические испытания.

Статические испытания зданий с кинематическими системами заключаются в приложении к надземной изолированной части здания непрерывно возрастающей статической нагрузки и записи перемещений при прямом и обратном ходе нагрузки (нагрузка – разгрузка). Полученные экспериментальные графики зависимости нагрузка – перемещения напоминают петлю гистерезиса. Анализ экспериментальных данных статических испытаний и их аппроксимация позволили получить аналитические кривые в виде полиномов. Используя данные натурных испытаний реальных зданий получены устойчивые зависимости горизонтальных сил и ускорений от амплитуды смещения сейсмоизолированной части здания относительно основания и геометрических характеристик элементов конструкции сейсмоизоляции.

Динамические испытания как частный случай реальных землетрясений производились путем смещения сейсмоизолированной части здания относительно основания на заданную расчетную величину с последующим мгновенным сбросом. Это позволяло получить и проанализировать собственную частоту колебаний сейсмоизолированной части здания относительно основания, время колебаний, фактический коэффициент затухания и весь спектр ускорений с которыми происходили перемещения сейсмоизолированной части здания на протяжении всей продолжительности эксперимента.

На основе анализа полученных зависимостей и закономерностей, полученных при статических и динамических натурных испытаниях получена математическая модель поведения сейсмоизолированной части здания относительно условно неподвижной точки земной поверхности и относительно фактического местоположения основания в процессе землетрясения в любой интересующий нас момент времени.

Имея синтезированные акселерограммы и сейсмограммы на конкретном строительном участке, которую получают при проведении сейсмомикрорайонирования, разработанная методика расчета и составленная расчетная программа позволяет вычислить и построить ожидаемые акселерограммы и сейсмограммы низа сейсмоизолированной надземной части здания (он же верхний пояс кинематической системы сейсмоизоляции). Полученные акселерограммы можно использовать для расчета надземной сейсмоизолированной части здания с помощью известных программных комплексов.

Одним из таких комплексов можно назвать ПК ЛИРА 10.8, в котором реализован метод конечных элементов. При моделировании сейсмоизоляторов кинематического характера можно использовать действительные диаграммы работы, полученные по результатам экспериментальных исследований. При этом сейсмическое воздействие рекомендуется задавать в виде сейсмограммы в уровне фундамента – при таком подходе можно оценить работу сейсмоизоляторов в графиках Сила-Перемещение, а также в виде снижения ускорений (а следовательно и инерционной нагрузки) на верхнюю часть сооружения.

# **АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК, ОПТИМИЗАЦИЯ, ТЕСТИРОВАНИЕ И ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ИННОВАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ 3D СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ ФУНДАМЕНТА ДЛЯ ВАЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

## **Костарев В. В.**

директор ЦВС, эксперт МАГАТЭ, член Научного Совета МАГАТЭ по внешним воздействиям, член комитета международных ядерных стандартов ASME, к.т.н. «ЦКТИ-Вибросейсм» (ЦВС), Санкт-Петербург, Россия.

## **Васильев П.С.**

«ЦКТИ-Вибросейсм» (ЦВС), Санкт-Петербург, Россия.

## **Вайндрах М.В.**

«ЦКТИ-Вибросейсм» (ЦВС), Санкт-Петербург, Россия.

## **Навроцкий П.**

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-51-51**

Большинство новых строящихся атомных электростанций (АЭС) расположены в зонах высокой сейсмичности с максимальными ускорениями грунта (ПУГ) более 0,3g для условий максимального проектного землетрясения (МРЗ) с повторяемостью один раз в 10000 лет на реактор в год. Принимая во внимание новые требования Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) и национальных ядерных органов в отношении ядерной безопасности АЭС, а также опыт, полученный в результате аварий на АЭС Кашивадзаки и Фукусима, подвергшихся сильным землетрясениям с ПУГ 0,5-0,6g, сейчас необходимо доказать сейсмическую безопасность АЭС при интенсивности землетрясения, в 1,4-1,67 раза превышающего уровень МРЗ. Таким образом, требования к сейсмостойкости АЭС, в некоторых случаях, возрастают до значений пикового ускорения грунта 0,5-0,8g.

Строительство АЭС для таких интенсивных сейсмических воздействий по обычной технологии приводит к существенному увеличению затрат - до 20% от общей стоимости АЭС, что примерно соответствует 1 млрд. долларов дополнительных вложений, а также ставит под сомнение саму возможность достижения установленных пределов и критериев ядерной безопасности по частоте повреждений активной зоны ядерного реактора (ЧПЗ).

Альтернативный подход заключается в использовании систем сейсмоизоляции (СИС) для зданий АЭС, связанных с безопасностью, что делает возможным резкое снижение сейсмического отклика сооружений и размещенного в нем оборудования и повышение их безопасности при сильных землетрясениях.

Настоящий доклад посвящен проектированию системы пространственной 3D сейсмоизоляции, имеющей название Контроль Сейсмических Перемещений (СИС КСП) на основе оптимизационного процесса. В докладе рассматриваются проблемы проектирования оптимальной СИС с учетом особенности входного сейсмического воздействия, конструкции здания и грунтового основания. Рассмотрены результаты натурных испытаний элементов СИС КСП, в том числе, на уникальном стенде натурных исследований СИСТ в Санкт-Петербурге, а также влияния СИС КСП на вероятностную оценку сейсмической безопасности АЭС и экономическую эффективность сооружения блока АЭС с СИС.

Ключевые слова: 3D сейсмоизоляция, оптимизация, анализ, безопасность, натурные испытания

## РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ НОВЫХ НОРМ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН СП РК 2.03-30-2017 «СТРОИТЕЛЬСТВО В СЕЙСМИЧЕСКИХ ЗОНАХ»

Ицков И.Е.

К.т.н., АО «КазНИИСА». Алматы, Республика Казахстан

DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-52-55

В докладе рассматриваются некоторые особенности СП РК 2.03-30-2017, связанные с определением расчетных сейсмических воздействий и нагрузок на здания и сооружения, а также с проверками их регулярности в плане и по высоте. The report discusses some of the features of СП РК 2.03-30-2017 related to the definition of seismic actions and loads on buildings and structures, as well as checks of their regularity in the plan and in height. Сейсмическая опасность территории РК характеризуется в СП РК 2.03-30-2017 комплектом карт общего сейсмического зонирования, имеющих вероятностную основу. Разработка комплекта карт ОСЗ РК была выполнена ТОО «Институт сейсмологии» по техническому заданию и при сопровождении АО «КазНИИСА». Правила применения карт ОСЗ при проектировании зданий и сооружений были разработаны АО «КазНИИСА». Комплект карт общего сейсмического зонирования территории РК содержит: – карты ОСЗ-1475 и ОСЗ-2475, отражающие 10 % вероятность возможного превышения в течение 50 лет указанных на них значений сейсмической интенсивности (средний период повторяемости таких сотрясений 475 лет); – карты ОСЗ-12475 и ОСЗ-22475, отражающие 2 % вероятность возможного превышения в течение 50 лет указанных на них значений сейсмической интенсивности (средний период повторяемости таких сотрясений 2475 лет). На картах ОСЗ-1475 и ОСЗ-12475 сейсмическая опасность территории характеризуется изолиниями с референтными значениями (в долях g) горизонтальных пиковых ускорений  $a_{gR(475)}$  и  $a_{gR(2475)}$ , относящимися к скальным геологическим формациям. На картах ОСЗ-2475 и ОСЗ-22475 выделены зоны, в пределах которых сейсмическая опасность условно принята постоянной и характеризуется целочисленными баллами, отнесенными к «средним» грунтовым условиям по сейсмическим свойствам. При отсутствии карт микросейсмического зонирования карты ОСЗ-1 и ОСЗ-2 могут применяться для определения сейсмической опасности площадок строительства.

В этом случае сейсмическая опасность площадки строительства в ускорениях  $a_{g(475)}$  и  $a_{g(2475)}$  определяется с помощью следующих выражений:

$$a_{g(475)} = a_{gR(475)} \times S(a_{gR(475)}) \times S_T \quad (1); \quad a_{g(2475)} = a_{gR(2475)} \times S(a_{gR(2475)}) \times S_T \quad (2);$$

где  $S(a_{gR(475)})$  и  $S(a_{gR(2475)})$  – коэффициенты, характеризующие влияние грунтовых условий площадки на интенсивность сейсмических воздействий (см. табл. 1);

$S_T$  – коэффициент, учитывающий топографические эффекты усиления сейсмических воздействий на площадке строительства.

Расчетное значение ускорения  $a_g$  (в долях g) на площадке строительства определяется с помощью выражения (3):

$$a_g = \max\{a_{gR(475)} \text{ или } (2/3) \cdot a_{gR(2475)}\} \quad (3)$$

**Таблица 1 – Значения коэффициентов  $S(a_{gR(475)})$  и  $S(a_{gR(2475)})$**

<b>Типы грунтовых условий по сейсмическим свойствам (скорости поперечных волн в поверхностных толщах грунтов)</b>	<b>Значения коэффициентов <math>S(a_{gR(475)})</math> и <math>S(a_{gR(2475)})</math> в зависимости от величин <math>a_{gR(475)}</math> и <math>a_{gR(2475)}</math></b>
IA ( $v_{s,30} \geq 800$ м/с)	1,0
IB ( $v_{s,10} \geq 350$ м/с, $550 \leq v_{s,30} < 800$ м/с)	$1,0 \leq (1,4 - a_{gR}/g) \leq 1,2$
II ( $230 \leq v_{s,10} < 350$ м/с, $270 \leq v_{s,30} < 550$ )	$1,1 \leq (2,0 - 2,5 \cdot a_{gR}/g) \leq 1,6$
III ( $v_{s,10} < 230$ м/с, $v_{s,30} < 270$ м/с)	$1,3 \leq (2,5 - 3,0 \cdot a_{gR}/g) \leq 2,4$

Сейсмические воздействия на площадке строительства характеризуются спектрами реакций в ускорениях.

Для горизонтальных компонент сейсмического воздействия спектр расчетных реакций  $S_d(T)$  следует определять с помощью выражений (4) и (5):

$$0 \leq T \leq T_C: S_d(T) = a_g \cdot \frac{2,5}{q} \quad (4), \quad T \geq T_C: S_d(T) = a_g \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right], \text{ но не менее } \beta \cdot a_g \quad (5),$$

где  $T_C$  – максимальное значение периода на постоянном участке графика спектральных ускорений  $S_d(T)$ , принимаемое в соответствии с данными таблицы 2;

$T$  – период колебаний линейного осциллятора в горизонтальном направлении;

$q$  – коэффициент поведения (значения  $q$  являются обратными значениями коэффициента редукиции  $k_2$ , принятого в ранее действовавших нормах;  $q=1/k_2$ );

$\beta$  – показатель нижней границы спектра, принимаемый 0,2.

Для вертикальных компонент сейсмических воздействий спектр расчетных реакций  $S_{dv}(T)$  следует определять с помощью выражений (6) и (7):

$$0 \leq T_v \leq T_{Cv}: S_{dv}(T) = a_{gv} \cdot \frac{2,25}{q} \quad (6); \quad T_{Cv} \leq T_v \leq 2,0 \text{ сек}: S_{dv}(T) = a_{gv} \cdot \frac{2,25}{q} \cdot \left[ \frac{T_{Cv}}{T_v} \right]^k \quad (7);$$

где  $T_{Cv}$  – максимальное значение периода на постоянном участке графика спектральных ускорений  $S_{dv}(T)$ , принимаемое 0,2 секунды;

$T_v$  – период колебаний линейного осциллятора в вертикальном направлении;

$k$  – показатель степени, принимаемый в соответствии с данными таблицы 3;

$a_{gv}$  – расчетное вертикальное ускорение на площадке строительства (таблица 4);

$q_v$  – коэффициент поведения, значение которого всегда следует принимать 1,5.

**Таблица 2 – Значения периодов  $T_C$**

<b>Типы грунтовых условий</b>	<b>Значения <math>T_C</math>, сек</b>
IA и IB	0,48
II	0,72
III	0,96

**Таблица 3 – Значения  $k$**

Типы грунтовых условий	Значения $k$
IA и IB	0,60
II	0,45
III	0,35

**Таблица 4 – Отношения значений  $a_{gv}$  и  $a_g$**

Типы грунтовых условий	Отношения $a_{gv}/a_g$ при значениях $a_g$		
	$a_g \leq 0,12g$	$0,12g < a_g \leq 0,4g$	$a_g > 0,4g$
IA, IB, II и III	0,7	0,8	0,9

Расчетные сейсмические нагрузки на проектируемые объекты определяются с учетом ответственности этих объектов, регулярности их конструктивных схем в плане и по высоте, а также сопротивляемости кручению в плане.

В СП РК 2.03-30-2017 здания подразделяются по ответственности:

- в зависимости от функционального назначения – на четыре класса;
- в зависимости от этажности – на пять классов.

Каждому сочетанию классов ответственности зданий по назначению и этажности в СП РК 2.03-30-2017 присвоены соответствующие значения коэффициентов ответственности, учитываемые при определении расчетных сейсмических нагрузок.

Конструктивные схемы классифицированы в СП РК 2.03-30-2017 по регулярности в плане и по высоте на три типа – регулярные, умеренно нерегулярные и чрезмерно нерегулярные, а по сопротивляемости кручению на два типа – обладающие адекватной жесткостью на кручение в плане и крутильно-податливые в плане.

Принятая система классификации основывается на совокупности признаков, качественно и количественно характеризующих конструктивные системы:

- по особенностям конфигураций в плане и/или по высоте;
- по сбалансированности распределения масс и жесткостей в плане; – по особенностям распределения масс и жесткостей по высоте;
- по способности перекрытий выполнять функции горизонтальных диафрагм жесткости.

Классификация конструктивных систем по регулярности в плане и по высоте и по сопротивляемости кручению имеет значение для аспектов проектирования, связанных с выбором значений:

а) коэффициента  $f_{vk}$ , повышающего расчетные эффекты сейсмических воздействий в конструкциях тех этажей, которые, из-за резкого увеличения массы или уменьшения жесткости, нарушают однородность конструктивной схемы по высоте;

б) случайных эксцентриситетов  $e_{ak}$ , учитываемых при определении эффектов кручения здания в плане, обусловленного пространственными вариациями сейсмического движения, неопределенностями в расположении масс и последствиями проявления различного рода нелинейных эффектов;

в) коэффициента поведения  $q$  для крутильно-податливых в плане конструктивных систем, под которыми понимаются системы, у которых первая форма колебаний является крутильной в плане, и для чрезмерно нерегулярных конструктивных систем.

При выполнении расчетов зданий и сооружений с учетом их взаимодействия с грунтовым основанием параметры эквивалентной упругой жесткости грунтов допускается определять с использованием:

а) экспериментальных данных о скоростях распространения упругих волн в слоях грунта, расположенных ниже подошвы фундаментов;

б) корреляционных эмпирических связей физико-механических свойств грунтов при статических нагружениях со скоростями распространения в грунтах упругих волн.

При учете взаимодействия здания или сооружения с грунтовым основанием по пункту б) предлагается:

– в качестве базового параметра эквивалентной упругой жесткости грунта принимать значение его модуля деформаций, определенное по результатам статических испытаний, но увеличенное в 10 раз;

– применять две расчетные модели здания или сооружения, в одной из которых базовая эквивалентная жесткость основания должна быть увеличена в 1,5 раза, а в другой – уменьшена в 1,5 раза.

– принимать во внимание наибольшие значения сейсмических эффектов, полученные с применением двух расчетных моделей.

Следует отметить, что оценки сейсмической опасности строительных площадок в баллах не принимаются во внимание при определении расчетных сейсмических воздействий, но учитываются при назначении конструктивных мероприятий, соблюдаемых вне зависимости от результатов расчетов проектируемых объектов.

**СЕЙСМОЗАЩИТА МЕЧЕТИ ИМ. ПРОРОКА МУХАММАДА В ГОРОДЕ  
МАХАЧКАЛА  
SEISMIC PROTECTION OF THE MOSQUE NAMED AFTER MUHAMMAD THE  
PROPHET IN THE CITY OF MAKHACHKALA**

**Уздин А.М.**

д.т.н., профессор, профессор, ПГУПС, uzdin@mail.ru

**Шульман С.А.**

генеральный директор, «СК Стройкомплекс -5», stanislav@stroycomplex-5.ru

**Нестерова О.П.**

ассистент, СПбГАСУ, neona975@yandex.ru

**Uzdin A.M.**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, PGUPS, uzdin@mail.ru

**Shul`man S.A.**

general Director, «SK Stroi`kompleks -5», stanislav@stroycomplex-5.ru

**Nesterova O.P.**

ассистент, SPbGASU, neona975@yandex.ru

**Аннотация.** Рассмотрены особенности обеспечения сейсмозащиты мечети, сооружаемой в г. Махачкала и рассчитанной на 50000 молящихся. Отмечается неудачный проект сооружения, использующий опирание тяжелой надстройки на высокие колонны. Повреждения сооружения начинаются с образования пластических шарниров по торцам колонн, что неизбежно приведет к обрушению надстройки, как это было со зданиями с гибким нижним этажом. Предлагается упруго-фрикционное соединение надстройки с колоннами. При этом перемещения верха колонн ограничиваются так, чтобы исключить их обрушение под весом здания. Рассматриваются вопросы задания расчетного воздействия и схемы устройств гашения сейсмических колебаний и перераспределения усилий в системе.

**Ключевые слова:** мечеть, сейсмостойкость, сейсмозащита

**Abstract.** The features seismic protection designing of the mosque in the city of Makhachkala, intended for 50.000 worshipers, are considered. Some disadvantages of the project are noted, such as the use of heavy superstructure supported by tall columns. Structural damages begin with the formation of plastic hinges at the column edges, which will inevitably lead to the collapse of the superstructure, as was the case with buildings with a flexible lower floor. An elastic-friction connection of the superstructure with columns is proposed. In the proposed system the movements of the column tops are limited so as to prevent columns collapse under the weight of the superstructure.

**Keywords:** mosque, seismic resistance, seismic protection

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-56-57**

В Дагестане в городе Махачкала начато строительство мечети, вместимостью до 50 тысяч человек, которая должна стать одной из самых крупных в Европе. Конструкция мечети представляет собой двухъярусную систему. Нижний, фундаментный ярус выполнен по проекту в виде сплошной железобетонной плиты. Верхний ярус также представляет собой массивную плиту, опирающуюся на нижний ярус с помощью колонн высотой от 14 до 19 м и диаметром 0.9 м. Мечеть расположена в высокосейсмичном районе с ситуационной сейсмичностью  $I_A = 8$ ,  $I_B = 9$  и  $I_C = 10$  баллов.

По принципу работы при землетрясениях конструкция мечети аналогична известным сооружениям с гибким нижним этажом, которые разрушились при землетрясениях в

Бухаресте, Скопие и Мехико. Причина разрушения хорошо известна. Высокие гибкие колонны при сейсмическом воздействии получают большие смещения, приводящие к появлению большого момента, вызванного весом тяжелого второго этажа. По расчетам авторов такое обрушение должно произойти при силе воздействия более восьми баллов. Для исключения обрушения мечети и гибели большого количества людей необходимо проведения антисейсмических мероприятий, которые рассматриваются в докладе.

Учитывая высокую ответственность проектируемого сооружения, связанную с гибелью большого числа людей, необходим анализ сценариев накопления повреждений и обеспечение заданных предельных состояний при землетрясениях различного уровня, как это производится в настоящее время во многих современных нормах. При этом представляется необходимым выделить три основные особенности проектирования мечети.

1. Установление приемлемой вероятности повреждений различного уровня.
2. Оценка возможных сочетаний наполненности мечети и силы сейсмического воздействия.
3. Оценка уровня нагрузки, которая может нарушить штатный режим проведения службы и привести к панике среди присутствующих.

Для исключения тех или иных предельных состояний довольно сложно обойтись традиционными методами усиления, и возникает необходимость привлечения систем сейсмогашения и сейсмоизоляции. Однако здесь возникают определенные трудности, связанные с тем, что документы разъяснения и толкования Корана рекомендуют применения жестких фундаментов, т.е. не допускают применения сейсмоизоляции. В связи с этим авторы предложили изолировать второй (верхний) этаж мечети в уровне верха колонн. Для этого колонна соединяется с верхним этажом с помощью фрикционной пары. Чтобы смещение верхнего этажа было ограничено, наряду с фрикционной парой устраивается дополнительное упругое (пружинное) соединение колонн с верхним ярусом мечети. Предполагается, что при слабых воздействиях с силой до 6 баллов, силы трения не преодолеваются и пружины не работают. При силе землетрясения от 7 до 9 баллов силы трения преодолеваются, однако нагрузки, передаваемые на колонны, не вызывают их пластического деформирования. Для снижения перемещения крыши на ней дополнительно устанавливаются динамические гасители колебаний (ДГК). При силе воздействия выше 9 баллов в работу должны включаться стопорные устройства, при этом крыша упирается в купольную часть мечети, представляющую собой жесткую цилиндрическую оболочку с куполом, размещенную в центральной части мечети.

УДК 624.042.7

## СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

## STATISTICAL MODELING OF THE EARTHQUAKE INPUT

### **УЗДИН А.М.**

доктор технических наук, профессор кафедры «Механика и прочность материалов и конструкций»  
ФГБОУ ВО Петербургский Государственный Университет Путей Сообщения им. Александра I

### **АБАКАРОВ А.Д.**

доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Архитектура» ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»

### **СМИРНОВА Л.Н.**

кандидат технических наук, ученый секретарь АО «НИЦ «Строительство»

### **СОРОКИНА Г.В.**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Механика и прочность материалов и конструкций»  
ФГБОУ ВО Петербургский Государственный Университет Путей Сообщения им. Александра I

### **ЗАЙНУЛАБИДОВА Х.Б.**

кандидат технических наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»

### **ПРОКОПОВИЧ С.В.**

аспирант кафедры «Механика и прочность материалов и конструкций»  
ФГБОУ ВО Петербургский Государственный Университет Путей Сообщения им. Александра I; инженер III категории, ООО «УК «Современные Мостовые Технологии»

**UZDIN A.**, doctor of technical Sciences, Professor, Department «Strength of materials and structures», Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

**ABAKAROV A.D.**, doctor of technical Sciences, Professor, Department of Architecture, FGBOU Dagestan State Technical University

**SMIRNOVA L.**, candidate of technical sciences, JSC Research Center of Construction

**SOROKINA G.V.**, candidate of technical sciences, Associate professor, Department «Strength of materials and structures», Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

**PROKOPOVICH S.**, engineer, Department «Strength of materials and structures», Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

**ZAYNULABIDOVA H.B.**, candidate of technical sciences, Associate professor, Dagestan State Technical University

**Аннотация.** Основная проблема статистического моделирования сейсмических колебаний – корректное задание исходных акселерограмм. Анализ известных моделей сейсмического воздействия показал ошибочность их использования для анализа сейсмоизолированных систем. Данные статистические модели позволяют получить только достоверные ускорения или только достоверные смещения. Однако и усложненные модельные воздействия не вполне соответствуют реальным землетрясениям. Энергетические характеристики вовсе не

рассматривались в задачах статистического моделирования акселерограмм. Рассмотрена новая модель сейсмического воздействия, включающая в себя случайный импульс. В систему добавлено три параметра: магнитуда  $M_w$ , эпицентральный расстояние  $R$  и момент включения импульса. Варьирование этих параметров в заданных пределах позволяет регулировать дополнительные характеристики воздействия. Приведен пример предлагаемого процесса.

**Abstract.** The main problem of modeling statistical seismic vibrations is correct input accelerogram setting. The analysis of the known seismic input models showed the erroneousness of using them in analyzing seismically isolated systems. These statistical models allow one to obtain either reliable accelerations or reliable displacements. However, complicated input models do not quite correspond to real earthquakes. Energy characteristics were not considered at all in the problems of accelerogram statistical modeling. A new model of seismic input, including a random pulse, has been considered. Three parameters has been added to the input model: the magnitude  $M_w$ , the epicentral distance  $R$ , and the moment when the pulse appears. Varying these parameters within the set limits allows one to adjust additional input characteristics. An example of the proposed process is given.

**Ключевые слова:** автокорреляционная функция, акселерограмма, интенсивность по Ариасу, модель воздействия, сейсмограмма, сейсмоизоляция, случайный импульс, спектр ускорений, спектральная плотность, статистическое моделирование.

**Keywords:** statistical modeling, seismic isolation, accelerogram, seismogram, random pulse, input model, spectral density, autocorrelation function, Arias intensity, acceleration spectrum.

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-58-74**

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие вычислительной техники делает все более доступным статистическое моделирование сейсмических колебаний строительных конструкций. Основная проблема при этом – корректное задание входного процесса, т.е. задание исходных акселерограмм. Одним из направлений статистического моделирования воздействия, предложенном в бывшем СССР академиком В.В.Болотиным [1], является представление расчетной акселерограммы в виде произведения некоторой огибающей  $A(t)$  на стационарный случайный процесс  $\Psi(t)$

$$\ddot{y}_o(t) = A(t) \cdot \Psi(t) \quad (1)$$

В [1] было принято  $A(t) = A_0 ct \cdot e^{-ct}$ , в качестве  $\Psi(t)$  выступал стационарный случайный процесс с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией. В дальнейшем работы В.В.Болотина были развиты М.П.Салгаником [2] и, в особенности, Я.М.Айзенбергом [3] и его учениками [4].

Для характеристики процесса задавалась его автокорреляционная функция или соответствующая спектральная плотность. Обычно случайный процесс принимался в виде отрезка белого шума или процесса с одной преобладающей частотой. В [5] приведено 5 примеров таких процессов. В литературе отмечается 2 недостатка этих процессов. Во-первых, реальные акселерограммы поличастотны. На это обстоятельство обратил внимание еще в 1987 г Б.А.Лапин [6]. Как отмечено в [5], этот недостаток расчетной модели дает результаты в запас прочности. Но кроме указанного недостатка имеется еще один более существенный недостаток, отмеченный в [5] и исключающий возможность применения таких моделей к расчету систем сейсмоизоляции. Рассматриваемые процессы позволяют

получить только достоверные ускорения или только достоверные смещения. Достаточно общий вид автокорреляционной функции для моделирования процесса имеет вид

$$K(\tau) = Qe^{-\alpha\tau} \left( \cos \beta t + \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta t \right) \quad (2)$$

В соответствии с определением автокорреляционной функции процесса  $K(0)$  представляет собой дисперсию случайной функции, т.е. квадрат ее среднего пикового значения. Если относить формулу (2) к смещениям, то  $Q = U_{calc}^2$ , а если относить ее к ускорениям,  $Q = A_{calc}^2$ . Величина  $\beta$  является доминантной частотой модельного воздействия,  $\alpha$  - показатель узкополосности модельного воздействия.

С другой стороны

$$K_{\ddot{y}}(\tau) = \frac{d^4 K_y(\tau)}{dt^4} \quad (3)$$

Нетрудно получить, что в этом случае

$$K_{\ddot{y}}(\tau) = K_y(\tau) \cdot (\alpha^2 + \beta^2)^2 \quad (4)$$

Из (4) следует, что в модельном процессе  $A_{calc} = U_{calc} \cdot (\alpha^2 + \beta^2)$

Если, например, принять  $\beta = 10 \text{ с}^{-1}$ , и  $\alpha = 2 \text{ с}^{-1}$ , то  $U_{calc} \approx 0.01 \cdot A_{calc}$ . и средние пиковые ускорения равными  $4 \text{ м/с}^2$ , то средние пиковые смещения составят всего 4 см, что никак не соответствует реальным 9-балльным воздействиям и не позволяет проводить кинематические расчеты сейсмоизолированных сооружений.

В [5,7] предложен случайный процесс, автокорреляционная функция которого равна сумме двух функций вида (2) с 6 неопределенными параметрами, два из которых  $\beta_1$  и  $\beta_2$  определяют доминантные частоты на акселерограмме и сейсмограмме. Оставшиеся 4 параметра позволяют обеспечить заданные средние пиковые значения ускорения, скорости и смещения.

Однако и усложненные модельные воздействия не вполне соответствуют реальным землетрясениям. Записи реальных акселерограмм характеризуются тремя группами параметров: кинематическими, спектральными и энергетическими. Анализ этих параметров дан в [8]. Их уточнение выполнено на объединенной базе акселерограмм российских и китайских специалистов [9].

К числу кинематических параметров кроме пиковых ускорений скоростей и смещений относятся остаточные смещения и коэффициент гармоничности  $k$

$$k = \frac{\ddot{y}_0^{(max)} \cdot y_0^{(max)}}{(\dot{y}_0^{(max)})^2} \quad (5)$$

В модели [5,7] показатель  $k$  не обеспечивается, а остаточное смещение отсутствует.

Спектральные характеристики обеспечиваются в модели [5,7] заданием двух доминантных частот.

К энергетическим характеристикам относятся

- интенсивность по Ариасу [10]

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^T \ddot{y}_0^2 dt, \quad (6)$$

абсолютная кумулятивная скорость CAV [11]

$$CAV = \int_0^T |\dot{y}_0| dt, \quad (7)$$

плотность сейсмической энергии SED (seismic energy density) [12]

$$SED = \int_0^T \dot{y}_0^2 dt. \quad (8)$$

Энергетические характеристики вовсе не рассматривались в задачах статистического моделирования акселерограмм.

В силу сказанного существующие методы генерации, обеспечивая частично кинематические и спектральные характеристики воздействия, не рассматривают другие характеристики, которые получаются случайными и не соответствуют реальным акселерограммам. В качестве примера рассмотрим два воздействия.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Первое воздействие сгенерировано по методике [13, 14]. При этом расчётная модель представлена в виде множества нестационарных гауссовских мультипликативных процессов. Каждый элемент этого множества находится в области частот  $\omega_{min} \leq \omega_j \leq \omega_{max}$

$$\Phi(t, \bar{\omega}_j) = A(t, \bar{\omega}_j) \cdot \varphi(t, \omega_j)$$

где  $A(t, \omega_j)$  - огибающая функция, задаваемая при фиксированных значениях  $\omega_j$  в виде импульса Берлага и нормированная так, что  $|A_{max}|=1$ ;

$$A(t, \bar{\omega}_j) = A_j \cdot t \cdot e^{-\varepsilon_j t},$$

$\varphi(t, \omega_j)$  - нормируемый (единичный) стационарный гауссовский процесс, характеризуемый косинус-экспоненциальной корреляционной функцией вида:

$$K(\tau) = e^{-\alpha_j |\tau|} \cdot \cos \omega_j \cdot \tau \quad (2)$$

$$\varphi(t, \omega_j) = \sigma_j^2 \cdot \bar{\varphi}(t, \omega_j),$$

где  $\sigma_j^2$  - дисперсия процесса;  $\bar{\omega}_j$  - преобладающая частота сейсмических колебаний грунтов, приближённо равная доминантной частоте  $j$ -го процесса;

$\alpha_j$  - параметр, характеризующий быстроту убывания корреляционной связи между ординатами случайного процесса при увеличении разности аргументов этих ординат  $\tau$ .

$\varepsilon_j$  - параметр, определяющий форму временной огибающей генерируемого воздействия

Рассматриваемая модель учитывает четыре параметра  $\omega_j$ ,  $\varepsilon_j$ ,  $\alpha_j$  и  $\sigma_j$ . Однако параметры  $\varepsilon_j$ ,  $\alpha_j$  и  $\sigma_j$  - коррелированы с параметром  $\omega$ . В частности,  $\alpha_j = f(\omega_j) = 0,5 \cdot \omega_j$ ;  $\varepsilon_j = 0,05 \cdot \omega_j$

Интенсивность сейсмических колебаний определяется с использованием параметра  $\sigma_j(\omega)$ .

Второе воздействие сгенерировано по методике [7], которая позволяет задать процесс с двумя преобладающими частотами. При этом автокорреляционная функция входного процесса представлена в виде суммы двух составляющих:

$$K_y(\tau) = \sum_{i=0}^1 U_{0i}^2 \cdot e^{-\alpha_i \tau} \left( \cos \beta_i \tau + \frac{\alpha_i}{\beta_i} \sin \beta_i \tau \right) \quad (1)$$

где  $U_i$ ,  $\beta_i$ ,  $\alpha_i$  ( $i=0, 1$ ) – параметры автокорреляционной функции.

Представленная модель сейсмического воздействия имеет две преобладающие частоты, определяемые значениями параметров  $\beta_i$ . Первый максимум на графике спектральной плотности соответствует преобладающему периоду на сейсмограмме, второй максимум – на акселерограмме. Таким образом, воздействие позволяет одновременно получить фактические средние значения ускорения и смещения.

Ниже приведены результаты сравнения двух полученных процессов. Для этого они приведены к одному значению PGA. У них также совпадают преобладающие частоты (периоды). В примере преобладающий период  $T=0.3$  с. Дополнительно во втором воздействии задан второй преобладающий период  $T_2=1.5$  с.

На рис.1 приведены хронограммы сгенерированных воздействий. Они не вызывают вопросов и, представляется, вполне могут быть использованы для расчета. Однако, они сильно различаются по коэффициенту гармоничности, который для первого воздействия превышает 20, а для второго составляет всего 3. Это делает первое воздействие потенциально более опасным.

На рис.2 приведен набор значений характеристик сгенерированных сейсмических воздействий. Здесь уже видно их существенное различие. Интенсивность по Ариасу отличается у них в 2 раза. Для сравнения на рис 4 приведены статистические данные о

величине интенсивности по Ариасу по данным [10]. Приведенные данные указывают на то, что интенсивность по Ариасу для второго процесса заметно превышает среднестатистическую, а для первого наоборот.

По спектру ускорений первый процесс выглядит заметно более опасным (Рис.3). Это же относится и к спектрам смещений (Рис.4) и спектрам работ сил пластического деформирования (Рис. 5). Можно отметить, что пик на спектре смещений второго процесса соответствует заданной величине 1.5 с.

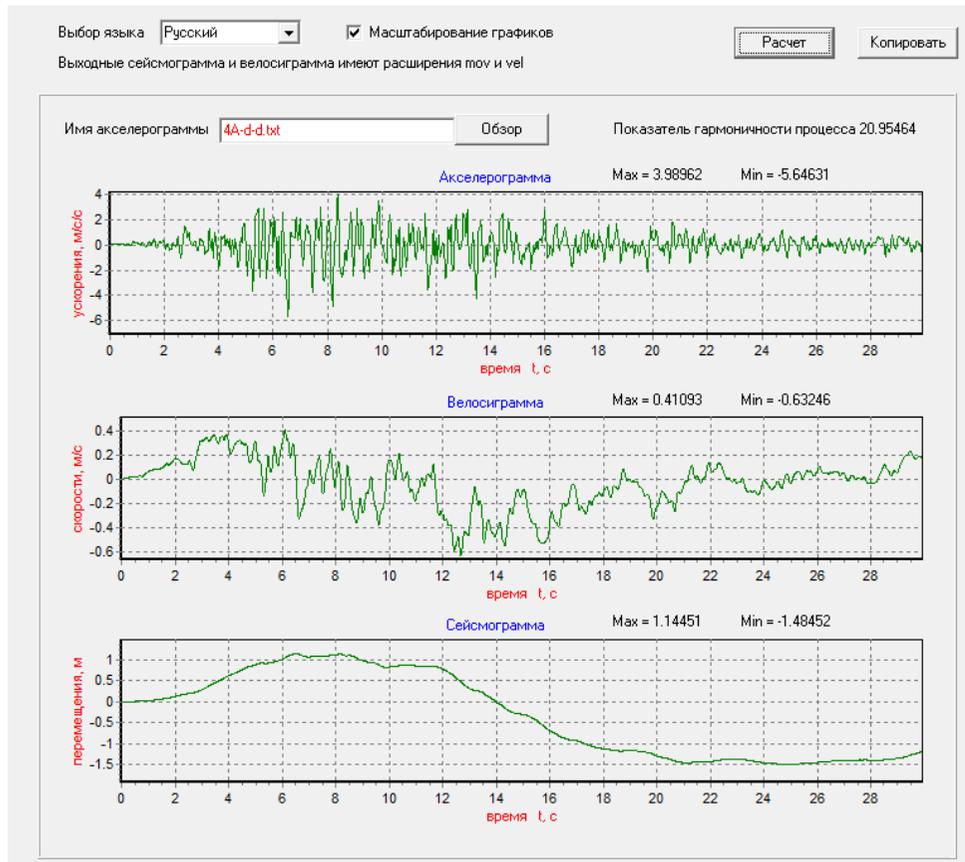


Рис.1. Хронограммы сгенерированных воздействий по методике [13] слева и по методике [7]справа

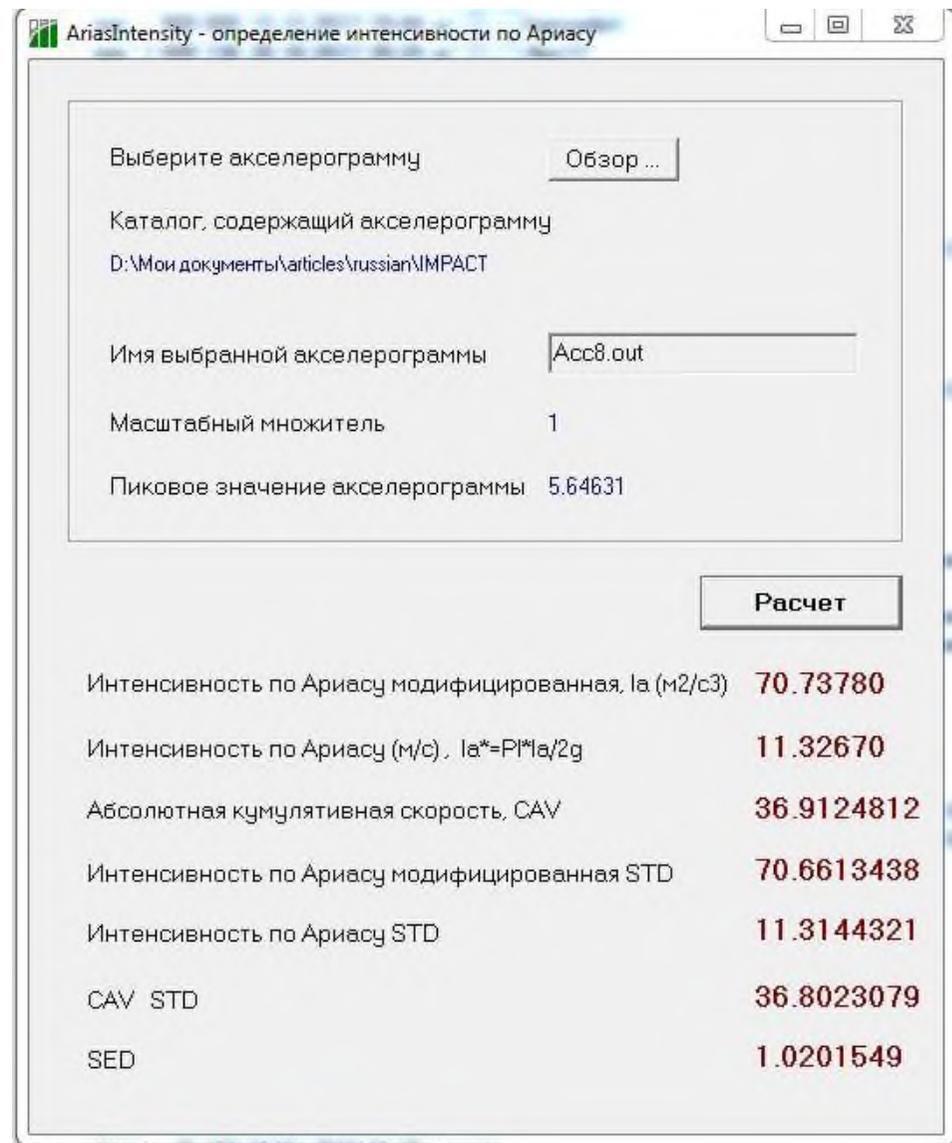
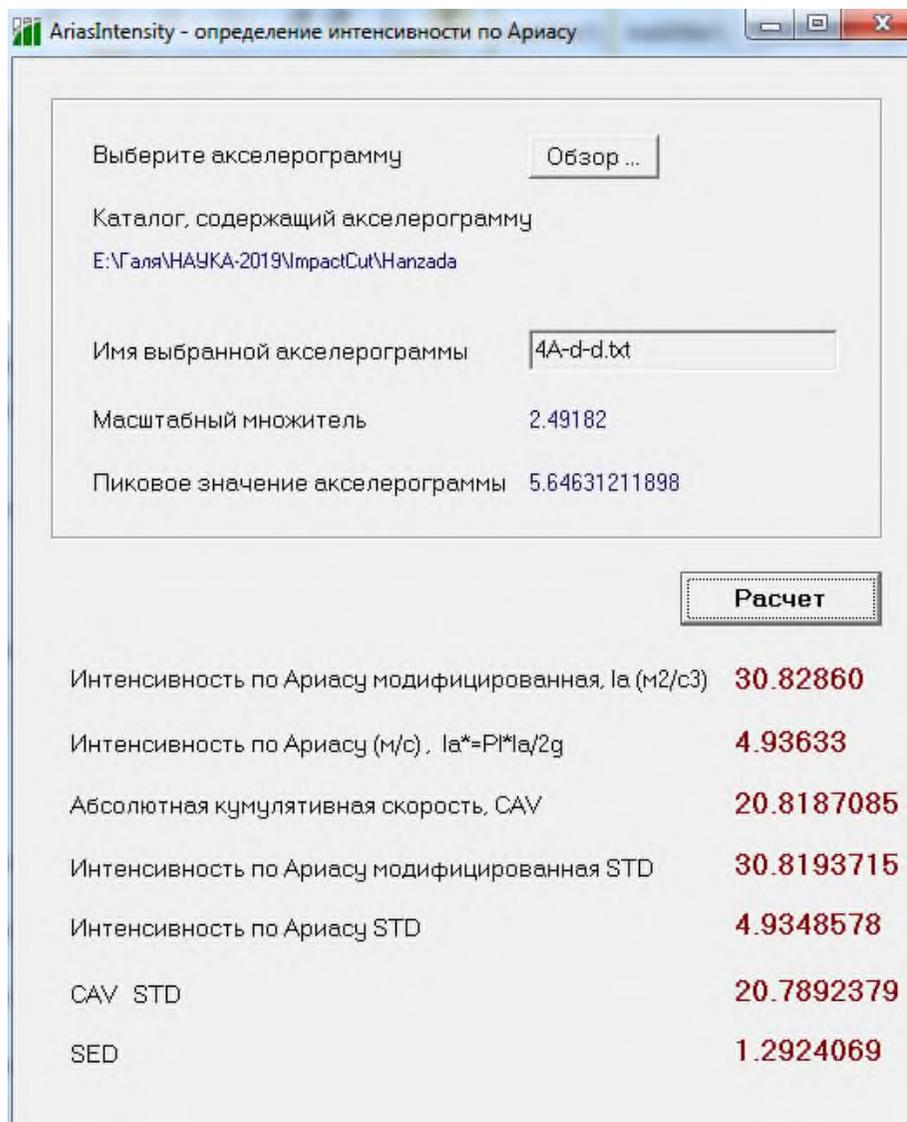


Рис.2. Характеристики сгенерированных воздействий по методике [13] слева и по методике [7] справа

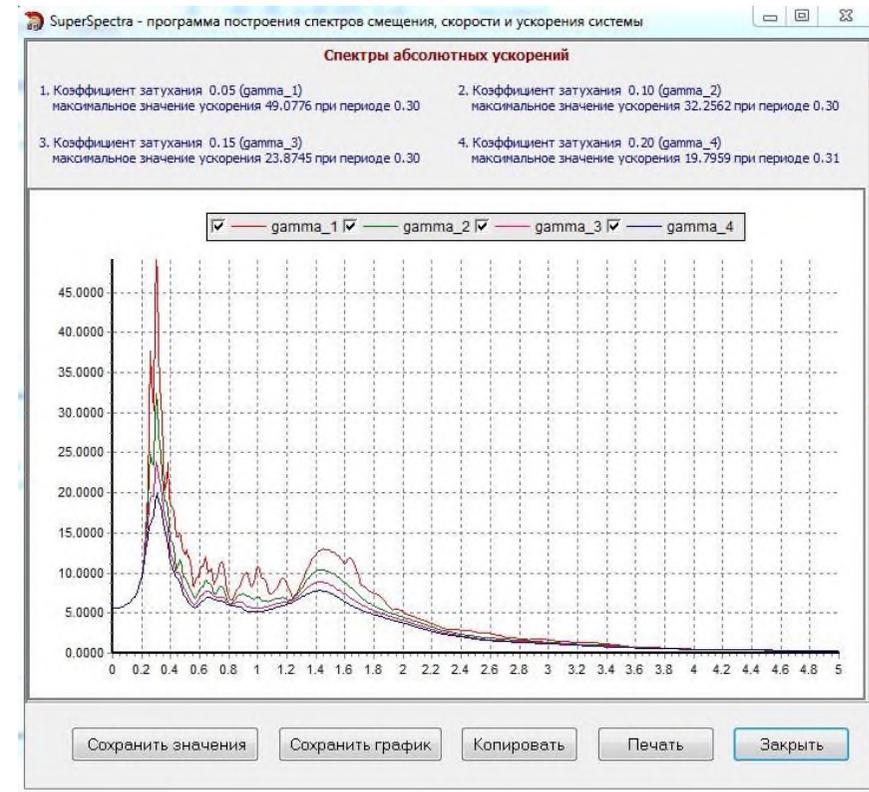
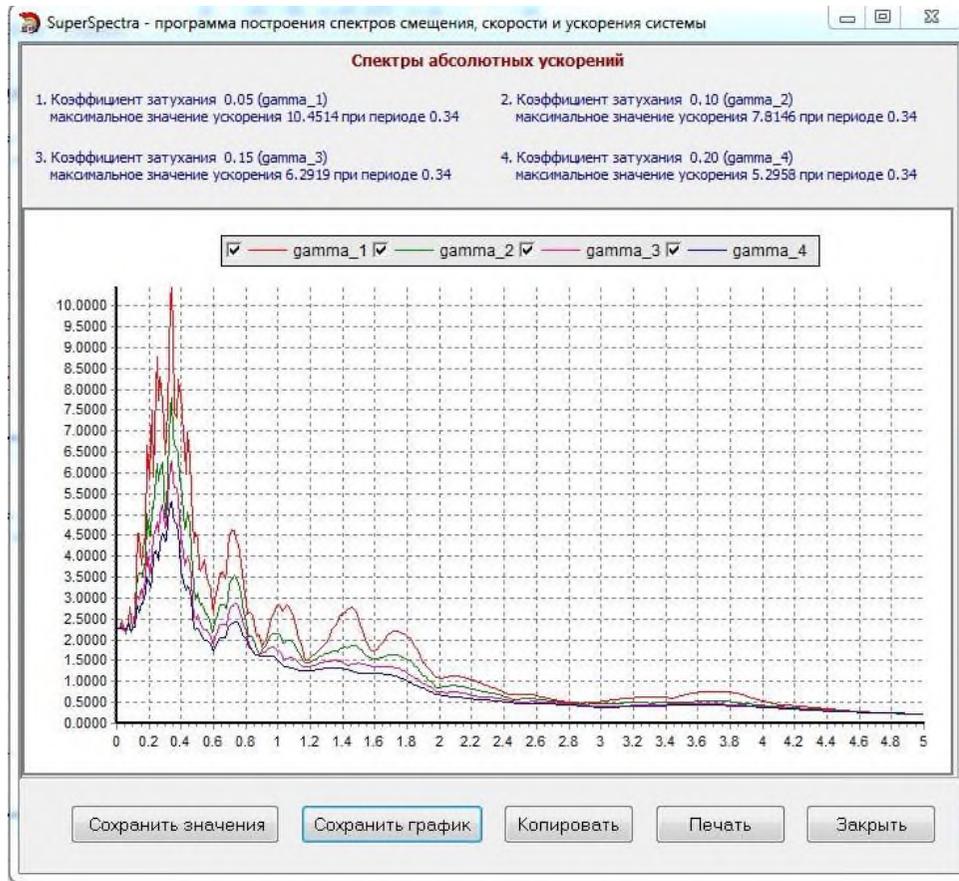
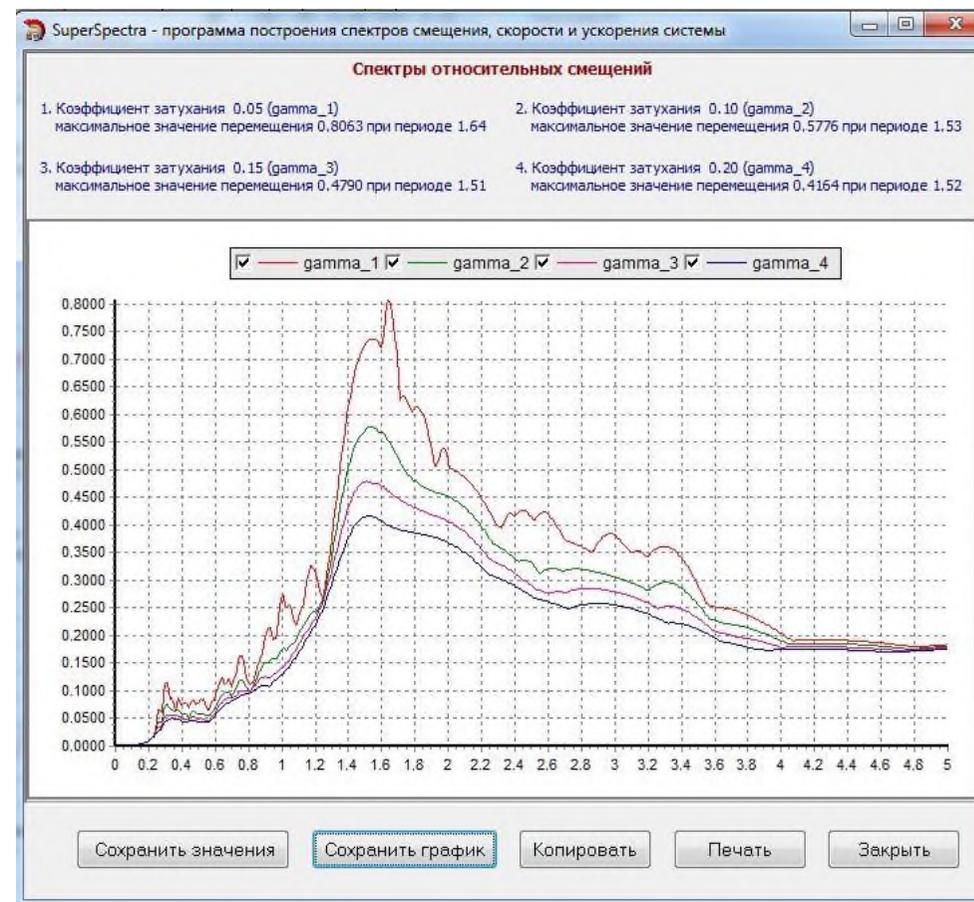
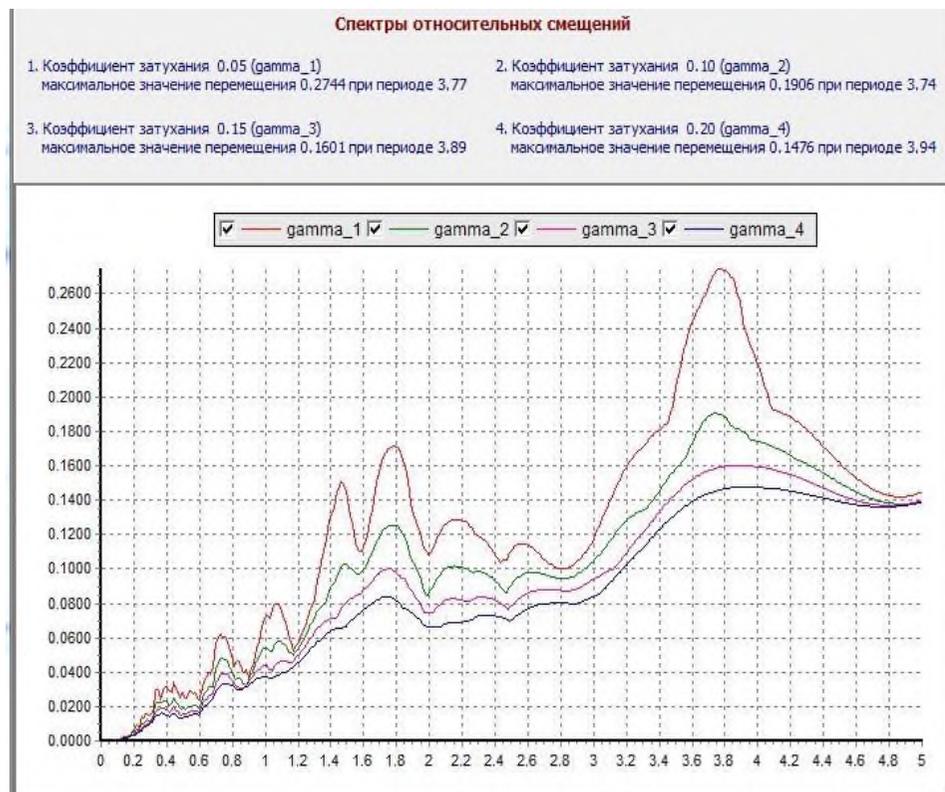


Рис.3. Спектры ускорений сгенерированных воздействий по методике [13] слева и по методике [7]справа



*Рис.4. Спектры смещений сгенерированных воздействий по методике [13] слева и по методике [7] справа*

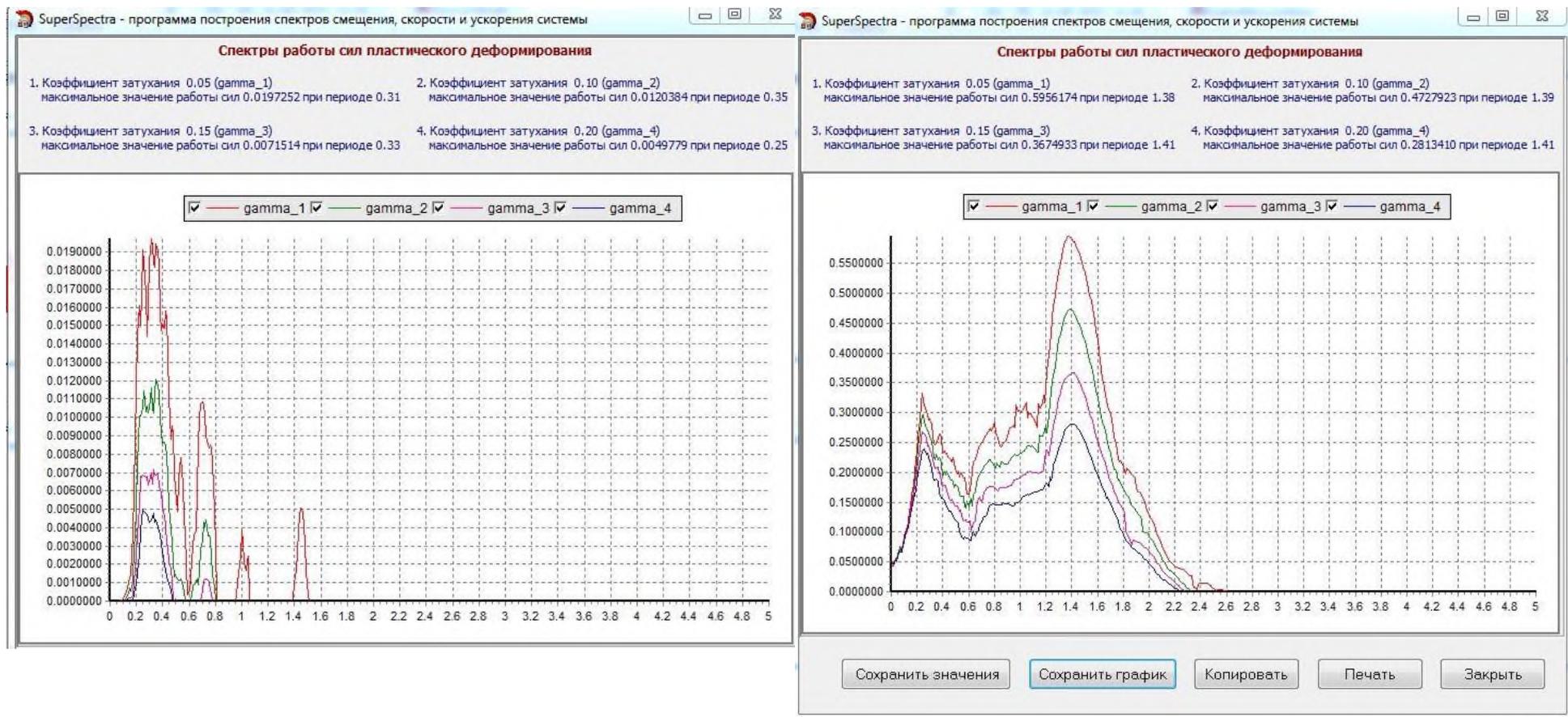


Рис.5. Спектры работ сил пластического деформирования по методике [13] слева и по методике [7]справа

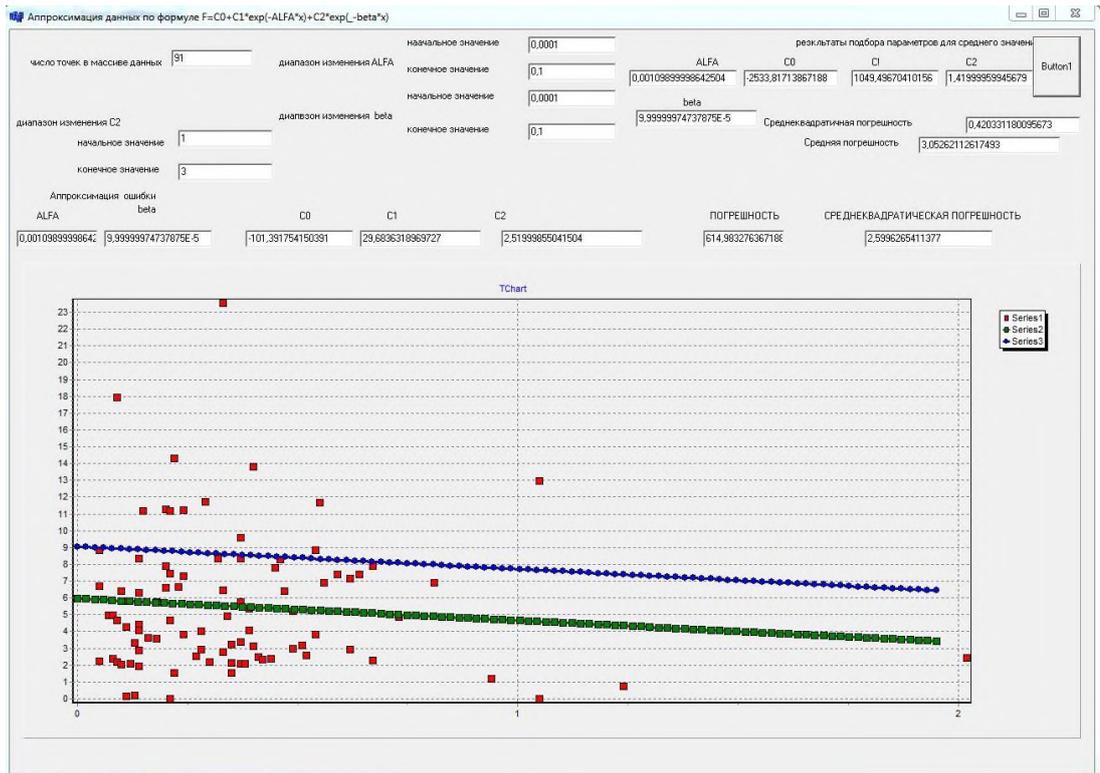


Рис.6. Зависимость интенсивности по Ариасу от преобладающего периода воздействия

Приведенные данные показывают, что существующие модели воздействий очень грубо моделируют реальные землетрясения. Можно сказать, что большинство известных моделей пригодно для силового расчета достаточно жестких систем, в частности, сооружений массового строительства. Модель [7] ориентирована на линейный расчет сейсмоизолированных сооружений. Чтобы учесть дополнительные свойства реальных воздействий необходимо увеличение числа параметров, определяющих модельное воздействие. Достаточно просто и физично дополнить модель воздействия импульсом скорости [15]. В соответствии с [16] импульс скорости и соответствующие ему акселерограмма и сейсмограмма имеют вид, показанный на рис.7.

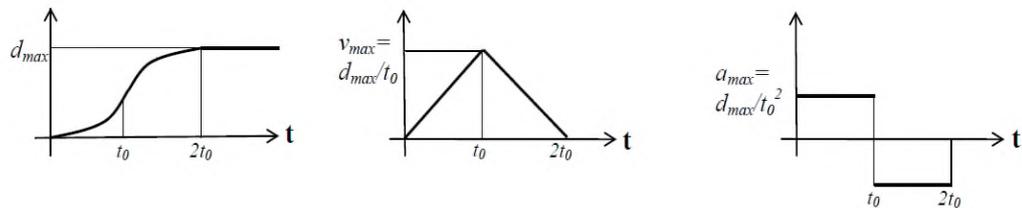


Рис. 7. Графики смещений, скоростей и ускорений для импульса скорости

Продолжительность импульса  $2t_0$  и остаточное смещение  $d_{max}$  зависит от магнитуды  $M_w$  и гипоцентрального расстояния  $R$ .

$$t_0 = 10^{(-3.471+0.5 \cdot M_w)}; \quad d_{max} = 10^{(-6.3+M_w - \log(R))}$$

Таким образом, дополняя случайное воздействие случайным импульсом, мы добавляем в систему три параметра: магнитуду  $M_w$ , эпицентрального расстояния  $R$  и момент включения импульса. Варьирование этих параметров в заданных пределах позволяет регулировать дополнительные характеристики воздействия.

На рис.8 приведен пример воздействия, сгенерированного с добавкой импульса скорости.

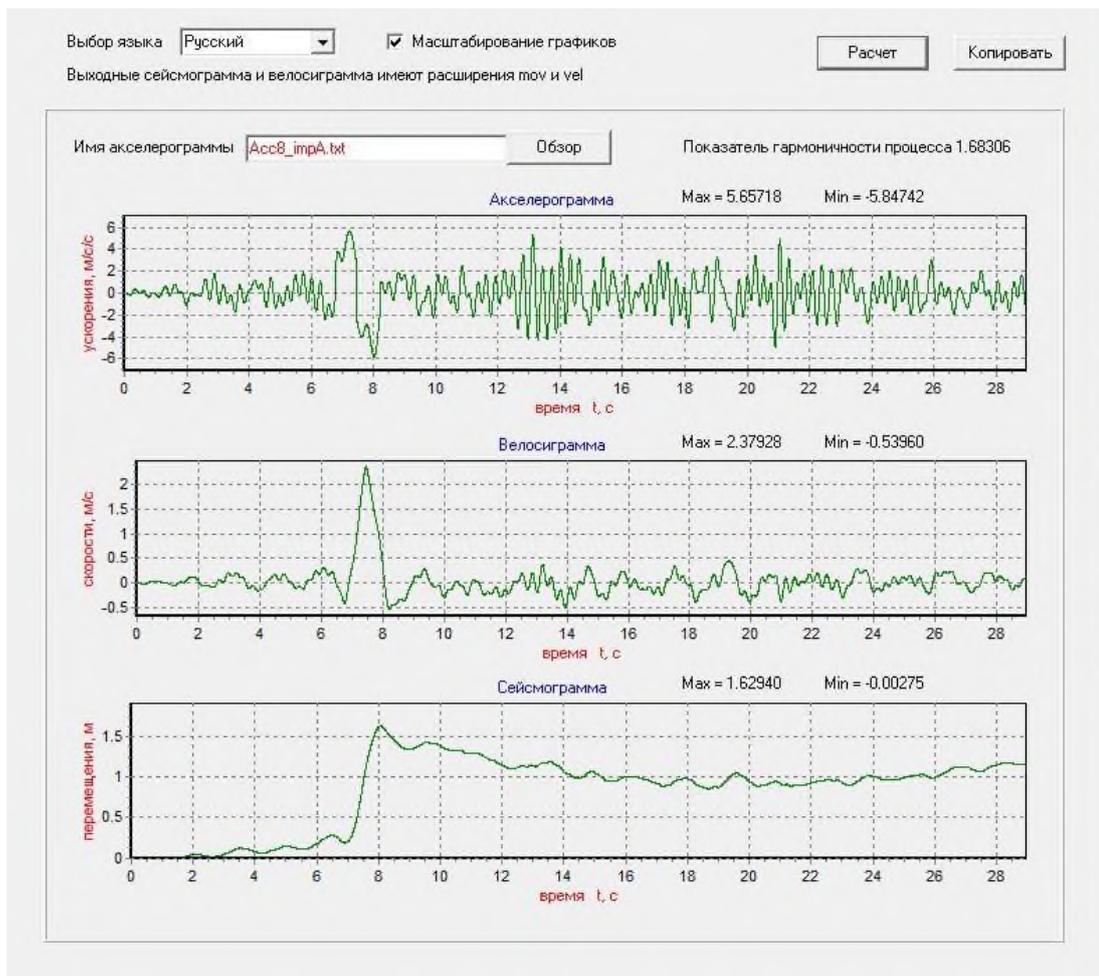


Рис.8. Хронограммы воздействия сгенерированных с импульсом скорости

На рис.9 приведены характеристики рассмотренного примера воздействия, а на рис. 10, 11 – спектры скоростей и смещений для рассматриваемого примера. На рис.12 приведен спектр работ сил пластического деформирования. Как видно из рисунков предлагаемая модель воздействия позволяет менять сейсмограмму, спектр смещений и спектр работ сил пластического деформирования, сохраняя характеристики акселерограммы модельного воздействия.

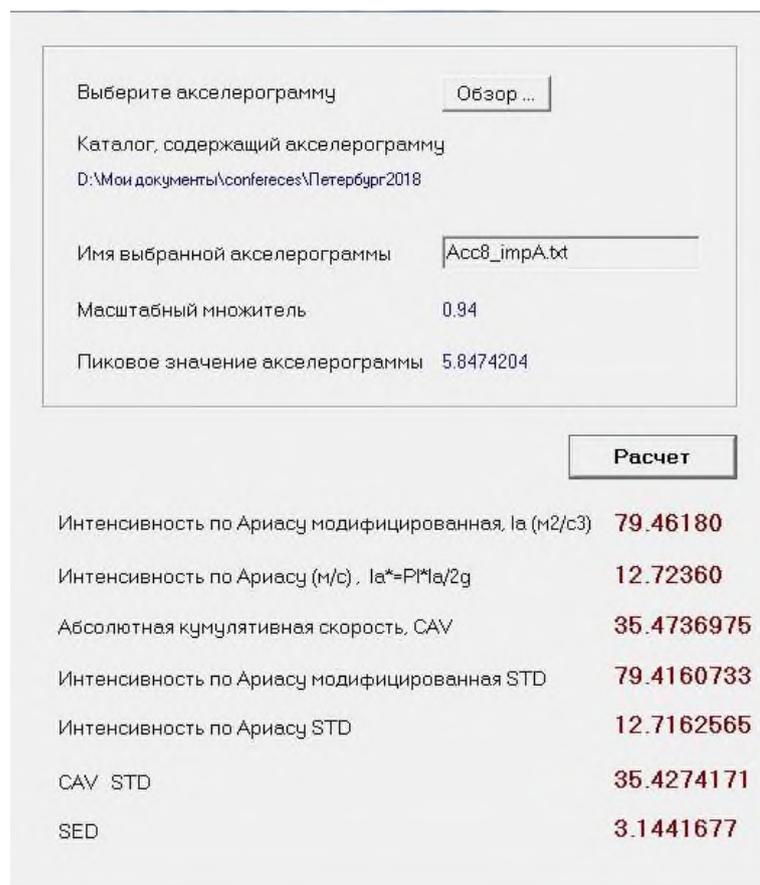


Рис.9. Характеристики воздействия сгенерированного с импульсом скорости

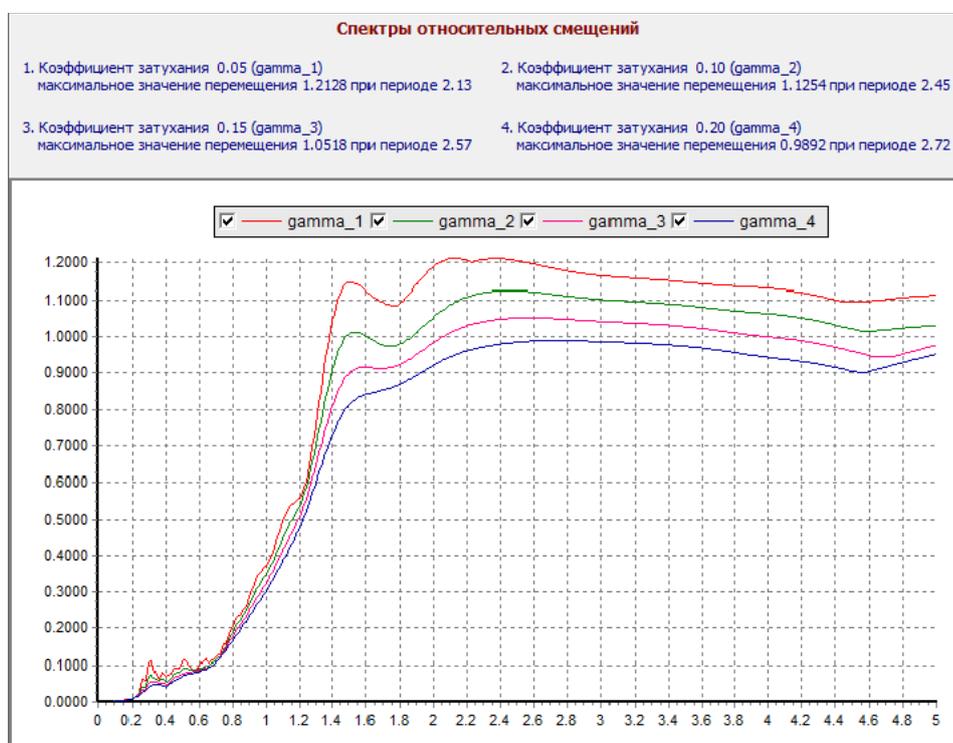
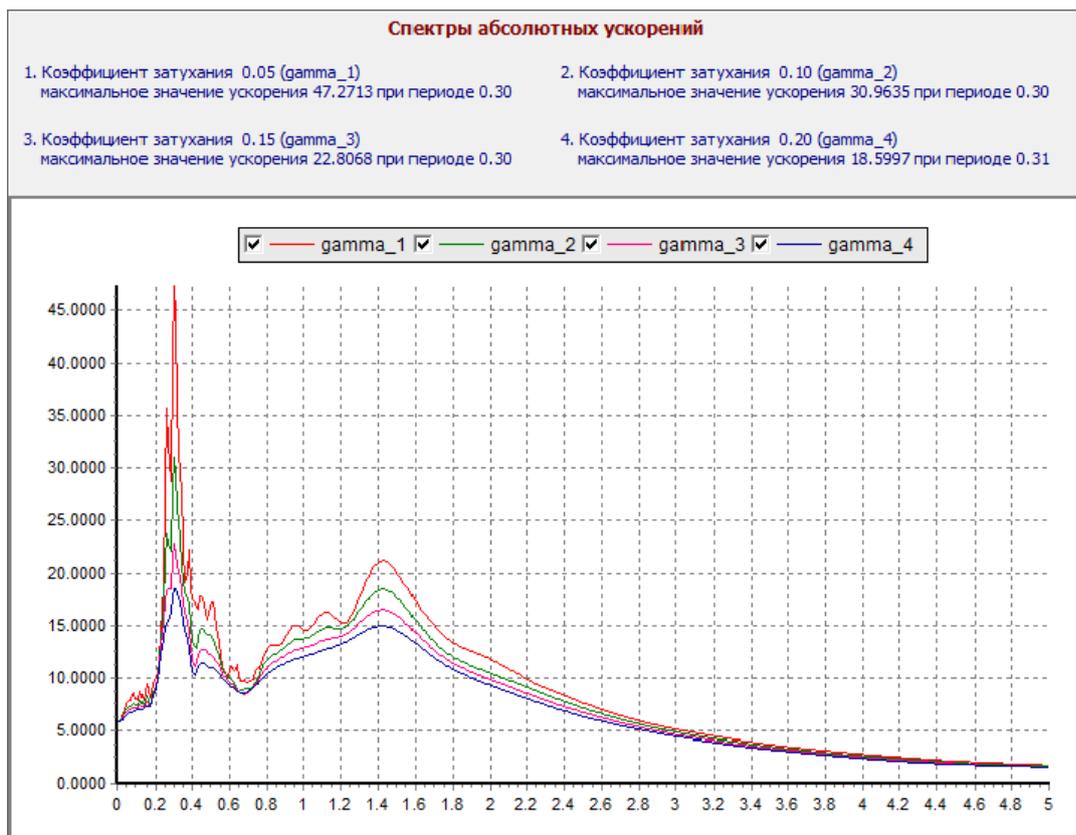
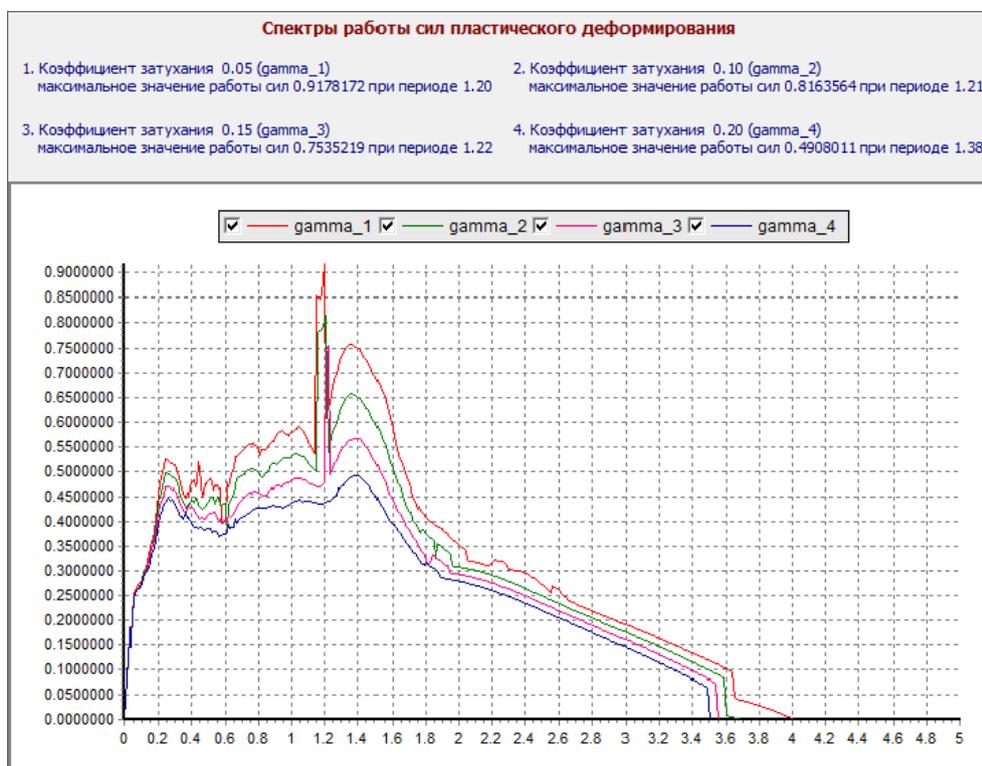


Рис.10. Спектры смещений воздействия сгенерированного с импульсом скорости



*Рис.11. Спектры смещений воздействия сгенерированного с импульсом скорости*



*Рис.12. Спектры работ сил пластического деформирования воздействия сгенерированного с импульсом скорости*

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования позволяют заключить, что сложившаяся методика генерации расчетных воздействий вполне приемлема для расчета объектов массового строительства – зданий малой и средней этажности, для которых определяющим являются ускорения воздействия. Для расчета сейсмоизолированных систем, для которых важным являются не ускорения, а смещения следует применять более сложные модели, в частности, рассмотренную модель случайного воздействия с двумя преобладающими частотами. Наконец, для расчета **повреждаемости сооружений возникает необходимость моделирования энергетических характеристик** воздействия. Для этого предлагается усложнить двухчастотную модель добавлением случайного импульса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотин В.В. Статистические методы в строительной механике./М., Госстройиздат,1961,202 с.
2. Салганик М.П. О моделировании сейсмических воздействий на строительные сооружения. Вопросы инженерной сейсмологии; Вып.2б. М. Наука ,. 1967, с.157-153
3. Айзенберг Я.М., Залилов К.Ю. Генерирование расчетного ансамбля синтетических акселерограмм и исследование влияния их параметров на сейсмическую реакцию сооружения.//Расчет и проектирование зданий для сейсмоопасных районов. -М.: Наука.-1988.- с.5-14.
4. Абакаров А.Д. Исследование оптимальных параметров системы сейсмозащиты с выключающимися связями и ограничителем перемещений по критерию надежности на ЭВМ методом Монте-Карло.//Расчет и проектирование зданий для сейсмостойких районов.-М.:Наука.-1988.- с.108-114.
5. Уздин А.М., Кузнецова И.О. Сейсмостойкость мостов. Саарбрюкен (Германия), Palmarium, 2014, 450 с
6. Лапин Б.А. Реакция одноэтажного здания с учетом полиэкстремального характера сейсмического воздействия// Экспресс-информация ВНИИИС. Сер.14. Сейсмостойкое строительство, 1987, Вып.4, с.2-7.
7. Давыдова Г.В. Некоторые особенности задания сейсмического воздействия при статистическом моделировании колебаний сейсмоизолированных систем / Г.В. Давыдова, А.М. Уздин // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – науч.техн.журнал. – М. –2008. – №6. – С.29-31.
8. Богданова А.М., Нестерова О.П., Никонова Н.В., Ткаченко А.С., Уздин А.М., Рахманова М., Азаев Т.М., Зайнулабидова Х.Р. Числовые характеристики сейсмических воздействий. Наука и мир, №3 (43), 2017, том 1, с. 49-55
9. Уздин А.М., Нестерова О.П., Прокопович С.В., Долгая А.А., Чанг Юань, Гуань Юхай, Ван Хайбинь. Моделирование сейсмических воздействий для динамического расчета зданий и сооружений. Российско-китайский научный журнал «Содружество» Ежемесячный научный журнал научно-практической конференции, 2017 № 20 1 часть, с. 59-66
10. Arias, A. A measure of earthquake intensity. Seismic Design for Nuclear Power Plants. Hansen RJ (Ed.), MIT Press, Cambridge, 1970. – P. 438–483.

11. Kenneth W. Campbell, Yosef Bozorgnia. Cumulative Absolute Velocity (CAV) and Seismic Intensity Based on the PEER-NGA Database. *Earthquake Spectra*, Vol. 28, Number 2, pp 457-485
12. Рутман Ю.Л., Шивуа, А. Дж. Энергетический метод оценки сейсмостойкости с помощью удельной энергетической плотности (УЭП) // Актуальные проблемы современного строительства: Сборник докладов «68-я Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых». – СПбГАСУ. – 2015. – ч. I. – С. 6 – 11
13. Айзенберг Я.М., Залилов К.Ю. Методика генерирования расчетных ансамблей синтетических акселерограмм на основе региональной сейсмологической информации // Вопросы инженерной сейсмологии. -М.: Наука.-1986.- с.61-72
14. Айзенберг Я. М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов / Москва: Стройиздат, 1976. - 232 с
15. Faccioli E., Paolucci R., Rey Ju. Displacement spectra for long periods. // *Earthquake Spectra*, Vol.20, No.2, p.347-376.
16. Dmitrovskaya L.N., Uzdin A.M. Earthquake displacements setting for calculating structures and building earthquake scales. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006, Paper Number: 32

## BIBLIOGRAPHY

1. Bolotin V.V. Statistical methods in structural mechanics. / М., Gosstroyizdat, 1961, 202 p.
2. Salganik M.P. On the modeling of seismic effects on buildings. *Engineering seismology issues*; Issue 2b. M. Science,. 1967, pp.157-153
3. Eisenberg Y.M., Zalilov K.Yu. Generation of the calculated ensemble of synthetic accelerograms and the study of the influence of their parameters on the seismic response of the structure. // *Calculation and design of buildings for seismic areas*. -М.: Science.-1988.- p.5-14.
4. Abakarov A.D. Investigation of the optimal parameters of a seismic protection system with switched off connections and a movement limiter according to the criterion of reliability on a computer using the Monte-Carlo method. // *Calculation and design of buildings for seismic resistant areas*. -М.: Nauka.-1988.- p.108-114.
5. Uzdin A.M., Kuznetsova I.O. Seismic resistance of bridges. Saarbrucken (Germany), Palmarium, 2014, 450 s
- Lapin B.A. Reaction of a one-storey building taking into account the polyextremal nature of the seismic impact // *Express information VNIIS*. Ser.14. Earthquake engineering, 1987, Vol.4, p.2-7.
7. Davydova G.V. Some features of the seismic impact setting in statistical modeling of oscillations of seismically isolated systems / G.V. Davydov, A.M. Uzdin // *Seismic resistant construction. Safety of buildings*. - Scientific.Technology. - М. –2008. - №6. - pp. 29-31.
8. Bogdanova A.M., Nesterova O.P., Nikonova N.V., Tkachenko A.S., Uzdin A.M., Rakhmanova M., Azaev T.M., Zainulabidova Kh.R. Numerical characteristics of seismic effects. *Science and World*, №3 (43), 2017, volume 1, p. 49-55
9. Uzdin A.M., Nesterova O.P., Prokopovich S.V., Dolgaya A.A., Chang Yuan, Guan Yuhai, Wang Haybin. Simulation of seismic effects for the dynamic calculation of buildings and structures. Russian-Chinese scientific magazine "Commonwealth" Monthly scientific journal of scientific-practical conference, 2017 № 20 Part 1, p. 59-66
10. Arias, A. A measure of earthquake intensity. *Seismic Design for Nuclear Power Plants*. Hansen RJ (Ed.), MIT Press, Cambridge, 1970. – P. 438–483.

11. Kenneth W. Campbell, Yosef Bozorgnia. Cumulative Absolute Velocity (CAV) and Seismic Intensity Based on the PEER-NGA Database. *Earthquake Spectra*, Vol. 28, Number 2, pp 457-485
12. Rutman Yu.L., Shivua, A.J. Energy Method for Estimation of Seismic Resistance Using Specific Energy Density (UEP) // *Actual Problems of Modern Construction: Collection of Reports "68th International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists"*. - SPSUACE. - 2015. - Part I. - P. 6 – 11
13. Eisenberg Ya.M., Zalilov K.Yu. Method of generating computational ensembles of synthetic accelerograms based on regional seismological information // *Issues of engineering seismology*. -M.: Science.-1986.- p. 61-72
14. Eisenberg Ya. M. Facilities with disabled connections for seismic areas / Moscow: Stroyizdat, 1976. - 232 p
15. Faccioli E., Paolucci R., Rey Ju. Displacement spectra for long periods. // *Earthquake Spectra*, Vol.20, No.2, p.347-376.
16. Dmitrovskaya L.N., Uzdin A.M. Earthquake displacements setting for calculating structures and building earthquake scales. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006, Paper Number: 32

# СЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТЕРРИТОРИЮ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

## SEISMIC MONITORING OF TECHNOGENIC IMPACT ON THE TERRITORY OF WESTERN SIBERIA

### **Еманов Александр Федорович**

доктор технических наук, директор, Алтай-Саянский филиал Федерального Исследовательского Центра “Единая Геофизическая служба” РАН, тел. +7 (383)333-27-08, e-mail: emanov@gs.nsc.ru;

### **Еманов Алексей Александрович**

кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора по науке, Алтай-Саянский филиал Федерального Исследовательского Центра “Единая Геофизическая служба” РАН; старший научный сотрудник, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, тел. +7 (383)330-52-66, e-mail: alex@gs.nsc.ru.

### **Alexander F. Emanov**

doctor of technical sciences, branch director, Altay-Sayan branch of Federal Research Center “United Geophysical Survey RAS”, tel. +7 (383) 333-27-08, e-mail: emanov@gs.nsc.ru;

### **Aleksey A. Emanov**

candidate of geologo-mineralogical sciences, deputy director for research, Altay-Sayan branch of Federal Research Center “United Geophysical Survey RAS”; Senior Researcher, A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, tel. +7 (383) 330-52-66, e-mail: alex@gs.nsc.ru.

**Аннотация.** Сеть из 57 сейсмологических станций в Западной Сибири, оснащённая как велосиметрами, так и акселерометрами, стала основой для изучения не только природной сейсмичности территории, но и позволяет контролировать техногенную сейсмичность и сейсмическое воздействие промышленных взрывов на территорию, и уровень шумов природного и техногенного происхождения. На основе использования данных регистрации промышленных взрывов сетью сейсмологических станций и информации о параметрах взрывов, получаемых от горных предприятий, создана система, позволяющая контролировать эффективность короткозамедленного взрывания в снижении сейсмического воздействия на недра. Экспериментально показано, что нередко взрывы с меньшим общим зарядом взрываются с большим сейсмическим эффектом, чем взрывы с самыми большими зарядами. Вскрыты причины такого результата и создана система, контролирующая ошибки при ведении взрывных работ на разрезах. Сейсмологические данные позволяют контролировать техногенное воздействие от взрывов на города и посёлки и дают информацию для его уменьшения за счёт исправления ошибок в схемах короткозамедленного взрывания. Доказано, что разрезы с наиболее сильными по магнитуде промышленными взрывами не являются разрезами с наиболее сильной наведённой сейсмичностью. Предлагается совместная система мониторинга геосреды и зданий.

**Annotation.** A network of 57 seismological stations in Western Siberia, equipped with both velocimeters and accelerometers, became the basis for studying not only the natural seismicity of the territory, but also allows you to control the technogenic seismicity and seismic effects of industrial explosions on the territory, and the level of noise of natural and technogenic origin. Based on the use of data from the recording of industrial explosions by a network of seismological stations and information on the parameters of explosions received from mining companies, a system has been created that allows monitoring the effectiveness of short-delay blasting in reducing seismic effects on the subsoil. It was experimentally shown that often explosions with a smaller total charge explode with a greater seismic effect than explosions with the highest charges. The reasons for this

result have been revealed and a system has been created that controls errors in blasting in cuts. Seismological data allows you to control the technogenic impact of explosions on cities and towns and provide information to reduce it by correcting errors in the schemes of short-delay blasting. It is proved that the cuts with the largest magnitude industrial explosions are not the cuts with the strongest induced seismicity. A joint monitoring system of geo-environment and buildings is proposed.

**Ключевые слова:** Западная Сибирь, сейсмологический мониторинг, оценка сейсмического воздействия, промышленные взрывы, наведенная сейсмичность.

**Keywords:** Western Siberia, seismological monitoring, assessment of seismic effect, industrial explosions, induced seismicity.

## DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-75-77

Сейсмологическая сеть регистрирует в Западной Сибири около четырёх тысяч землетрясений в год и около десяти тысяч промышленных взрывов. Вопрос о сейсмологическом контроле за сейсмическим воздействием на недра рассматривался неоднократно. Промышленным взрывам характерны магнитуды 1÷4. Сейсмические воздействия от промышленных взрывов оказывают воздействие на состояние недр и на здания в городах и посёлках. Наиболее сильные промышленные взрывы производятся около г. Абакан, а наибольшее число промышленных взрывов в Кузбассе (90%). Добыча полезных ископаемых в регионе ведётся в больших масштабах (уголь, железная руда, полиметаллы, нефть и газ и др.) Как ответ воздействия на недра около открытых и подземных горных выработок формируется наведённая сейсмичность. Около угольных шахт активизируется среда от положения забоя до глубины 1÷1.5 км. Активизация смещается вместе с продвижением забоя. В районе открытых горных выработок активизируются недра под разрезом и в районе отвалов. Глубина землетрясений от первых сотен метров до 4-5 км. Техногенные землетрясения имеют магнитуды до 2-х и представляют опасность для зданий на подработанных территориях. Техногенные землетрясения около открытых горных выработок часто достигают магнитуды 4 с рекордным случаем 6.1 (Бачатское техногенное землетрясение). Такие события приводят к разрушениям в ближайших населённых пунктах и ощутимы на территории всего Кузбасса и соседних областей. Сейсмологическая сеть позволяет контролировать все промышленные взрывы в регионе. Наибольшее количество промышленных взрывов в Кузбассе в угольных предприятиях, наиболее сильные по сейсмическому эффекту взрывы в Хакасии на угольных предприятиях, около г.Новосибирск фиксируются взрывы с магнитудами преимущественно два и связаны они с угольным разрезам и карьерам по добыче негорючих полезных ископаемых. Район г. Рубцовск также отмечается промышленными взрывами в районе добычи полиметаллических руд. В Республике Тува промышленные взрывы проводятся на угольных месторождениях Шагонара и Усть-Элегеста (около г. Кызыл), а также на месторождениях добывающих полиметаллы (Тоджинский район). В районе г. Красноярск также отмечаются взрывы с большими магнитудами. Особый интерес вызывает возникшая в последнее десятилетие наведенная сейсмичность в Горловском месторождении угля в 30 км от г. Новосибирск. Колыванское техногенное землетрясение с  $M=4.3$  является крупнейшим в Новосибирской области землетрясением с начала 20 века и сейсмический режим очага существенно отличается от сейсмического режима активизаций в Кузбассе. Экспериментально показано, что нередко взрывы с меньшим общим зарядом взрываются с большим сейсмическим эффектом, чем взрывы с самыми большими зарядами. Создана система, контролирующая ошибки при ведении взрывных работ на разрезах. Сейсмологические данные позволяют контролировать техногенное воздействие от взрывов на города и посёлки и дают информацию для его уменьшения за счёт исправления ошибок в схемах короткозамедленного взрывания. Доказано, что

разрезы с наиболее сильными по магнитуде промышленными взрывами не являются разрезами с наиболее сильной наведённой сейсмичностью. В формировании наведённой сейсмичности значимую роль играет изменение рельефа местности при добыче полезных ископаемых и перемещение масс грунтов. На некоторых зданиях стоят акселерометры позволяющие делать заключение о сейсмическом воздействии взрывов и землетрясений на них. Полученные результаты говорят о перспективности развития совместной системы мониторинга геосреды и зданий.

## **РАЗВИТИЕ АЛГОРИТМОВ ИНТЕРПРЕТАЦИИ МЕТОДА СТОЯЧИХ ВОЛН ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ СЛОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR INTERPRETING THE METHOD OF STANDING WAVES FOR THE STUDY OF BUILDINGS AND STRUCTURES OF COMPLEX CONSTRUCTIONS**

**Еманов Александр Федорович**

доктор технических наук, директор, Алтай-Саянский филиал Федерального Исследовательского Центра “Единая Геофизическая служба” РАН, тел. +7 (383)333-27-08, e-mail: emanov@gs.nsc.ru;

**Бах Александр Александрович**

старший научный сотрудник, Алтай-Саянский филиал Федерального Исследовательского Центра “Единая Геофизическая служба” РАН, тел. +7-913-713-51-09, e-mail: abakh61@mail.ru.

**Alexander F. Emanov**

doctor of technical sciences, branch director, Altay-Sayan branch of Federal Research Center “United Geophysical Survey RAS”, tel. +7 (383) 333-27-08, e-mail: emanov@gs.nsc.ru;

**Alexander A. Bach**

Senior Engineer, Altay-Sayan branch of Federal Research Center “United Geophysical Survey RAS”, tel. +7-913-713-51-09, e-mail: abakh61@mail.ru.

**Аннотация.** По материалам исследований методом стоячих волн сложных инженерных объектов получены результаты, демонстрирующие значительные отклонения экспериментальных данных о моделях зданий от моделей зданий, принятых в основу расчёта сейсмостойкости и устойчивости конструкций. Установлены объективные причины существующих отличий. Во-первых, это существование отражающих границ внутри здания, когда стоячие волны формируют общее поле для здания в целом и локальное поле для части объекта. Во-вторых, блочное строение объекта, когда некоторые блоки, то независимо колеблются, то объединяются в одну систему. В-третьих, существование стен с двойными отражающими свойствами, что меняет поле стоячих волн. В-четвёртых, сложная геометрия объекта формирует поля стоячих волн, не описываемые двумя волновыми числами. В работе представлена алгоритмическая схема интерпретации стоячих волн в объектах сложных конструкций. Экспериментальные данные показывают, что в теории зданий необходимо переходить к моделям вложенных резонаторов и к моделям связанных резонаторов, а верификацию моделей возложить на метод стоячих волн.

**Ключевые слова:** Экспериментальное обоснование новых зданий, сейсмическое воздействие на здания, когерентность

**Annotation.** Based on the research of the standing wave method of complex engineering objects, results were obtained that demonstrate significant deviations of experimental data on building models from building models used as the basis for calculating seismic stability and structural stability. Established the objective reasons for existing differences. First, it is the existence of reflecting boundaries inside the building, when standing waves form a common field for the building as a whole and a local field for a part of the object. Secondly, block structure of an object, when some blocks, then independently oscillate, then unite into one system. Thirdly, the existence of walls with double reflective properties, which changes the field of standing waves. Fourthly, the complex geometry of an object forms fields of standing waves that are not described by two wave numbers. The paper presents an algorithmic scheme for interpreting standing waves in objects of complex structures. Experimental data show that in the theory of buildings it is necessary to switch

to the models of nested resonators and to the models of coupled resonators, and the verification of models should be assigned to the standing-wave method.

**Keywords:** experimental interpretation of new buildings, seismic effects on buildings, coherence

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-78-80**

Самыми простыми примерами сложных по полю стоячих волн объектов являются здания, внутри которых существует отражающая граница. В данном случае формируется поле стоячих волн внутри другого поля. Такой результат получен для здания, над которым существует технический этаж и чердак. Основное поле стоячих волн (ряд мод) формируется для здания в целом и верх здания свободно колеблется. В этом случае в каждой моде верх является полупериодом с максимумом колебаний на крыше. При этом узловые линии для каждой стоячей волны смещены вверх. Для вложенного поля стоячих волн верхняя граница представлена последним жилым этажом. Эта граница зажата и на ней нулевые колебания. Узловые линии для этих волн опущены к низу. Наличие границы приводит к существованию стоячих волн одной и той же кратности, но соответствующих разным объёмам зданий.

Распространённым усложнением конструкций здания является сейсмоизоляция или свайные фундаменты. Мы сталкиваемся с примерами, когда фиксируется поле стоячих волн для всего здания в целом и поле стоячих волн части здания выше сейсмоизоляции.

Другим примером сложного объекта являются здания со сложным строением стен. Для одного из служебных зданий технического университета в Томске фиксируются две моды одного порядка (3,1). Одна стоячая волна в здании с той особенностью, что свободные колебания испытывает не только верх здания, но и левая вертикальная стена здания. Низ и правая стена зажаты. Зафиксирована другая стоячая волна в этом же здании с той же кратностью, но картина иная. В данном случае свободные колебания у верха здания и правой стены, а левая стена и низ зажаты. Представленные данные говорят, что сложно построенные стены могут вести себя двояко. Отражать внешней гранью колебания и внутренней. В этом случае, вероятно, внешние отражения имеют свободу колебаний, а внутренние ведут себя как зажатые. В результате мы имеем резонансы в здании, которые не описываются теоретическими расчётами.

Ещё одним вариантом сложных объектов являются геометрически сложные конструкции и блочные конструкции. К таким конструкциям относятся плотины ГЭС. Строение в виде трапеции, когда верх шире, чем низ создают уникальные условия для формирования полей собственных колебаний. На Богучанской ГЭС блочное строение привело к тому, что ярко выраженная первая мода существует только в одном блоке, а с повышением кратности в единое колебание захватывается всё больше блоков. Плотина Саяно-Шушенской ГЭС по основным модам ведёт себя как струна по верху здания, но при этом по ряду мод имеем картину изменения кратности по горизонтали с высотой платины. Для описания такого эффекта не достаточно двух волновых чисел (кратность по вертикали, кратность по горизонтали), приходится вводить кратность для разных уровней плотины. Полная интерпретация полей стоячих волн выполняется по следующей схеме:

- Выделение собственных частот и построение карт амплитуд стоячих волн, карт фаз, карт когерентности для каждой собственной частоты.
- Определение объёмов, в которых существуют группы стоячих волн. Фактически нахождение в объекте отражающих границ или выявление блочного строения.
- Обнаружение эффектов, связанных с изменениями кратности, вызванными сложной геометрией объекта.
- Раздельная интерпретация по каждой стоячей волне с определением граничных условий по области её существования.

- Интерпретация по каждой из стоячих волн на основе обратного решения волнового уравнения.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

**Кульбаев Б.Б.,**

генеральный директор АО «КазНИИСА»

**Шокбаров Е.М.**

к.т.н., управляющий директор по производству АО «КазНИИСА»

**Ицков И.Е.**

к.т.н., зав. лабораторией сейсмостойкости зданий повышенной этажности АО «КазНИИСА»

**Аннотация:** в докладе рассмотрено современное состояние сейсмостойкого строительства в Республике Казахстан. Представлены сведения о нормативной базе сейсмостойкого строительства.

**Ключевые слова:** сейсмостойкое строительство, высотные здания, сборное и крупнопанельное домостроение, нормы, испытания.

## THE MODERN STATE OF EARTHQUAKE ENGINEERING IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**Kulbayev B. B.**

general director of JSC "Kazniisa»

**Shokparov E. M.**

candidate of technical sciences, managing director of production of JSC "Kazniisa»

**Itskov I. E.**

candidate of technical sciences, head. laboratory of seismic resistance of high-rise buildings of JSC "Kazniisa»

**Abstract:** The report considers the current state of earthquake-resistant construction in the Republic of Kazakhstan. The information about the regulatory framework of seismic-resistant construction is presented.

**Keywords:** earthquake-resistant construction, high-rise buildings, prefabricated and large-panel housing construction, norms, tests.

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-81-83**

Районы Республики Казахстан, подверженные землетрясениям интенсивностью 6 и более баллов, занимают около 20 % от общей площади территории страны. В настоящее время в сейсмических районах Казахстана проживает примерно 42% общей численности населения (около 7 миллионов человек). В том числе в районах сейсмичностью 9 баллов проживает более 2,0 млн. человек (из них в г. Алматы – 1,85 млн.), 8 баллов – 1,1 млн., 7 баллов – 2,0 млн. и 6 баллов – 1,2 млн.

За последние 130 лет на территории Казахстана произошло довольно много сильных землетрясений: Верненское (9 июня 1887 г.,  $M=7,3$ ), Чиликское (12 июля 1889 г.,  $M=8,3$ ), Кеминское (4 января 1911 г.,  $M=8,2$ ), Джамбульское (10 мая 1971 г.,  $M=5,7$ ), Жаланаш-Тюпское (25 марта 1978 г.,  $M=7,1$ ), Зайсанское (14 июня 1990 г.,  $M=6,9$ ), Байсорунское (12 ноября 1990 г.,  $M=6,5$ ), Шалгинское (22 августа 2001 г.,  $M=5,4$ ), Луговское (23 мая 2003 г.,  $M=5,3$ ), Шалкарское (26.04.2008 г.,  $M=5,0$ ), Текелийское (13 июня 2009 г.,  $M=5,1$ ) и ряд других. Большинство из перечисленных землетрясений сопровождалось большим материальным ущербом и требовало значительных затрат на ликвидацию их последствий.

Несмотря на то, что землетрясения по своим неблагоприятным экономическим, социальным и экологическим последствиям занимают ведущее место среди природных катастроф, численность населения в сейсмически опасных районах Казахстана постоянно увеличивается. Только с 1999 года население г. Алматы увеличилось в 1,6, Талдыкоргана – в 1,3, Шымкента – более чем в 2 раза, Тараза – в 1,2 раза. Постоянный прирост населения в сейсмических районах Казахстана можно объяснить сосредоточением в них крупных культурных и производственных центров, а также благоприятными для проживания природно-климатическими условиями.

Защита населения Казахстана, проживающего в сейсмически опасных районах, относится к одной из приоритетных задач государства. В соответствии с Законом Республики Казахстан "О Гражданской обороне" (от 07.05.1997 N 100-І) в целях защиты населения, территорий и объектов хозяйствования от возможных землетрясений, наряду с другими мероприятиями, заблаговременно должны осуществляться: – научное прогнозирование землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмическое микрорайонирование территории Республики; – разработка строительных норм и правил с учетом сейсмической опасности.

Современная наука не может дать надежный прогноз силы, места и времени землетрясений, но это не означает, что на последствия сейсмических событий нельзя влиять. Мероприятия, обеспечивающие минимизацию последствий сильных землетрясений, в наиболее сконцентрированном виде содержатся в нормах по проектированию и строительству зданий и сооружений в сейсмических районах.

Однако задачи, возникающие при составлении нормативных документов по антисейсмическому проектированию, в настоящее время существенно осложнились. В определенной степени это связано с тем, что в Республике Казахстан практически полностью исчезло понятие «традиционные здания массовой застройки». В районах, подверженных сильным землетрясениям, все чаще стали возводиться высотные здания, большепролетные торговые, зрелищные и культовые сооружения, а также объекты со сложной конфигурацией в плане и по высоте. Интенсивно ведется застройка участков неблагоприятных в сейсмическом отношении, но выгодных для финансовых инвестиций.

О масштабах строительства многоэтажных и высотных зданий в сейсмических районах Казахстана можно судить по следующим данным. В городе Алматы, расположенном в районе сейсмичностью 9 баллов, за последние 15-17 лет было возведено не менее 200 зданий высотой более 12 этажей. Около 40% из указанного количества зданий имеет высоту 20 этажей и более, а самое высокое здание «Esentai Tower» – 38 этажей (168 м). К уникальным и технически сложным объектам безусловно могут быть отнесены также некоторые большепролетные спортивно-зрелищные сооружения. Например, две «Ледовые арены», возведенные на площадках сейсмичностью 10 баллов. Размеры одной из них, рассчитанной на 12000 тысяч зрителей, составляют 133x113,5 метров в плане и 35 метров по высоте.

Опыт проектирования и строительства этих и многих других объектов показал, что их архитектурные и конструктивные решения, вполне согласующиеся с современными организационными и технологическими возможностями строительных организаций, зачастую, проблематично «подогнать» под некоторые нормативные требования, разработанные десятилетия назад и базирующиеся на принципе минимизации материальных затрат или на устаревших подходах к расчету конструкций.

Особо следует отметить, что в рамках Государственной программы по развитию строительной индустрии и производства строительных материалов в Республике Казахстан создаются комбинаты индустриального строительства, позволяющие изготавливать железобетонные элементы каркасных жилых домов в заводских условиях. Ведется подготовка к возобновлению строительства крупнопанельных и объемно-блочных жилых зданий.

Учет современной практики проектирования и строительства в сейсмических районах и результаты исследований, выполненных за последние годы в АО «КазНИИСА», позволили модифицировать конструктивные решения некоторых ранее применявшихся полносборных каркасных конструктивных систем, обеспечив их антисейсмическую надежность при меньших материальных и временных затратах.

В период с 2005 по 2019 годы специалистами АО «КазНИИСА» были проведены вибродинамические испытания более 10 натурных зданий и около 50 различных типов перегородок, навесных панелей, фрагментов фасадных систем и стеклянных ограждений. В 2018 году проведены вибродинамические испытания крупнопанельного 9-ти этажного жилого дома в г. Ташкент.

С 2015 года в Республике Казахстан начали действовать новые нормативные документы в строительной отрасли, в том числе гармонизированные с Еврокодами и основанные на применении вероятностных карт общего сейсмического зонирования территории Республики Казахстан.

Новые нормативные документы СП РК EN, регламентирующие правила строительства в сейсмических зонах, не являются 100-процентными аналогами Еврокода 8. В соответствии с международной практикой в дополнение к СП РК EN 1998-1 были разработаны нормативно-технические пособия (НТП), развивающие и дополняющие положения этого документа. При составлении НТП были учтены накопленные за предыдущие десятилетия экспериментальные данные, а также результаты анализа последствий землетрясений и положений современных норм передовых зарубежных стран. В настоящее время эти НТП проходят практическую апробацию при проектировании реальных объектов и по ее результатам, в случае необходимости, корректируются.

С 2017 года в Республике Казахстан вступил в действие свод правил СП РК 2.03-30-2017 «Строительство в сейсмических зонах», являющийся актуализированной редакцией СНИП РК 2.03-30-2006 «Строительство в сейсмических районах». В этом документе все положения, связанные с определениями сейсмических воздействий и нагрузок на здания и сооружения, являются идентичными принятым в НТП.

«Концепцией по реформированию нормативной базы в строительной сфере Республики Казахстан» предусмотрено, что нормативные документы СП РК EN 1998-1 и СП РК 2.03-30-2017, в определенный период времени, необходимый для адаптации проектировщиков (названный «периодом сосуществования»), будут действовать параллельно.

## О СТРОИТЕЛЬНЫХ НОРМАХ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ON NEW GENERATION OF BUILDING CODES

### **Аптикаев Феликс Фуадович**

д.ф.-м.н., проф., главный научный сотрудник, ФГБУН Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, тел. +79163795170, [felix@ifz.ru](mailto:felix@ifz.ru)

### **Эртелева Ольга Олеговна**

к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник, ФГБУН Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, тел. +7 9164045714, [ertel@ifz.ru](mailto:ertel@ifz.ru)

### **Aptikaev Feliks F.**

Dr., professor, principal scientist, Schmidt Institute of physics of the Earth, Russian Academy of Science, [felix@ifz.ru](mailto:felix@ifz.ru)

### **Erteleva Olga O.**

Ph.d., leading scientist, Schmidt Institute of physics of the Earth, Russian Academy of Science, [ertel@ifz.ru](mailto:ertel@ifz.ru)

**Аннотация.** Основным недостатком действующих строительных норм является отсутствие задания сейсмических воздействий. Не учитывается магнитуда землетрясений, тип подвижки по разлому, расстояние. Принимается во внимание лишь грунтовые условия, причем не всегда правильно. Погрешности расчетов сейсмостойкости сооружений связаны также с ошибками нормативной терминологии. Много путаницы в определениях амплитуды ускорения, коэффициента динамического усиления, огибающей колебаний, продолжительности колебаний, сейсмической интенсивности. В статье рассматриваются возможные подходы преодоления этих недостатков. Предлагается избавиться от различного рода допущений и предположений и опираться на эмпирические данные. Предлагается ввести в задание сейсмических воздействий продолжительность колебаний, выбрав соответствующее теории размерностей и подобия определение этой величины. Указать в нормативных документах эмпирические соотношения, по которым определяются параметры сейсмического движения в зависимости от характеристик очага землетрясения и среды. Рекомендуется использовать в качестве входных данных для расчета сооружений мощность сейсмической волны. Погрешность расчетов при этом уменьшится вдвое.

**Ключевые слова.** Сейсмические воздействия, ускорение, скорость колебаний, мощность колебаний, продолжительность колебаний.

**Abstract.** The main disadvantage of existing building codes is the absence of a seismic impact. The magnitude of earthquakes, the type of motion along the fault, the distance is not taken into account. Only ground conditions are taken into account, and not always correctly. Errors in the calculations of seismic resistance of structures are also associated with errors in regulatory terminology. There is a lot of confusion in the definitions of the acceleration amplitude, coefficient of dynamic amplification, oscillation envelope, oscillation duration, seismic intensity. In article possible approaches for overcoming these disadvantages are considered. It is proposed to get rid of various kinds of assumptions and to rely on empirical data. It is proposed to introduce into the building codes the duration with definition corresponding to theory of dimensions and similarity. It is necessary to give the information on parameters of seismic ground motions depending on the characteristics of the earthquake source and ground conditions. It is recommended to use the seismic wave power as input data for the calculation of structures. The calculation error at the same time will be halved.

**Keywords.** Seismic impact, acceleration, velocity oscillations, power oscillations, duration of oscillations.

## DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-84-93

**Введение.** Почти сорок лет не удается создать новые строительные нормы, которые бы удовлетворили большинство проектировщиков. Основным недостатком действующих строительных норм является отсутствие задания сейсмических воздействий. Не учитываются параметры очага землетрясения. Принимаются во внимание лишь грунтовые условия, причем не всегда правильно. Основы действующих строительных норм создавались во времена, когда записей сильных движений грунта при землетрясениях было крайне мало. Поэтому приходилось использовать различного рода допущения и предположения. Грамотно противостоять сейсмическим воздействиям, не зная их характеристик невозможно. В настоящее время в мире насчитываются тысячи записей сильных движений, позволяющие резко повысить точность оценок параметров ожидаемого сейсмического движения грунта.

**Пути усовершенствования нормативных документов.** В чем недостатки прежних СНиП и СП? При задании сейсмических воздействий не учитывались ни магнитуда землетрясения, ни тип подвижки по разлому, ни расстояние. Лидирующая роль при задании воздействий отводилась только характеристикам грунтов. Из всех характеристик сейсмического движения грунта учитывался только уровень ускорения грунта. Расчеты сейсмических воздействий часто производятся на основании двумерной модели очага и идеальной модели среды. В свое время переход от точечной модели очага к двумерной был крупным шагом вперед. Сейчас двумерная модель плохо согласуется с накопленными эмпирическими данными. С чего должна начаться разработка новых строительных правил? Прежде всего, необходимо навести порядок в терминологии. Многие расчетные программы используют оценки воздействий, взятых из шкалы MSK-64 и прежних СНиП. При этом вследствие ошибок терминологии осуществляется подмен понятий. Например, для интенсивностей в 7, 8 и 9 баллов ставятся в соответствие ускорения 0,1g, 0,2g и 0,4g соответственно. Предполагается, что этим оценкам соответствуют пиковые ускорения. На самом деле этим значениям соответствуют ускорения в полосе пропускания частот от 2 до 5 Гц. В результате фильтрации амплитуды занижаются примерно в полтора раза [1]. Парадокс: спектр задается в полосе 1,25 - 10 Гц, а ускорения в другой полосе. В США фильтрованные ускорения называют эффективными ускорениями. У нас определение таких фильтрованных ускорений отсутствует. Это не мешает использованию фильтрованных значений для проектирования многоэтажных зданий, заводских труб, длиннопролетных мостов и других сооружений с иными частотами собственных колебаний. Но и этого мало. В действующих СП этим ускорениям ставится в соответствии значения коэффициента  $\beta = 2.5$ , которые не являются коэффициентами динамического усиления! Статистические оценки этой величины на тысячах реальных акселерограммах и получены средние оценки  $\beta = 3.6 \pm 20\%$  [2, 3]. Распределение этой величины на независимом материале (Иран), взятый из последней работы, показан на рис. 1.

Удвоение амплитуды на балл было получено из предположения, что наблюдаемым ускорениям 1-1000 см/с<sup>2</sup> примерно соответствует диапазон интенсивности 2-12 баллов. Однако накопленный материал по сильным движениям показал, что после 9 баллов ускорения перестают расти [4]. В этой работе показано, что при 9 и 11 баллах ускорения совершенно одинаковы (рис. 2).

Постоянство ускорений вблизи разрыва независимо от магнитуды подтверждается в работах [5-8]. Следовательно, интервалу ускорений 1-1000 см/с<sup>2</sup> соответствует интервал интенсивности 2-9 баллов, т.е. изменению ускорений в 2,5 раза на балл, что подтверждается и прямыми оценками этого соотношения [9] (рис. 3).

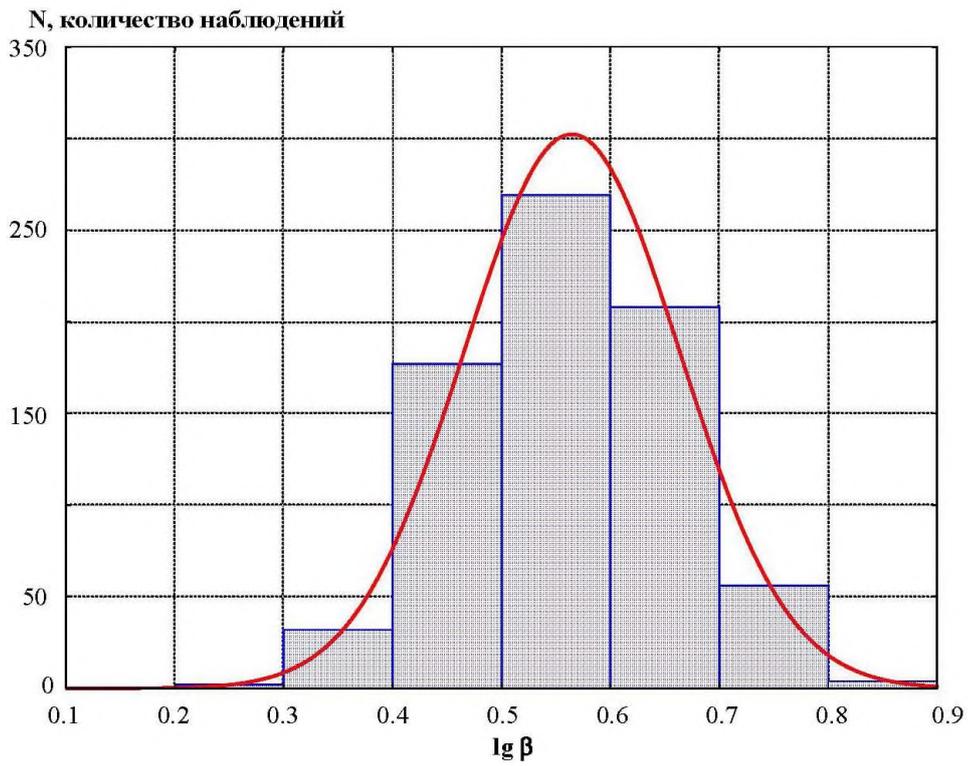


Рисунок 1 - Распределение величины  $\lg \beta$

Figure 1 - Distribution of  $\lg \beta$

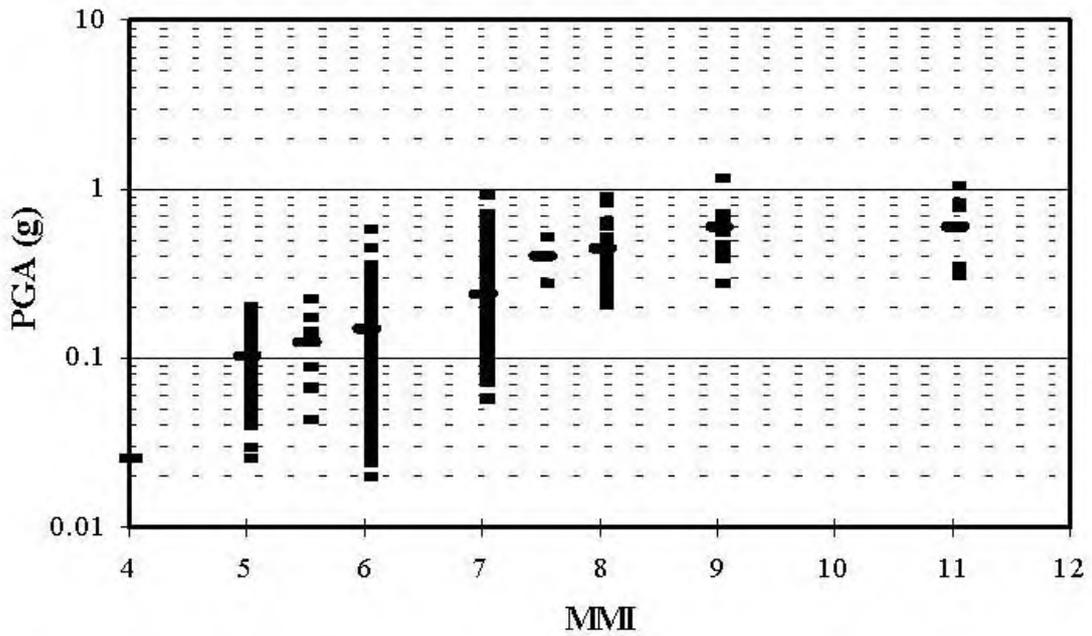
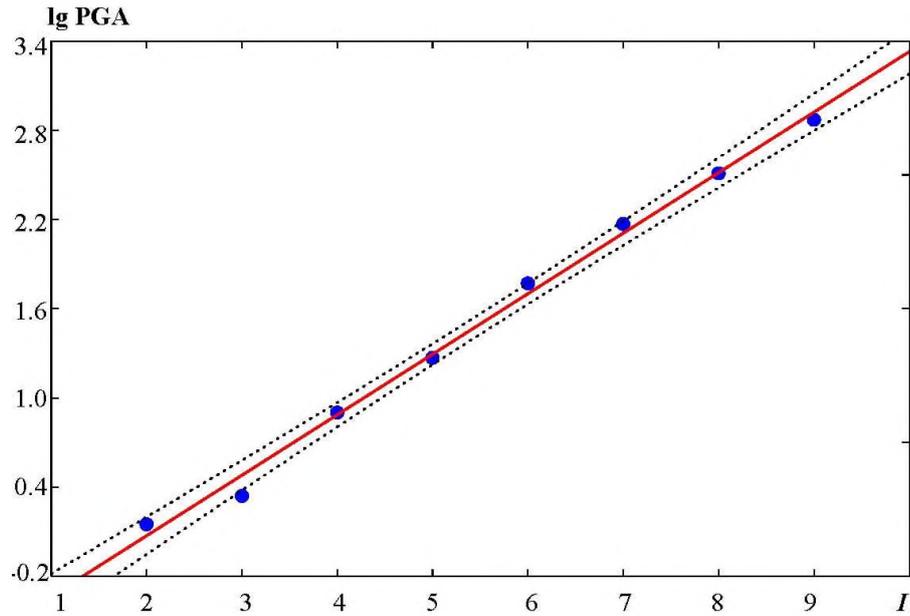


Рисунок 2 - Соотношение пиковых ускорений PGA и сейсмической интенсивности по [4]

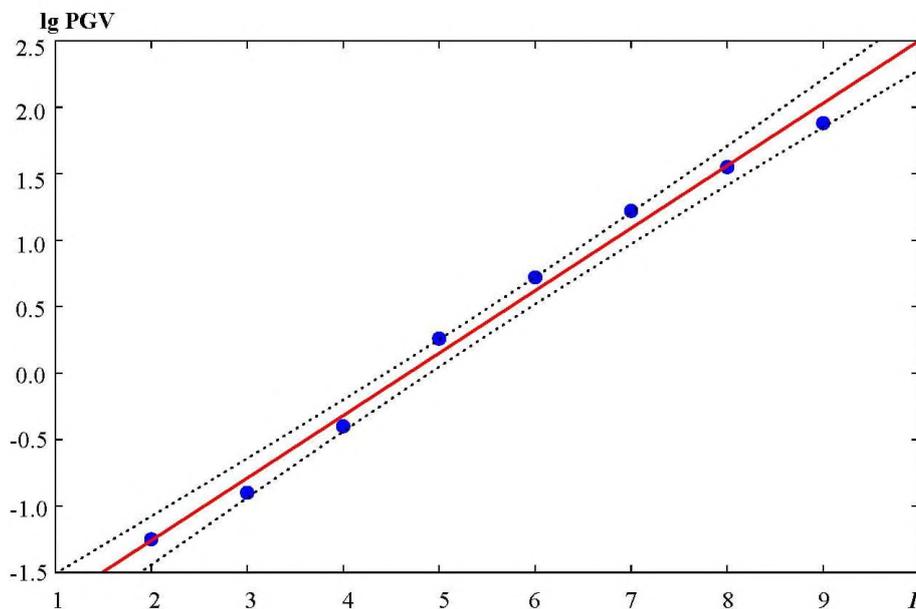
Figure 2 - Relation between peak ground acceleration and intensity by [4]



**Рисунок 3** - Соотношение ускорений и сейсмической интенсивности по эмпирическим данным. На графике пунктирными линиями показан 95% уровень доверия для аппроксимирующей линии

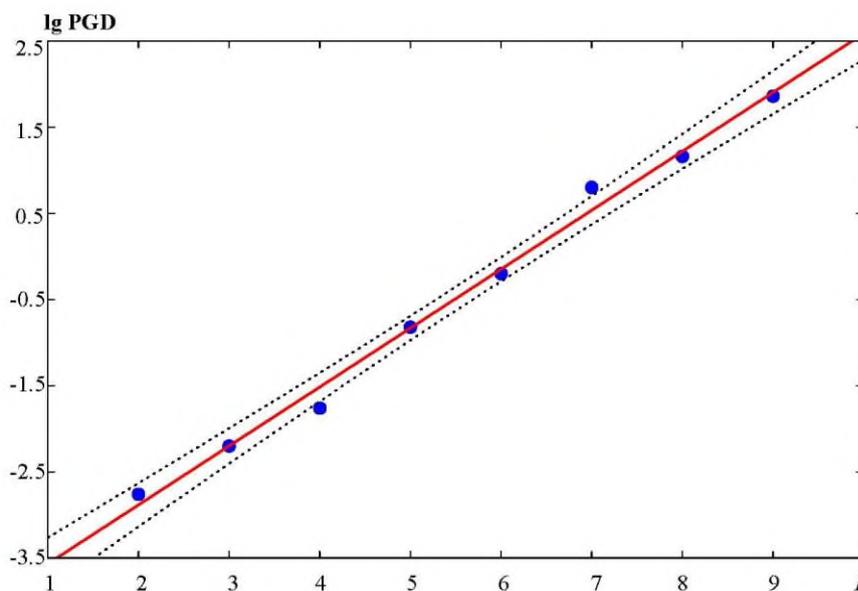
**Figure 3** - Correlation between peak ground acceleration and seismic intensity. Dashed lines are 95% confidence level

Аналогичные выкладки сделаны для скорости колебаний (рис. 4) и смещения (рис. 5).



**Рисунок 4** - Зависимость центров распределений скоростей от сейсмической интенсивности  $I$ . Пунктиром показан 95% доверительный интервал для аппроксимирующей прямой.

**Figure 4** - Relation between mean values of peak ground velocity and seismic intensity  $I$ . Dashed lines are 95% confidence level



**Рисунок 5** - Соотношение средних значений смещений и сейсмической интенсивности по эмпирическим данным. На графике пунктиром показан 95% уровень доверия для аппроксимирующей линии.

**Figure 5** - Relation between mean values of peak ground displacement and seismic intensity  $I$ . Dashed lines are 95% confidence level

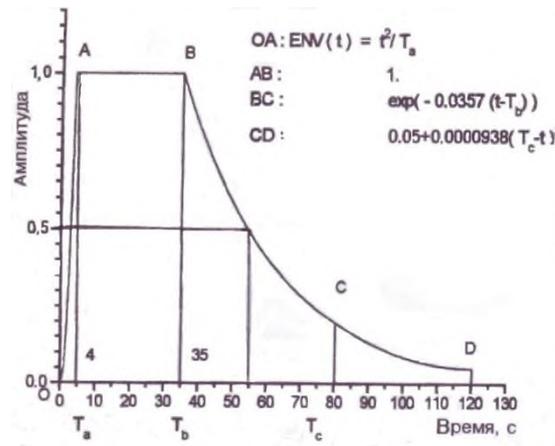
Часто считают, что шаг шкалы для ускорений, скоростей и смещений одинаков. Однако для скорости шаг равен 3, а для смещений 5. Это следует иметь в виду при инструментальных методах микрорайонирования

Еще одно нарушение правил терминологии: в СП 14.13330 [10]. В Приложении А читаем: «Список населенных пунктов Российской Федерации, расположенных в сейсмических районах, с указанием расчетной сейсмической интенсивности». Но ведь речь идет не о расчетной, а об исходной сейсмичности! Расчетная сейсмичность возникает уже после результатов СМР. В результате сейсмические воздействия в 7 баллов, на грунтах 3-й категории при проектировании не учитываются.

В ближней зоне амплитуда ускорений на рыхлых грунтах даже несколько меньше, чем на скальных грунтах. А интенсивность на рыхлых грунтах все же выше. Это явление объясняется тем, что на сейсмическую интенсивность большое влияние оказывает не только амплитуда колебаний, но и их продолжительность. Использование амплитуды ускорения дает погрешность оценки баллов 50%, совместный учет амплитуды и продолжительности колебаний снижает погрешность до 25%. Одной из причин того, что длительность до сих пор не учитывается в расчетах, является терминологическая ошибка. В ГОСТ Р 57546 [11] продолжительность определяется как интервал времени между первым вступлением и моментом спада сейсмических колебаний до уровня превышения микросейсм на 10%. Термин явно взят из сейсморазведки. Действительно, в указанном интервале времени можно найти информацию о строении среды. К сейсмостойкому строительству такое определение продолжительности никакого отношения не имеет. Однако на основании этого определения построена огибающая ускорений, которая предлагается и в нормах РБ 006-98 [12] (рис. 6).

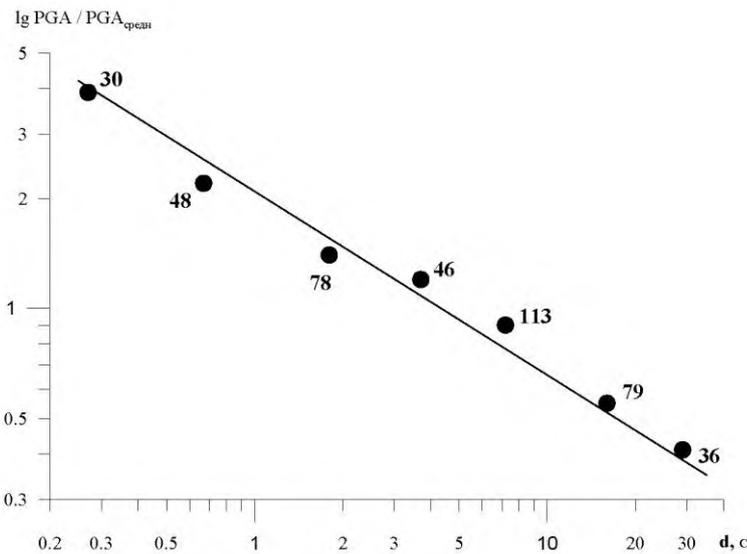
На рисунке 6 мы провели линию, соответствующую интервалу времени, в течение которого амплитуда огибающей превышает половину максимального уровня. Этот интервал вполне мог бы быть мерой продолжительности колебаний. По нормативной огибающей этот

интервал равен примерно 50 с для всех без исключения случаев. На рисунке 7 показано реальное распределение этого интервала.



**Рисунок 6** - Форма огибающей по РБ-006-98

**Figure 6** - Vibration envelope in RB-006-98



**Рисунок 7** – Соотношение нормированной амплитуды ускорения и продолжительности колебаний  $d$  для фиксированных интенсивностей. Количество осредненных данных приводится рядом со средними значениями. График аппроксимируется выражением

$$\lg\left(\frac{PGA}{PGA_{\text{средн}}}\right) = 0.33 - 0.51 \lg d, c.$$

**Figure 7** - Relation between acceleration amplitude, normalized to its mean value, and duration  $d$  for fixed intensity. Digits - number of data used. Approximation line has expression

$$\lg\left(\frac{PGA}{PGA_{\text{средн}}}\right) = 0.33 - 0.51 \lg d, c.$$

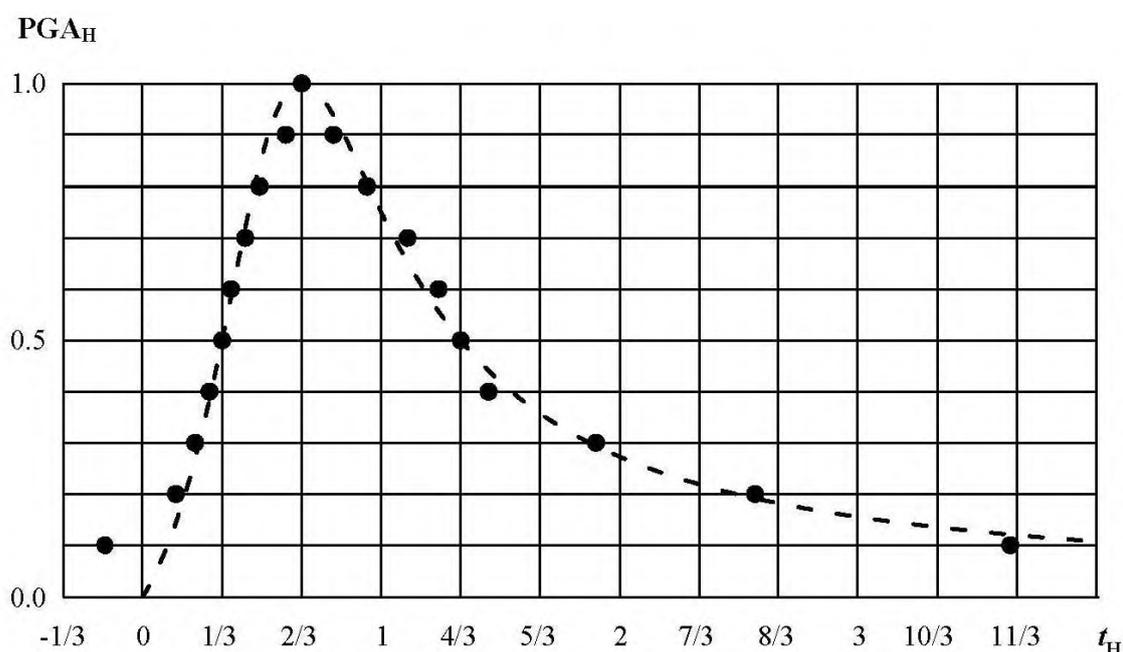
Из эмпирических данных следует, что рассматриваемый интервал времени величиной в 50 с практически не встречается. Так чему же соответствует участок максимальных амплитуд огибающей? Это геометрическое место наступления максимальной амплитуды (в зависимости от расстояния!).

Заметим, что более 30 лет назад была найдена средняя форма огибающей по эмпирическим данным (рис. 8) Параметром такой огибающей является продолжительность колебаний, определенная как интервал времени, в течение которого уровень огибающей превышает половину максимального значения. Эмпирическое уравнение огибающей  $PGA_H$  имеет вид

$$PGA_H = PGA_{\max} \frac{3td}{9t^2 - 9td + 4d^2}, \quad (1)$$

где  $t$  - текущее время,  $d$  - продолжительность колебаний.

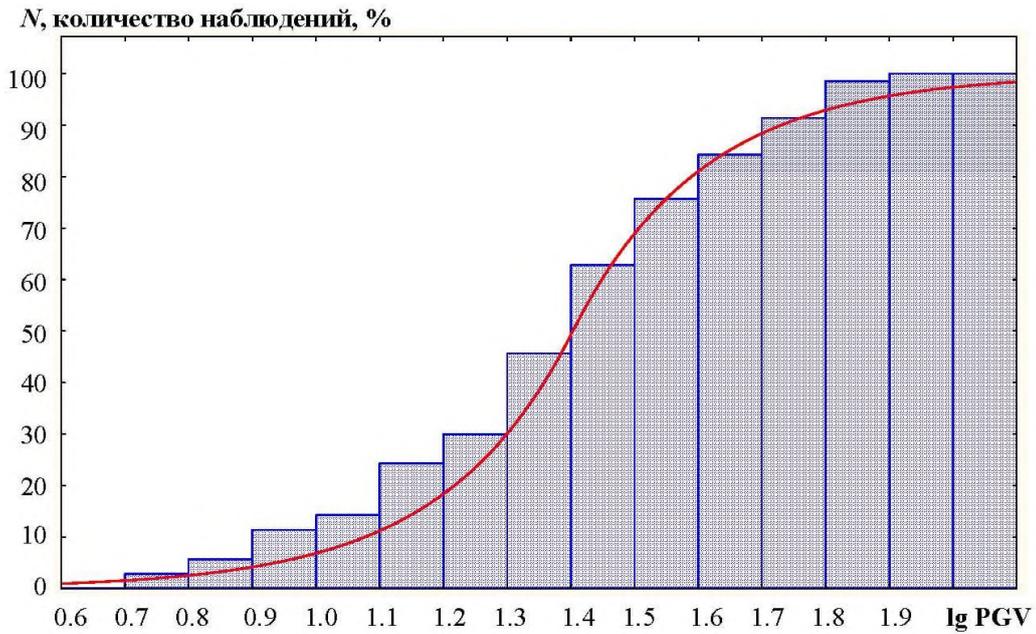
Среднеквадратичное отклонение огибающей на любом уровне составляет 25%.



**Рисунок 8** - Огибающая амплитуд ускорений. Точки - средние эмпирические значения, штриховая линия - аппроксимирующая, вычисленная по формуле (2)

**Figure 8** - Envelope of acceleration amplitudes. Points are mean empirical values, the dashed line is designed using empirical equation (2)

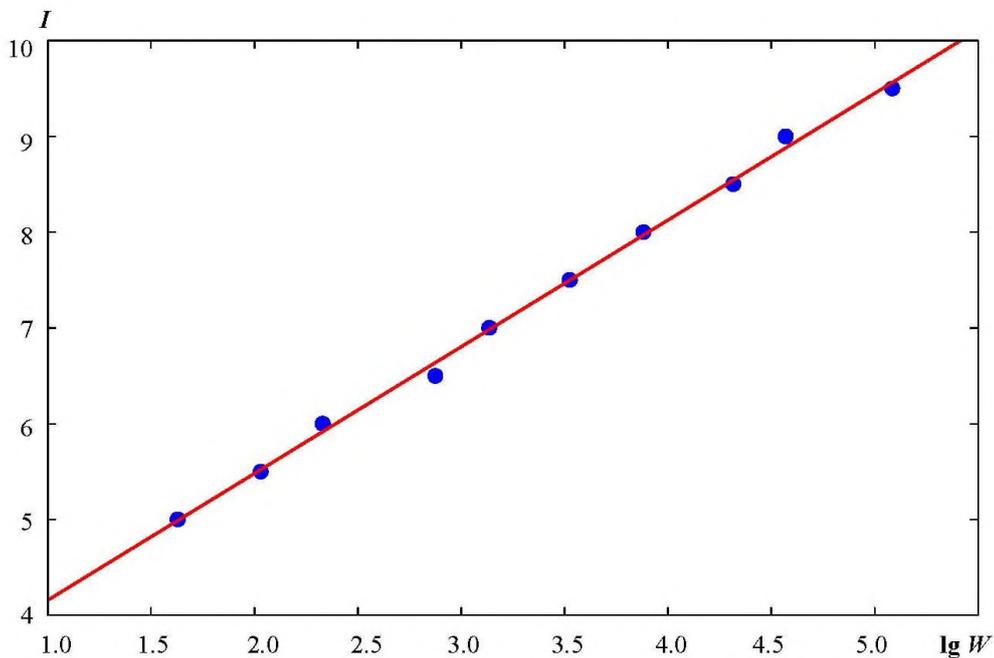
Для расчета подземных сооружений следует использовать скорости колебаний, по примеру Японии. При необходимости строительства в 10-балльных зонах, также лучше пользоваться заданием скоростей. Эмпирические оценки скоростей для различных интенсивностей приведены в новой шкале сейсмической интенсивности [11] (рис. 9).



**Рисунок 9** - Распределение пиковых скоростей при интенсивности в 8 баллов

**Figure 9** - Distribution of peak ground velocity (intensity  $I = 8$ )

Эмпирически показано пока наилучшей характеристикой повреждаемости зданий является мощность сейсмической волны (рис. 10). Погрешность при этом снижается до 25%.



**Рисунок 10** - Соотношение сейсмической интенсивности  $I$  и мощности волны  $W$ , представленной в виде  $PGA \cdot PGV$ .

**Figure 10** - Relation between seismic intensity  $I$  and wave power  $W$  determined as  $PGA \cdot PGV$ .

Надо думать, что энергия волны есть наилучшая характеристика воздействия, но этот параметр пока изучен недостаточно хорошо для включения его в нормативные документы. Необходимы дальнейшие исследования в этом направлении.

#### **Выводы и предложения.**

1. Для создания норм нового поколения необходимо провести коррекцию терминов.
2. Необходимо дать описание методов определения параметров ожидаемых сейсмических колебаний в зависимости от ожидаемых параметров землетрясения и грунтовых условий на строительной площадке.
3. Необходимо разработать метод расчета сооружений с использованием энергетических характеристик сейсмических воздействий. Это повысит точность результатов, по крайней мере, вдвое.

#### **Литература**

1. Медведев С.В. Определение интенсивности колебаний // Вопросы инж. сейсмологии. 1978. Вып. 19. С. 108-105.
2. Mikhailova N.N., Aptikaev F.F. Some Correlation Relations between Parameters of Seismic Motions // J. of Earthquake Prediction Research. 1996. Vol. 5, No 2. Moscow-Beijing. Pp. 257 - 267.
3. Аптикаев Ф.Ф., Эртелева О.О. Параметры спектров реакции // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008. № 5. С. 23 – 25.
4. Bommer J.J., Martinez-Pereira A. Strong-motion parameters: definition, usefulness and predictability / Proc. of the Twelfth World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 1 January–4 February, 2000, paper no. 0206.
5. Hanks T.S., Johnson D.A. Geophysical assessment of peak accelerations // BSSA. 1976. Vol. 66. Pp. 659 - 968.
6. Bureau G.J. Near-source peak ground acceleration // Earthquake Notes. 1981. Vol. 52, № 1. P. 81.
7. Campbell K.W. Near-source attenuation of peak horizontal acceleration // BSSA. 1981. Vol. 71, № 6. Pp. 2039 – 2070.
8. Yamada M., Olsen A.H., Heaton T.H. Statistical Features of Short-Period and Long-Period Near-Source Ground Motions // BSSA. 2009. Vol. 99, № 6. Pp. 3264 - 3274.
9. Аптикаев Ф.Ф. Инструментальная сейсмическая шкала. М.: Наука и образование, 2012. 176 с.
10. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах (актуализированный СНиП II-7-81\*). Издание официальное. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства. 2014.
11. ГОСТ Р 57546-2017 Национальный стандарт Российской Федерации “Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности”.
12. РБ-006-98. Определение исходных сейсмических колебаний грунта для проектных основ. М.: Госатомнадзор России, 2000. 76 с.

#### **References**

1. Medvedev S.V. Assessment of the vibration intensity // Problems of engineering seismology. 1978. Vol. 19. Pp. 108-105.
2. Mikhailova N.N., Aptikaev F.F. Some Correlation Relations between Parameters of Seismic Motions // J. of Earthquake Prediction Research. 1996. Vol. 5, No 2. Moscow-Beijing. Pp. 257 - 267.
3. Aptikaev F.F., Erteleva O.O. Response spectra parameters // Earthquake engineering. Construction safety. 2008. № 5. Pp. 23 – 25. (in Russian)

4. Bommer J.J., Martinez-Pereira A. Strong-motion parameters: definition, usefulness and predictability / Proc. of the Twelfth World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 1 January–4 February, 2000, paper no. 0206.
5. Hanks T.S., Johnson D.A. Geophysical assessment of peak accelerations // BSSA. 1976. Vol. 66. Pp. 659 - 968.
6. Bureau G.J. Near-source peak ground acceleration // Earthquake Notes. 1981. Vol. 52, № 1. P. 81.
7. Campbell K.W. Near-source attenuation of peak horizontal acceleration // BSSA. 1981. Vol. 71, № 6. Pp. 2039 – 2070.
8. Yamada M., Olsen A.H., Heaton T.H. Statistical Features of Short-Period and Long-Period Near-Source Ground Motions // BSSA. 2009. Vol. 99, № 6. Pp. 3264 - 3274.
9. Aptikaev F.F. Instrumental seismic scale. Moscow: Nauka i obrazovanie, 2012. 176 p.
10. Standard SP 14.13330. “Construction in Seismic Regions” (updated SNiP II-7-81\* “Construction in Seismic Regions”). Official edition. Moscow: Ministry of Construction and Utilities. 2014 (in Russian)
11. GOST R 57546-2017 National standard of Russian Federation “Earthquakes. Seismic intensity scale” (in Russian)
12. RB-006-98. Assessment of initial seismic ground vibrations for construction design. Moscow: Russia Gosatomnadzor, 2000. 76 p. (in Russian)

## **КОЛЕБАНИЯ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ, ВОЗБУЖДАЕМЫЕ ПРИ ЗАБИВКЕ СВАЙ НА ПЛОЩАДКЕ, В УСЛОВИЯХ ТОЧЕЧНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ**

**Заалишвили В.Б.**

Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук,  
Северо-Осетинский государственный университет им. К. Л. Хетагурова  
Владикавказ, Россия

**Гогмачадзе С.А.**

Грузино-американский университет,  
Тбилиси, Грузия  
[cgi\\_ras@mail.ru](mailto:cgi_ras@mail.ru)

**Аннотация.** В условиях точечной застройки забивка свай оказывает значительное влияние на близлежащие здания, которое должно учитываться при проведении работ. В статье впервые представлены инструментальные материалы, полученные в девяностые годы. Грунтовые условия представлены мягкопластичными глинами, мощность которых варьировалась от 4,5 м до 13,0 м. Рассмотрены особенности колебаний при забивке свай в предварительно пробуренную скважину меньшего диаметра – осесимметричный источник. Частота вертикальных колебаний составила  $f=18-20$  Гц, а горизонтальных –  $f=13-15$  Гц. Амплитуда вертикальных колебаний в ближней зоне составила 0,11-0,413 мм и в непосредственной близости к существующему зданию 0,0024-0,0061 мм. Кроме решения прямой задачи оценки параметров воздействия на существующие объекты, также рассмотрено экранирование колебаний. Выполнены расчеты воздействий с учетом экрана и без него.

**Ключевые слова:** забивка свай, грунты, сейсмические колебания, спектральный состав, поглощение, site effect, воздействие на застройку

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-94-94**

**Эффективный арматурный прокат с четырёхрядным винтовым профилем для сейсмостойкого строительства (производство, исследование, применение).**

**Effective rebar with four-row screw profile for earthquake-resistant construction (production, research, application).**

**Тихонов Игорь Николаевич**

доктор технических наук, начальник отдела инновационных разработок и конструктивных решений НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. +7(985)7648520, [nijhb\\_tikhonov@mail.ru](mailto:nijhb_tikhonov@mail.ru)

**Галишникова Вера Владимировна**

доктор технических наук, директор департамента строительства Инженерной академии РУДН. +7(915)3792468, [galishnikova\\_vv@pfur.ru](mailto:galishnikova_vv@pfur.ru)

**Окольникова Галина Эриковна**

кандидат технических наук, доцент департамента строительства Инженерной академии РУДН. +7(964)5934601, [okolnikova\\_ge@pfur.ru](mailto:okolnikova_ge@pfur.ru)

**Тихонов Георгий Игоревич**

инженер-конструктор отдела инновационных разработок и конструктивных решений НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. +7(916)7871306, [dwarwe1993@mail.ru](mailto:dwarwe1993@mail.ru)

**Кузьменко Надежда Викторовна**

директор по развитию ООО "Металлопрокатный завод", +7(495)4100078, [kuzmenkonv@tigk.ru](mailto:kuzmenkonv@tigk.ru)

**Tikhonov Igor Nikolaevich**

Doctor of Technical Sciences, Head of the Department for innovational and design decisions Engineeing center, NIIZHB n.a. A.A. Gvozdev. +7(985)7648520, [nijhb\\_tikhonov@mail.ru](mailto:nijhb_tikhonov@mail.ru)

**Galishnikova Vera Vladimirovna**

Doctor of Technical Sciences, Director of Department of Civil Engineering, Academy of Engineering, RUDN University, +7(915)3792468, [galishnikova\\_vv@pfur.ru](mailto:galishnikova_vv@pfur.ru)

**Okolnikova Galina Erikovna**

Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor Department of Civil Engineering, Academy of Engineering, RUDN University, +7(964)5934601, [okolnikova\\_ge@pfur.ru](mailto:okolnikova_ge@pfur.ru)

**Tikhonov Georgy Igorevich**

Design engineer of Department for innovational and design decisions Engineeing center, NIIZHB n.a. A.A. Gvozdev. +7(916)7871306, [dwarwe1993@mail.ru](mailto:dwarwe1993@mail.ru)

**Kuzmenko Nadejda Viktorovna**

Marketing director, ООО "Металлопрокатnyi zavod", +7(495)4100078, [kuzmenkonv@tigk.ru](mailto:kuzmenkonv@tigk.ru)

**Аннотация.** В НИИЖБ им. А.А. Гвоздева при участии департамента строительства Инженерной Академии РУДН выполняются исследования новой четырёхрядной винтовой арматуры классов Ав500П и Ав600П, имеющей улучшенное сцепление с бетоном и свойства винтовой арматуры по безсварной стыковке муфтами и анкеровке гайками. Полученные результаты исследований позволили рекомендовать широкомасштабное внедрение новой арматуры в сейсмостойкое строительство и включить эту инновационную разработку в Базу НДТ Госкорпорации «Росатом».

**Ключевые слова:** четырёхрядный винтовой арматурный прокат, сейсмостойкое строительство, инновационные решения, «Росатом»

**Abstract.** In NIIZHB named after A. A. Gvozdeva, with the participation of the construction Department of the Engineering Academy of RUDN University research performed new four row spiral reinforcement classes Av500P and Av600P having improved adhesion on concrete and the possibility of spiral reinforcement along unwelded docking by couplings and anchoring by nuts. The results of the research allowed to recommend the large-scale introduction of new valves in earthquake-resistant construction and to include this innovative development in the base of NDT of "Rosatom" state Corporation.

**Keywords:** four-row screw reinforcing bars, earthquake-resistant construction, innovative solutions, "Rosatom"

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-95-97**

В течение последних лет в ОАО «НИЦ «Строительство» ведутся широкомасштабные работы по созданию эффективных видов арматурного проката для производства железобетона.

Разработанная в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева арматура с четырёхсторонним расположением поперечных рёбер класса А500СП нашла широкое применение в обычном и сейсмостойком строительстве. Производство этой арматуры на ОАО «Евраз ЗСМК» достигло 4,0 млн. тонн.

В последние годы разработан новый вид арматурного проката с четырёхрядным винтовым профилем, в котором сохранены эффективность сцепления с бетоном в эксплуатационной и запредельной стадии деформирования (после достижения  $\sigma_{T(02)}$ ) арматуры класса А500СП, а также обеспечены свойства винтовой арматуры, стыкуемой муфтами и анкеруемой гайками. Такой универсальный арматурный прокат может быть изготовлен на типовом двухвалковом прокатном оборудовании и из нормируемых для обычной арматуры марок стали, в результате чего его себестоимость увеличивается незначительно.

Были произведены опытные прокатки новой арматуры класса Ав500П и Ав600П на Тульском металлопрокатном заводе и на ОАО «Евраз ЗСМК».

В НИИЖБ им. А.А. Гвоздева при участии департамента строительства Инженерной академии РУДН выполнены исследования прокатанной арматуры.

Установлена высокая прочность сцепления с бетоном арматуры класса Ав500П и Ав600П как в эксплуатационной, так и запредельной стадии деформирования арматуры. Так, при длине анкеровки  $5d$  (8см) прочность сцепления арматуры диаметром 16мм в бетоне с  $R_b \approx 300 \text{ Н/мм}^2$  достигла  $(0,9 \div 1,0) \sigma_{0,2}$ . При увеличении длины анкеровки достигается разрыв арматуры или же её глубокое пластическое деформирование без разрушения сцепления с бетоном.

При испытаниях на выносливость (до 2,0 млн. циклов нагружения) были достигнуты без разрушения  $\sigma_{max} = 400 \text{ Н/мм}^2$  при  $\sigma_{min} = 200 \text{ Н/мм}^2$  ( $\rho = 0,5$ ), которые на 33,3% выше нормируемых величин для классов арматуры А500 и А600  $\sigma_{msx} = 300 \text{ Н/мм}^2$  и  $\sigma_{min} = 150 \text{ Н/мм}^2$ .

Исследования муфтовых соединений новой винтовой арматуры показали их высокую прочность и низкую деформативность.

Полученные результаты исследований позволяют рекомендовать новую арматуру как для обычного, так и атомноэнергетического, гидротехнического и транспортного строительства в сейсмических районах.

Разработки по теме «Винтовая арматура с эффективным периодическим профилем класса Ав500П» включена в «Реестр инновационных решений, технологий, продукции, изделий, материалов, высокотехнологичных услуг в сфере капитального строительства объектов использования атомной энергии» (Базу НДТ) Госкорпорации «Росатом». В 2019 году планируется выполнение работ по обоснованию применимости новой арматуры на объектах использования атомной энергии.

## **К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРИОДА СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ МАЛОИНТЕНСИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

### **TO THE QUESTION OF USING OF THE PERIOD OF OSCILLATION OF THE FRAME BUILDINGS AT LOW-INTENSITY EXPOSURE**

**Тонких Г.П.**

д.т.н., профессор, главный научный сотрудник 2НИЦ ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (Федеральный центр науки и высоких технологий). Тел. 8(903)683-97-23, E-mail: [5059144@mail.ru](mailto:5059144@mail.ru)

**Tonkikh G. P.**

Doctor of technical Sciences, Professor, Chief researcher Federal state budgetary institution "All-Russian research Institute on civil defense and emergency situations of EMERCOM of Russia" (Federal center of science and high technologies).  
Tel. 8 (903)683-97-23, E-mail: 5059144@mail.ru

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-98-102**

В соответствии с требованиями ГОСТ 31937 [1] при детальном обследовании зданий и сооружений, выполненных, в том числе, в каркасном исполнении, а также при мониторинге их технического состояния предлагается определять динамические параметры, в состав которых входят периоды основного тона собственных колебаний вдоль продольной и поперечной осей, а также вдоль вертикальной оси. В соответствии с приведенными требованиями предлагается проводить сравнение текущих динамических параметров с предыдущими, определенными по результатам ранее проведенных обследований. При этом, если показатели определяемых параметров будут отличаться более чем на 10%, то данный факт должен служить основанием для более детального обследования данного участка здания или отдельной конструкции.

В большинстве случаев динамические параметры определяют при воздействии на конструкции зданий и сооружений малоинтенсивной динамической нагрузкой в виде ударов мешка с песком весом 30-40кг, в различных частях зданий, как по длине, так и по высоте. При этом, ускорения и амплитудно-частотные характеристики замеряют с помощью одно-, двух и трех компонентных акселерометров, установленных в определенных местах по длине и высоте зданий и сооружений.

Динамические характеристики, частоты и периоды основного тона собственных колебаний зданий «гибких конструктивных схем» при малоинтенсивных воздействиях отличаются от тех, которые проявляются в этих зданиях при воздействии расчетных землетрясений. Причиной этого является существенное влияние ненесущих конструкций, перегородок и навесных стеновых панелей, которые при малоинтенсивных воздействиях включаются в совместную работу с каркасом. Совместность малоамплитудных колебаний несущего каркаса и ненесущих конструкций происходит из-за наличия между ними связей: стыки между перегородками и колоннами при отделке заполняются цементно-песчаным раствором; навесные стеновые панели устанавливаются на опорные столики колонн и т.п. При малоинтенсивных воздействиях, в отличие от колебаний при землетрясениях расчетного уровня, данные связи не выключаются, что приводит к получению завышенных частотных характеристик зданий [2,3,4] и получению на их основе завышенных показателей сейсмостойкости каркасных зданий в соответствии с СП 14.13330.2014 [5].

Для оценки влияния несущих конструкций на динамические параметры каркасных зданий и сооружений при малоинтенсивных воздействиях были проведены испытания натуральных зданий и моделей, с учетом соблюдения основных принципов подобия:

1. Физические явления в натуре и модели должны описываться одинаковыми уравнениями (уравнениями связи) и иметь одинаковые критерии подобия;
2. Критериальные уравнения должны быть численно равны у подобных явлений;
3. У натуре и модели должно быть соблюдено равенство условий однозначности (граничных условий, начальных параметров, условий загрузки и т.п.).

Соблюдение принципов подобия при испытаниях на модели было достигнуто изготовлением геометрически подобной модели в определённом масштабе к натурному объекту, когда все размеры модели уменьшаются в определённое число раз по сравнению с соответствующими размерами натуре, а также подобным приложением воздействий [6,7].

В качестве натурального здания для аналога модели было выбрано каркасно-панельное 3-х этажное здание казармы, выполненное по серии 1.020.1-2С. Данная серия (усовершенствованная серия ИИС-04) предназначена для возведения зданий жилищного, социально-культурного и промышленного назначений, эксплуатирующихся в сейсмически опасных регионах с интенсивностью 7-9 баллов.

Несущими конструкциями здания являются колонны и ригели, образующие поперечные рамы с жесткими узлами (рамная конструктивная схема), а также диафрагмы жесткости (рамно-связевая конструктивная схема).

При масштабе моделирования 1:20 детально изготовить все конструкции и узлы их взаимного крепления у модели в абсолютном подобии натурному зданию невозможно. Кроме того, исследование влияния несущих конструкций на частотные характеристики модели каркасного здания не требует проверки на прочность и деформативность элементов каркаса, узлов их соединения, оценки работы конструкции за пределами упругой стадии.

На основании этого было принято, что для исследования изменения частотных характеристик каркасного здания при его заполнении несущими конструкциями достаточным условием станет достижение динамического подобия модели по частотному признаку, при условии выполнения их в полном геометрическом подобии с соблюдением принципиальных требований, предъявляемых к конструированию каркасных зданий.

Все элементы каркасного здания были смоделированы с соблюдением подобия по размерам, массе и жесткости. При этом учитывался собственный вес конструкций, а также вес полезной распределённой нагрузки на перекрытия.

На основании проведенных расчетов, в соответствии с принятыми принципами подобия, установлено, что для определения частоты собственных колебаний элементов натурального здания необходимо будет частоты собственных колебаний модели -  $\nu$  умножать на коэффициент подобия, равный 0,1146.

Проведенные испытания показали, что периоды собственных колебаний первой формы модели казармы из оргстекла составили – 0,04 сек в продольном направлении и 0,055 сек в поперечном направлении. При пересчете к периодам натурального здания, с применением коэффициента 8,726 ( $T=1/\nu$ ), данные значения составили в продольном направлении – 0,35 сек и в поперечном направлении – 0,48 сек.

В результате динамических испытаний натурального здания этой же серии [3,4] было установлено, что период собственных колебаний первой формы составляет: в продольном направлении – 0,33 сек и в поперечном направлении – 0,45 сек.

Сравнительный анализ представленных результатов показывает, что их различие составляет 6-6,6 %. Данное отклонение полученных значений может быть признано незначительным и свидетельствовать о том, что подобие модели и натурального здания обеспечивается и перенос результатов, полученных на модели к натуре, возможен.

При проведении исследований было установлено, что с размещением несущих конструкций и увеличением их числа частота колебаний повышалась. При этом, характер расположения несущих конструкций оказывал влияние на характер повышения частоты собственных колебаний. Например, перегородки, размещенные во всех пролетах на первом этаже, повысили частоту колебаний модели в продольном направлении на 44 % (с 9,1 Гц до 13,1 Гц). Перегородки, размещенные на 3 этаже, повысили частоту на 40 % (с 9,1 Гц до 12,7 Гц), и т.д.

На основании выполненных исследований и полученных зависимостей изменения частоты собственных колебаний модели каркасного здания предлагается при проведении натурных испытаний каркасных зданий воздействиями малой интенсивности, для оценки влияния несущих конструкций, использовать коэффициент влияния  $K_e$  [2].

Значения коэффициента  $K_e$  выбираются в зависимости от фактического заполнения несущими конструкциями здания в плане, на этажах и наличия навесных стеновых панелей.

Значение фактического периода собственных колебаний здания по первой форме рекомендуется определять в соответствии с выражением:

$$T_{\phi} = T_3 K_e$$

где  $T_{\phi}$  - фактический период собственных колебаний;

$T_3$  - период собственных колебаний, определенный экспериментально;

$K_e$  - коэффициент влияния несущих конструкций.

Значения коэффициента влияния несущих конструкций  $K_e$  в зависимости от различного заполнения этажей приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	Заполнение каркаса здания несущими конструкциями	Значения коэффициента $K_e$	
		Рамная конструктивная схема с самонесущими стенами	Рамно-связевая конструктивная схема с самонесущими стенами
1.	1 этаж	1,4/1,1	1,0/1,1
2.	1 и 2 этажи	2,0/1,2	1,4/1,2
3.	1, 2 и 3 этажи	2,4/1,2	1,5/1,2
4.	2 этаж	1,4/1,1	1,2/1,1
5.	3 этаж	1,4/1,1	1,2/1,1
6.	2 и 3 этажи	1,8/1,1	1,3/1,1
7.	1 и 3 этажи	1,7/1,1	1,4/1,2
8.	По 25 % на этажах	1,3/1,1	1,0/1,1
9.	По 50 % на этажах	1,7/1,2	1,2/1,2
10.	По 75 % на этажах	2,0/1,2	1,3/1,2
Примечание: В числителе указаны значения коэффициента $K_e$ при расположении несущих конструкций в продольном направлении, в знаменателе - в поперечном направлении.			

Навесные стены приводят к более существенному влиянию на период собственных колебаний здания. Так значение коэффициента  $K_e$ , для зданий рамной конструктивной схемы, составляет при продольном расположении стен 2,75, а при поперечном 1,25 не

зависимо от заполнения этажей несущими конструкциями. Для зданий рамно-связевой конструктивной схемы значение коэффициента  $K_e$  составляет соответственно 1,7 и 1,3.

Учитывая изложенное можно заключить, что использование экспериментально полученного периода собственных колебаний каркасного здания, для оценки его фактического технического состояния, в том числе сейсмостойкости и определенного с помощью малоинтенсивных воздействий, без учета влияния несущих конструкций, не представляется возможным.

В тоже время в ряде исследований [8,9] предлагается проводить сравнение нормативных периодов собственных колебаний зданий, полученных расчетным путем, с экспериментальными значениями периодов собственных колебаний, определенных при малоинтенсивных динамических испытаниях, то есть предлагается использование прямого измерения категории технического состояния здания и сооружения путем сравнения частот колебаний с расчетными или принятыми значениями нормативных частот. В случае увеличения фактического значения периода собственных колебаний или увеличения квадрата частоты собственных колебаний над нормативными значениями, на величину от 10 до 100%, предлагается делать вывод о степени повреждения зданий и сооружений различных конструктивных схем, от легкой степени до катастрофической. При этом, влияние несущих конструкций на амплитудно-частотные характеристики зданий полностью не учитываются, что приводит к получению не точных результатов, а следовательно и к не точной оценке фактического технического состояния здания.

На основании изложенного можно сделать следующие основные выводы.

1. При проведении динамических испытаний, с использованием малоинтенсивных нагрузок, необходимо учитывать влияние несущих конструкций на частотные характеристики каркасных зданий. В данной работе предложены значения коэффициента  $K_e$ , учитывающие количество и расположение в плане и на этажах перегородок и наличие навесных стеновых панелей для зданий рамной и рамно-связевой конструктивной схем.
2. Использование периодов собственных колебаний зданий и сооружений, определенных с применением малоинтенсивных динамических нагрузок, в соответствии с требованиями ГОСТ 31937-2011, возможно при интегральной оценке их технического состояния только путем сравнения с результатами ранее проведенных аналогичных испытаний. При этом, если полученные результаты отличаются более чем на 10%, то это должно послужить основанием для проведения более детального обследования и выявления причины такого отличия.
3. Использование фактического значения периода собственных колебаний зданий и сооружений, определенного с использованием малоинтенсивных воздействий, для оценки их несущей способности путем сравнения с расчетным значением периода собственных колебаний, без учета влияния несущих конструкций на частотные характеристики зданий, приведет к неправильной оценке напряженно-деформированного состояния несущих конструкций, а следовательно и к неточной оценке категории технического состояния здания и сооружения.

## Список литературы

1. ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».
2. Тонких Г.П., Кабанцев О.В., Дорофеев М.Л. «Пособие по учету влияния несущих конструкций на динамические характеристики общевоинских каркасных зданий при оценке их сейсмостойкости». М.: 26 ЦНИИ МО РФ, 2004 г., 43 с.
3. Тонких Г.П., Кабанцев О.В., Дорофеев М.Л. Экспериментальные исследования влияния неконструктивных элементов на периоды собственных колебаний каркасных зданий. Журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», № 6, 2002 г. – С. 12-16.

4. Тонких Г.П. Влияние ненесущих конструкций на динамические параметры каркасных зданий и сооружений при малоинтенсивных динамических нагрузках. Журнал «Промышленное и гражданское строительство» 2016, №7, г., стр.58-63.
5. СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*».
6. Алабушев П.М., Ельников и др. Подобие и моделирование в задачах и примерах. – Курск: Курский Государственный университет, 1997 г., 172 с.
7. Тарасов А.М. Определение критериев подобия и переходных соотношений при моделировании мостовых конструкций. // Труды ЦНИИС, 1974 г. – №80.
8. Методика оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений. ФЦНВТ «ВНИИ ГОЧС», Москва 2003 г.
9. Г.М. Нигметов, М.В. Сошенко, В.И. Шмырев Подход к оценке нагрузок на сооружение после взрыва бытового газа. Журнал «Технологии гражданской безопасности», том 15, 2018, №1(55), стр. 28-32

## **ВАЛИДАЦИЯ НЕКЛАССИЧЕСКОГО МЕТОДА МОДАЛЬНОЙ СУПЕРПОЗИЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ГРУНТОВЫМ ОСНОВАНИЕМ**

### **VALIDATION OF THE NON-CLASSICAL FORM OF MODAL SUPERPOSITION METHOD IN SOIL-STRUCTURE INTERACTION PROBLEMS**

**Турилов В.В.**

к.т.н., с.н.с., нач. лаб. АО ИК "АСЭ". Нижний Новгород, Россия

**Уткин И.А.**

ведущий инженер АО ИК "АСЭ" Нижний Новгород, Россия

**Turilov V.V.**

Head of Dynamic Analysis Laboratory, PhD, JSC ASE EC. Nizhny Novgorod, Russia

**Utkin I.A.**

Leading Engineer, JSC ASE EC. Nizhny Novgorod, Russia

**Аннотация:** В работе осуществляется валидация неклассического метода модальной суперпозиции (НММС) [1] применительно к задачам взаимодействия зданий и сооружений с грунтовым основанием. На примере расчетов реакторного отделения АЭС при сейсмическом воздействии, выполненных различными методами, показана высокая точность и эффективность НММС.

**Ключевые слова:** валидация неклассического метода модальной суперпозиции, взаимодействие зданий и сооружений с грунтовым основанием.

**Abstract:** Validation of the non-classical form of modal superposition method [1] in soil-structure interaction problems is performed. High accuracy and efficiency of this method is shown by the example of calculations of reactor building of NPP under the seismic excitation.

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-103-106**

Реализованный в программном средстве (ПС) NX NASTRAN неклассический метод модальной суперпозиции был представлен в статье [1]. Напомним, что существование неклассической формы метода модальной суперпозиции, в отличие от классической формы данного метода, состоит в том, что в пространстве обобщенных координат матрица демпфирования не предполагается диагональной. Вследствие этого система уравнений движения в обобщенных координатах не распадается на совокупность независимых уравнений, а решается методами прямого пошагового интегрирования подобно тому, как это делается для системы уравнений в физических координатах. Такой подход позволяет снять основное ограничение на применение метода модальной суперпозиции в классической форме – непревышение максимальной величиной модального демпфирования значения 20 % от критического демпфирования.

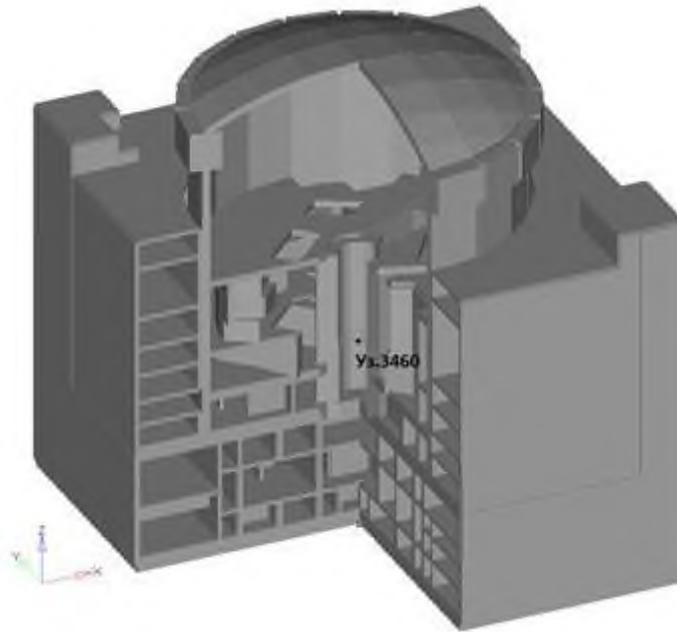


Рисунок 1 – Общий вид реакторного отделения

Это ограничение весьма существенно для задач о взаимодействии зданий и сооружений с грунтовым основанием, когда на формах, связанных (в основном) с колебаниями объекта на “грунтовых” пружинах, вследствие волнового демпфирования модальные затухания существенно превышают указанное пороговое значение. Кроме того, в неклассическом методе модальной суперпозиции корректно учитываются “грунтовые” демпферы, дающие существенный вклад во внедиагональные члены матрицы демпфирования в обобщенных координатах (в классической форме данного метода внедиагональные члены отбрасываются). Сложность валидации рассматриваемого метода для реальных задач состоит в том, что решения таких задач в аналитическом виде получить невозможно, а при кроссверификации (сравнение с результатами, полученными с помощью других, уже аттестованных ПС) возникают существенные трудности в корректном преобразовании конечно-элементной модели (КЭ-модели) исследуемого объекта из одного ПС в другое ПС. Кроме того, отличия в способах описания демпфирования для различных ПС приводят к неоднозначности в трактовке сравниваемых результатов. В данной работе рассмотрен специальный алгоритм построения матрицы демпфирования системы сооружение – грунтовое основание, основанный на переходе из пространства обобщенных координат в пространство физических координат. С использованием построенной таким образом матрицы демпфирования устраняются побочные эффекты, вносящие свой вклад в различие решений, получаемых с помощью метода прямого пошагового интегрирования (МППИ) и НММС. На рисунке 1 представлен изометрический вид конечноэлементной модели реакторного отделения АЭС. Для демонстрации сложной внутренней структуры объекта четверть здания условно удалена. На рисунке 2 приведены графики спектров ответа для относительного затухания вторичных осцилляторов 2 % на опорном кольце реактора (узел № 3460).

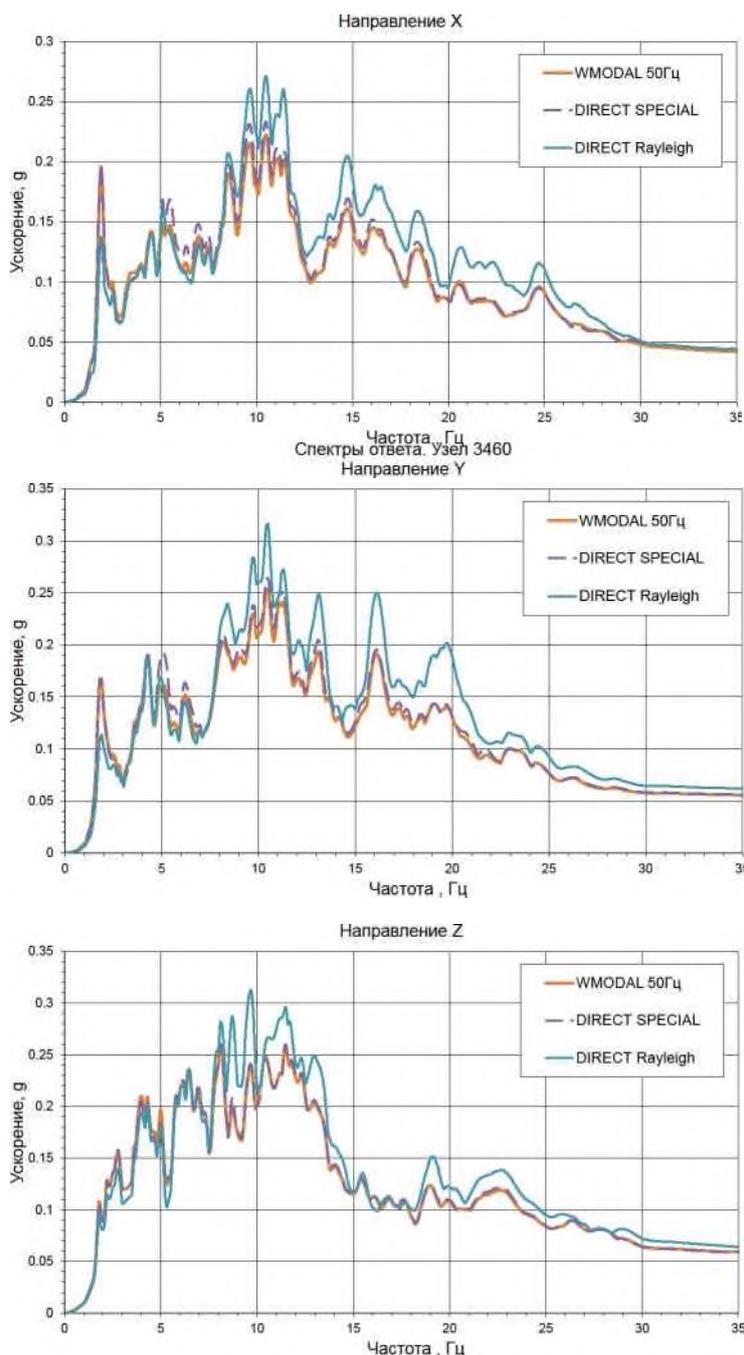


Рисунок 2 - Спектры ответа в узле № 3460

Надписи на этих рисунках означают следующее:

- WMODAL 50Гц – результаты получены с использованием НММС при удержании в решении всех собственных форм системы с частотами до 50 Гц (матрица модального демпфирования учитывает конструкционное демпфирование в системе и “грунтовые” демпферы); матрица демпфирования сформирована по специальному алгоритму с удержанием всех собственных форм системы с частотами до 50 Гц;
- DIRECT Rayleigh – результаты получены с использованием МППИ, применена матрица демпфирования Рэля для учета конструкционного демпфирования в системе (коэффициенты Рэля рассчитаны из условий равенства относительных затуханий 7 % на

низшей частоте системы – 1,6 Гц и на частоте 50 Гц), а также “грунтовые” демпферы для учета волнового демпфирования в грунтовом основании.

Из приведенных графиков следует, что результаты, полученные с помощью НММС, практически совпадают с результатами, полученными с помощью МППИ при использовании специально построенной матрицы демпфирования. Следует отметить, что при этом время расчета в первом случае меньше, чем во втором, почти на два порядка. Несущественные отличия в рассматриваемых результатах обусловлены тем, что в неклассическом методе модальной суперпозиции формы с частотами, превышающими 50 Гц, отсекаются полностью, а в методе прямого пошагового интегрирования принятая (для всех приведенных решений) величина шага интегрирования 0,002 с неявно оставляет в решении и более высокочастотные формы. Например, в решении неявно присутствуют формы (с уменьшающейся точностью представления), на периодах которых укладываются от 10 до 4 шагов, что соответствует частотам от 50 Гц до 125 Гц. Из этих же графиков видно, что метод прямого пошагового интегрирования при использовании матрицы демпфирования Рэлея дает в целом более консервативные результаты, что приводит в дальнейшем к завышению инерционных нагрузок на оборудование. Таким образом, в работе показано, что применение НММС в задачах взаимодействия зданий и сооружений с грунтовым основанием весьма эффективно как по точности решения, так и по временным затратам на соответствующие расчеты. Кроме того, выполненные расчеты показывают, что применение НММС устраняет излишний консерватизм в определении спектров ответа, который крайне нежелателен с точки зрения обеспечения сейсмостойкости размещаемого в исследуемых объектах технологического, электротехнического, контрольно-измерительного и прочего оборудования.

## **Литература**

1. Турилов В. В., Уткин И. А. Применение метода модальной суперпозиции в неклассической форме для решения задач взаимодействия зданий и сооружений АЭС с грунтовым основанием при сейсмических воздействиях // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2017. № 2. С. 30-35.

**РАЗВИТИЕ НОРМАТИВНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОДЗЕМНЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НА ОСНОВЕ ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**DEVELOPMENT OF NORMATIVE METHODS OF CALCULATION OF UNDERGROUND MAIN PIPELINES BASED ON THE WAVE THEORY OF SEISMIC STABILITY OF UNDERGROUND STRUCTURES**

**Султанов К.С.**

доктор физ.-мат. наук, проф., гл. научн. сотр., Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз

**Кумаков Ж.Х.**

ассистент, Ташкентский архитектурно строительный институт

**Sultanov K.S.**

Doctor of Physcal-Mathematical Sciences, Professor, Chief Scientific Researcher, Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures of the Academy of Sciences of Uzbekistan

**Kumakov J.Kh.**

Lecturer, Tashkent Architecture and Construction Institute Аннотация.

**Аннотация.** Продольная напряжения в подземном трубопроводе при воздействии сейсмической нагрузки нормативными методами расчета определяется на основе гипотезы о равенстве деформаций грунта и трубопровода. Здесь предлагается метод определения продольного сейсмического напряжения на основе напряженно-деформированного состояния грунтовой среды вокруг подземного трубопровода. Показана более реальность предлагаемого метода при воздействии сейсмической нагрузки на систему трубопровод-грунтовая среда.

**Abstract.** Longitudinal stresses in underground pipelines under the effect of seismic load are determined by normative methods of calculation on the basis of the hypothesis of strain equality in soil and in a pipeline. A method to determine the longitudinal seismic stresses is proposed in the paper based on the stress-strain state of soil medium around an underground pipeline. The reality of the proposed method is shown under the effect of seismic load on the pipeline–soil system.

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-107-112**

Напряженное состояние подземных трубопроводов непосредственно зависит от напряженного состояние грунтов, через которые передается сейсмическая нагрузка на трубопровод [1-8]. Напряженное состояние грунта вокруг трубопровода, зависит от волновых процессов, происходящих в грунтовой среде при распространении сейсмической

волны, от механических свойств грунта и т.д. [8]. Волновой процесс в грунте является нестационарным. Также возникает нестационарный волновой процесс в трубопроводе. При разработке методов расчета напряженного состояния подземных трубопроводов на сейсмические воздействия, перечисленные выше факторы существенно упрощаются.

Метод определения продольных напряжений подземного трубопровода [1] основан на гипотезе равенства деформации трубопровода на деформацию грунта при распространении сейсмической волны в системе «грунтовая среда - трубопровод». Здесь, из решения задачи о распространении плоской сейсмической волны в грунте, определяется максимальная деформация грунта и она принимается за деформацию трубопровода. Далее, из закона Гука, определяется продольная напряжения трубопровода. Полученная при этом формула поправочными коэффициентами [1]. Очевидно, что принимаемая здесь гипотеза о равенстве деформации трубопровода к деформации грунта, не может иметь место в действительности. Однако, как утверждается в [1], этот метод позволяет определить максимальную продольную напряжения в подземном трубопроводе. В настоящее время, нормативные методы расчета продольных сейсмических напряжений в подземных трубопроводах, основаны на гипотезу [1].

В динамической теории сейсмостойкости подземных трубопроводов, рассмотренных в [1-4], продольная напряжения трубопровода зависит от силы взаимодействия трубопровода с грунтом, возникающих под действием сейсмической нагрузки. Значения силы взаимодействия, считается пропорциональным, значению относительного смещения. Далее, с учетом этой силы, продольная напряжения трубопровода определяется из уравнения продольного стационарного колебания упругого или неупругого стержня. В этом случае, также, волновой процесс или динамическая напряженная состояния грунта игнорируется, мало того, грунт фактически считается недеформируемым телом. Учитывается только движения грунта, как твердого тело. Эти допущения, также не соответствуют действительности.

В [8] разработана волновая теория сейсмостойкости подземных трубопроводов, учитывающая практически всех перечисленных выше факторов.

Целью настоящей работы является определение продольных напряжений в подземном трубопроводе при воздействии сейсмических нагрузок, на основе волновой теории [8].

Рассмотрим простейший случай, одномерные волновые задачи о распространении плоской волны в грунте и в трубопроводе. Распространение плоской сейсмической волны в системе «грунтовая среда – подземный трубопровод» рассматривается на двух связанных одномерных нестационарных волновых задачах, описываемые уравнениями

$$\rho_{oi} \frac{\partial v_i}{\partial t} - \frac{\partial \sigma_i}{\partial x} + \chi_i \sigma_t = 0, \quad \frac{\partial v_i}{\partial t} - \frac{\partial \varepsilon_i}{\partial x} = 0, \quad \chi = \text{sign}(v) \quad (1)$$

$$\frac{\partial \varepsilon_i}{\partial t} + \mu_i \varepsilon_i = \frac{\partial \sigma_i}{E_{Di} \partial t} + \mu_i \frac{\sigma_i}{E_{Si}}, \quad \mu_i = \frac{E_{Di} E_i}{(E_{Di} - E_{Si}) \eta_i}$$

где  $i = 1, 2$ ; при  $i = 1$  все параметры относятся к трубопроводу, а при  $i = 2$  – к грунту,  $\sigma_i$  – продольное по оси  $x$  напряжение,  $\varepsilon_i$  – продольная деформация,  $v_i$  – продольная скорость частиц,  $E_{Di}$  – модуль динамического сжатия,  $E_{Si}$  – модуль статического сжатия,  $\mu_i$  – параметр вязкости,  $\eta_i$  – коэффициент вязкости,  $\chi$  – знак скорости,  $v$  – относительная скорость ( $v = v_2 - v_1$ ),  $\sigma_\tau$  – приведенная сила взаимодействия трубы с грунтом.

Согласно уравнениям (1) грунтовая среда и материал трубопровода считается линейным вязкоупругим телом. В частном случае, когда  $E_D \rightarrow E_S$ , модель среды переходит в модель упругого тела.

Волна создается в начальном сечении  $x = 0$  нагрузкой, изменяющейся по закону

$$\sigma_i = \sigma_{\max} \sin(\pi t / T) \text{ при } 0 \leq t \leq \theta \quad (2)$$

$$\sigma_i = \text{при } t > 0$$

где  $\sigma_{\max}$  – амплитуда,  $\theta$  – время действия,  $T$  – полупериод нагрузки.

На фронте волны выполняется условие

$$\sigma_i = -c_{0i} \rho_{0i} v_i, \quad v_i = c_{0i} \varepsilon_i, \quad c_0 = (E_{Di} / \rho_{0i})^{1/2} \quad (3)$$

где  $c_{0i}$  – скорость распространения продольной волны в трубопроводе ( $i = 1$ ) и грунте ( $i = 2$ ).

Постановка задачи соответствует случаю, когда протяженный трубопровод находится в полупространстве. Ось  $x$  трубопровода и полупространство совпадают. На поверхности контакта трубопровода с грунтом образуется сила взаимодействия (трения), которая определяется соотношением

$$\sigma_\tau = 4D_H \tau (D_H^2 - D_B^2) \quad (4)$$

где  $D_H$  – наружный диаметр,  $D_B$  – внутренний диаметр трубопровода,  $\tau$  – касательное к внешней поверхности напряжение, определяемое из законов взаимодействия, предложенных в [5].

Система уравнений (1) с граничными условиями (2), (3) решается методом характеристик с последующим применением метода конечных разностей.

Для проведения расчетов приняты следующие значения исходных данных для трубопровода и грунта:

$D_H = 0.2$  м;  $D_B = 0.18$  м;  $\rho_{01} = 7800$  кг/м<sup>3</sup>;  $c_{01} = 5000$  м/с;  $\mu_1 = 10^6$  с<sup>-1</sup>;  $E_{D1} = E_{S1} = 2 \cdot 10^5$  МПа;  $\rho_{02} = 2000$  кг/м<sup>3</sup>;  $c_{02} = 500$  м/с;  $\mu_2 = 10^4$  с<sup>-1</sup>;  $E_{D2} = E_{S2} = 2 \cdot 10^3$  МПа;

коэффициент бокового давления грунта  $K_\square = 0.3$ .

Значения параметров модели взаимодействия [5]:  $C_S = 100$  м/с;  $K_N = 100$  м<sup>-1</sup>;  $f_N = 0.425$ ;  $\gamma_N = 1.5$ ;  $\gamma_*^m = 4$ ;  $\beta_u = 2.5$ ;  $\varphi = 0$ ;  $\kappa = 0.1$ . Рассматривается полубесконечный трубопровод ( $L = 10000$  м).

Параметры нагрузки  $\sigma_{\max} = 0.5$  МПа;  $T = 0.01$  с, что соответствует высокочастотной сейсмической нагрузке ( $\omega = 50$  с<sup>-1</sup>) с амплитудой 0.5 МПа.

Вертикальное к оси трубопровода напряжение определяется по формуле

$$\sigma_N = \sigma_N^S + \sigma_N^D, \quad \sigma_N^D = K_\sigma \sigma_2 \quad (5)$$

где  $\sigma_N^S$  – статическое напряжение, определяемое весом грунта над трубопроводом.

На рис.1 приведено изменение касательного напряжения на поверхности контакта трубопровода с грунтом на сечении  $x = 7.5$  м, согласно закону взаимодействия, основанному на модели стандартно-линейного тела [5]. Касательное напряжение нарастает с увеличением относительного смещения  $u = u_2 - u_1$ , достигает пикового значения, затем спадает. При  $u = 0.005$  м значение  $\tau$  стабилизируется и она определяется из закона Кулона [5]. При изменении знака относительной скорости  $v = v_2 - v_1$ , значение  $\tau$  уменьшается до нуля и далее начинается новый цикл взаимодействия.

На рис.2 приведены изменения продольных напряжений, относящихся к сечениям трубопровода  $x = 2.5$  м (кривые 1-3); 5 м (кривые 1<sup>0</sup>-3<sup>0</sup>) и 7,5 м (кривые 1\* -3\*) от начального сечения. Кривые 1 получены при  $K_\sigma = 0$ ; для кривых 2 –  $K_\sigma = 0.3$  и при  $\sigma_N^D < 0, \sigma_N = \sigma_N^S = const$ ; для кривых 3 –  $K_\sigma = 0.3$ ; при  $\sigma_N^D < 0, \sigma_N = 0$ .

Прежде всего, результаты расчетов на рис.2 показывают существенный рост напряжения, по сравнению с амплитудой волны в грунте ( $\sigma_{max} = 0.5$  МПа). При рассматриваемых исходных данных волна в грунте затухает незначительно. Влияние  $\sigma_\tau$  на параметры волн в грунте практически нет.

При частоте продольной волны в грунте  $\omega = 50$  с<sup>-1</sup>, увеличение напряжения в трубопроводе наблюдается в сто раз, т.е. до 50 МПа.

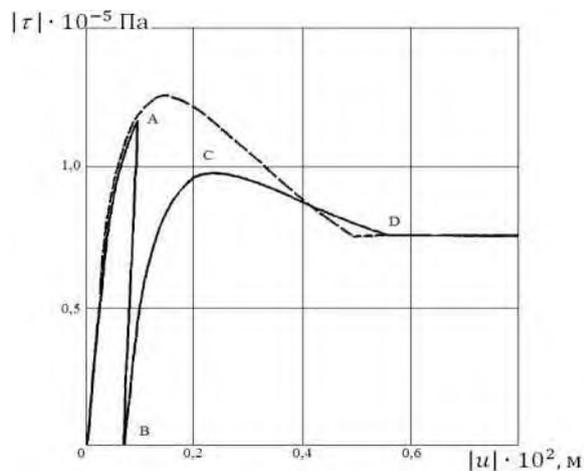


Рис.1. Изменение касательных напряжений в сечениях трубопровода

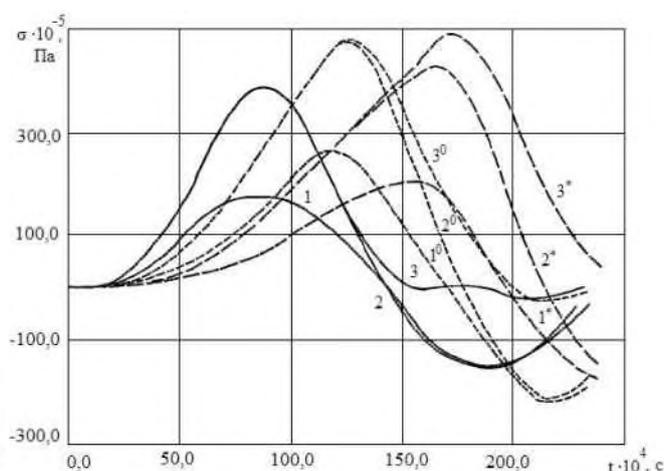


Рис.2. Изменение продольных напряжений в различных сечениях трубопровода

Результаты расчетов показывают, что при дальнейшем уменьшении частоты сейсмической волны до  $\omega = 5$  с<sup>-1</sup>, максимальное напряжение в трубопроводе увеличивается до 150 МПа, в 300 раз по сравнению с амплитудой сейсмической волны в упругом грунте. Учет в расчетах вязких и пластических свойств грунта приводит к ещё большему увеличению продольного напряжения в грунте на 20-30% по сравнению с упругим случаем. В результате в трубопроводе возникает напряжение  $\sigma_1 = 150-200$  МПа, что

превышает предел допустимых напряжений при эксплуатации стальных трубопроводов. Такие значения напряжений приводят к разрушению подземных магистральных трубопроводов.

Механизм образования продольных напряжений в подземном трубопроводе состоит из трех составляющих. Первая – это относительное смещение (трение), через которое передается огромное усилие (энергия) грунтовой среды на трубопровод. Вторая – это нормальное к внешней поверхности напряжение (давление). Продольное напряжение в трубопроводе, без учета нормального динамического напряжения  $\sigma_N^D$  в (5), в два раза меньше, чем когда  $\sigma_N^D$  учитывается (кривые 1 и 2, рис.2). Учет отрыва на поверхности контакта трубопровода с грунтом (кривые 3,  $\sigma_N < 0$ ,  $\sigma_N = 0$ ) также приводит к увеличению продольного напряжения с удалением от начального сечения трубопровода. Третья – это свойства грунтов. Когда учитываются вязкие и пластические свойства грунтов, увеличивается смещение грунта, следовательно, значение относительного смещения  $u$ . Это приводит к увеличению значения касательного напряжения  $\tau$  и увеличивается значение продольного напряжения.

Таким образом, учет в расчетах напряженного состояния грунтовой среды, вокруг подземного протяженного трубопровода, приводит к образованию существенно больших напряжений в трубопроводе, при частотах продольных волн меньше  $20 \text{ с}^{-1}$ .

Установлено, что амплитуда продольных напряжений в трубопроводе зависит от частоты продольных волн, от значения нормального к внешней поверхности динамического напряжения в грунте, от значения смещения грунта относительно трубопровода и от вязких и пластических свойств грунта.

Воздействия нагрузки на начальное сечение трубопровода, на формирование продольного напряжения в трубопроводе практически не влияет. Напряженное состояние трубопровода существенно зависит от механического поведения грунта вокруг трубопровода и параметров волн в грунтовой среде.

## Литература

1. Напетваридзе Ш.Г. и др. Сейсмостойкость магистральных трубопроводов и специальных сооружений нефтяной и газовой промышленности. М.: Наука, 1980. 172 с.
2. Айнбиндер А.Б. Расчет магистральных и промысловых трубопроводов на прочность и устойчивость. М.: «Недра», 1992. 288 с.
3. Айнбиндер А.Б., Кемерштейн А.Г. Расчет магистральных трубопроводов на прочность и устойчивость. М.: «Недра», 1982. 341 с.
4. Бородавкин П.П. Подземные магистральные трубопроводы. М.: «Недра», 1982. 384 с.
5. Султанов К.С., Баходиров А.А. Законы сдвигового взаимодействия на поверхности контакта твердых тел с грунтами // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2016. №2. С. 25-31.

6. Баходиров А.А., Исмаилова С.И., Султанов К.С. Динамическое деформирование контактного слоя при сдвиговом взаимодействии тела с грунтом // Известия РАН. Прикладная математика и механика. ПММ. 2015. Том.79. №6. С. 839-852.
7. Баходиров А.А., Султанов К.С. Волны в вязкоупругом стержне, окружённом грунтовой средой при плавном нагружении // Известия РАН. Механика твёрдого тела. МТТ. 2014. №3. С. 132-144.
8. Султанов К.С. Волновая теория сейсмостойкости подземных сооружений. Ташкент: Фан, 2016. 392 с.

## АТТЕСТАЦИЯ ПРОГРАММ ДЛЯ РАСЧЁТА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В РОСТЕХНАДЗОРЕ

## CERTIFICATION OF PROGRAMMS FOR SEISMIC ANALYSIS OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN ROSTECHNADZOR

**Нефёдов С.С.**

к.т.н., ведущий научный сотрудник ФБУ «Научно-технический центр «Энергобезопасность»

**Шевченко С. А.**

к.т.н., начальник отдела ФБУ «Научно-технический центр «Энергобезопасность»

**Nefedov S.S.**

Ph.D. Leading Researcher, Scientific and Engineering Centre «Energobezопасnost»

**Shevchenko S.A.**

Ph.D. Chief of Division,  
Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety

**Аннотация.** Приводятся сведения о системе аттестации программ для ЭВМ, которая функционирует в системе Росттехнадзора более 25 лет. Для проведения аттестации создан Экспертный совет, в состав которого входят тематические секции. Экспертиза программ для расчёта сейсмостойкости проводится в секции «Прочность и надёжность строительных конструкций зданий и сооружений». Задачей секций является верификация программ, в основе которой лежит верификационный отчёт организации-Заявителя (разработчика или пользователя). Важнейший вопрос верификации – анализ верификационных тестов Заявителя, обосновывающих правильность и точность работы программы в заявленной области динамического анализа. Приводятся сведения о регламенте работы секции, а также перечень программ для расчёта сейсмостойкости зданий и сооружений, успешно прошедших аттестацию и обладающих действующими аттестационными паспортами.

**Abstract.** In this article information is presented about system of certification of computer programs existing at federal supervision body «Rostechnadzor». Special Expert council is organized to provide this certification. This Expert council includes thematic sections. Expertise of programs for seismic analysis is provided in section «Strength and reliability of constructions of buildings and structures». Section provides verification of programs on the base of verification report prepared by organization-Applicant (Author or User). The main part of verification is the analysis of verification tests, which are presented by Applicant to justify the adequacy and accuracy of program in the claimed field of dynamics. Information is presented about organization of the work. The list of programs for seismic analysis, which successfully passed the certification process and has the legal certification passports, is also presented.

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-113-115**

23.05.2018 г. были приняты изменения к Федеральному закону «Об использовании атомной энергии» от 21.05.1995 № 170-ФЗ. Эти изменения закрепили на законодательном уровне процесс аттестации программ для ЭВМ (далее - программы), который функционирует в системе Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) более 25 лет. В процессе аттестации проводится экспертиза программ, применяемых для расчётных обоснований безопасности объектов использования атомной

энергии (*далее* - ОИАЭ), в том числе – их сейсмостойкости. Использование в обоснованиях безопасности ОИАЭ неаттестованных программ может стать причиной замечаний при государственной экспертизе этих документов.

Для проведения аттестации программ в системе Ростехнадзора создан Экспертный совет. В составе Экспертного совета имеются тематические секции. Основная задача секции – верификация программ.

Программы для расчёта сейсмостойкости рассматриваются в секции «Прочность и надёжность строительных конструкций зданий и сооружений». В состав данной секции входит более 30 опытных программистов и пользователей программ из ведущих научных, проектных организаций и организаций, эксплуатирующих ОИАЭ, в том числе 18 докторов и кандидатов наук. Члены секции представляют ведущие организации в области расчётных анализов прочности и надёжности строительных конструкций зданий и сооружений ОИАЭ Москвы, Санкт-Петербурга, Нижнего Новгорода. В основе деятельности секции лежит коллективное обсуждение и совместное принятие решений по вопросам верификации программ.

Верификация программ включает не только их формальную приёмку, но также анализ использованных методик динамического анализа и реализующих их авторских алгоритмов, их соответствие международным рекомендациям в области использования атомной энергии, в том числе в таких аспектах динамики, как вклад высших форм колебаний, адекватный учёт демпфирования и др.

В основе верификации программы лежит верификационный отчёт, подготовленный организацией-Заявителем. Важнейший вопрос верификации – достаточность представленных верификационных тестов для обоснования правильности работы программы в заявленной области динамического анализа. Часто верификационные отчёты базируются на малых задачах динамики с известными аналитическими решениями: колебания балок и пластин различной формы. Для программ, претендующих на выполнение проектных расчётов сложных и ответственных сооружений, такая верификационная база недостаточна. Необходима также апробация программ (валидация) путём сопоставления результатов расчёта с экспериментальными данными: с натурными частотами собственных колебаний сооружений, с амплитудно-частотными характеристиками реальных объектов и т.п. В процессе верификации может потребоваться выполнение дополнительных тестов, предложенных членами секции.

В общем случае процедура рассмотрения заявленной к аттестации программы состоит из следующих этапов:

1. Представление программы Заявителем на заседании секции и принятие решения о соответствии программы тематике секции; определение круга динамических задач, на решение которых претендует программа (тематики верификации), и кандидатур экспертов по ним. При определении кандидатур экспертов по каждому вопросу тематики учитывается опыт и область научных интересов того или иного специалиста (*работа секции*).
2. Экспертиза верификационных материалов экспертами в соответствии с порученным вопросом (анализ частот и форм собственных колебаний, анализ сейсмостойкости линейным спектральным методом, синтез акселерограмм, расчёт 3

спектров ответа, анализ динамической реакции сооружения на воздействие акселерограмм и др.) с подготовкой экспертных заключений (*работа Экспертов*).

3. Обсуждение и утверждение на заседании секции экспертных заключений (*работа секции*).

4. Корректировка Заявителем верификационных материалов или самой программы с учётом замечаний экспертных заключений (при наличии замечаний); согласование корректировок с Экспертами (*работа Заявителя с Экспертами*).

5. Рассмотрение результатов работы по корректировке верификационных материалов и программы на заседании секции; принятие решения - рекомендовать президиуму Экспертного совета аттестовать программу или отказать в аттестации в связи с выявленными в процессе экспертизы недостатками (*работа секции*).

Итоговым документом аттестации является аттестационный паспорт программы, проект которого разрабатывается Заявителем. По результатам верификации он уточняется, в том числе уточняются область применения программы и данные о погрешностях расчётов.

Окончательное решение по аттестации программы принимает президиум Экспертного совета.

Члены секции участвуют в её работе на общественных началах. Необходимые расходы (командировки и пр.) оплачивают направившие их организации. Работа Экспертов оплачивается Заявителем.

В табл.1 представлен список программ для динамического расчёта и расчёта сейсмостойкости зданий и сооружений, успешно прошедших аттестацию и обладающих действующими аттестационными паспортами.

Табл. 1

Срок действия паспорта		Наименование	Область динамического анализа
13.05.10	13.05.20	ABAQUS 6.7	Расчёт собственных частот и форм, расчёт Динамической реакции строительных конструкций зданий и сооружений в линейной постановке на основе метода конечных элементов.
21.11.13	21.11.23	STARDYNE, версия 5.11	
14.10.14	14.10.24	MSC.Nastran, версия 2012.2	
08.12.16	08.12.26	ANSYS Mechanical (версия 14.5)	
15.06.17	15.06.27	SOLVIA SYSTEM 03	
21.11.13	21.11.23	MicroFe, версия 2012	То же + линейный спектральный расчёт сейсмостойкости по методике СП 14.13330 (СНиП II-7-81).
15.06.17	15.06.27	SCAD Office, версия 21.1	
09.10.12	09.10.22	SASSI2000	Расчёт сейсмических воздействий на здания и сооружения с учётом взаимодействия с основанием
02.12.14	02.12.24	AGA	Расчет спектра ускорений фундамента по заданной акселерограмме.
02.12.14	02.12.24	SHAKE, версия AGT	Расчет сейсмических ускорений в различных точках грунтового основания по заданной акселерограмме

## **ОЦЕНКА СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ТЕРРИТОРИИ СИРИИ**

### **ASSESSMENT OF THE SEISMOLOGICAL SITUATION OF THE TERRITORY OF SYRIA**

#### **Белаш Т.А.**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Здания», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I Санкт-Петербург Россия

#### **Альдреби З.А.**

аспирант кафедры «Здания», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I Санкт-Петербург Россия

#### **Belash T.A.**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of “Buildings”, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia.

#### **Ziad Ahmad Aldrebi**

Postgraduate student, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Department of “Buildings”, Saint Petersburg, Russia.

**Аннотация.** Проведен анализ сейсмологической обстановки на территории Сирии. Изучены данные исторических и инструментальных землетрясений на этой территории, составлена таблица с ситуационной сейсмичностью крупных городов Сирии.

**Abstract.** The analysis of the seismological situation in Syria were made. The data of historical and instrumental earthquakes in this territory were studied; a table was compiled with the situational seismicity of the major cities of Syria.

#### **DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-116-118**

Территория Сирии находится в сейсмически активной зоне. Сирия находится между 32° - 37,2 ° с. ш. и 35 ° - 42,5 ° в. д., ее площадь составляет около 185 тысяч км<sup>2</sup> и расположена на юго-западе Азии, на севере граничит с Турцией, на востоке с Ираком, на юге с Иорданией, а на западе со Средиземным морем. Эту территорию пересекают различные разломы. Левантский разлом является главной причиной многих землетрясений в Сирии. Он берет свое начало от залива Акабаа в Красном море и тянется вверх на север через Израиль, Ливан и Сирию, а при достижении территории Турции, он изгибается к северовостоку, до верховья реки Куры. Этот разлом разделен на несколько мелких разломов, которые также оказывают сильное влияние на сейсмическую активность в этом регионе. На территории Сирии

расположено большое количество памятников архитектуры, зданий и сооружений, которые пострадали в результате прошлых землетрясений и военных действий. Ситуация усугубляется тем, что какое-то количество существующих зданий и сооружений в Сирии не отвечает современным требованиям антисейсмического строительства. Записи об исторических землетрясениях играли большую роль в изучении сейсмичности территории Сирии из-за позднего развития инструментальных сейсмометрических наблюдений на этой территории. С начала 20-го века инструментальные наблюдения землетрясений на территории Сирии осуществлялись станциями, расположенными в соседних странах, а начиная с 1995 года, развилась сеть сейсмических станций на всей территории страны. По данным каталогов исторических (2500 до н.э.–1900 гг. н.э.) и инструментальных (1900 н.э.–2010 гг. н.э.) землетрясений, на территории Сирии эпицентры исторических землетрясений расположены в основном на западе территории и сконцентрированы вдоль Левантского разлома, пересекающего Сирию с юга на север, их магнитуды  $M_S$  варьируют от 5,7 до 7,8 (Рис. 1, а), а эпицентры инструментальных землетрясений с магнитудами  $M_S$  варьируют от <5,0 до 6,8 (Рис. 1, б), что свидетельствует о том, что сейсмическая активность этой территории несколько снизилась. а б Рис. 1. Карты исторических (а) и инструментальных (б) землетрясений на территории Сирии: Карта (а): 1– эпицентры землетрясений с магнитудами  $M_S = 5,7– 6,9$ ; 2– эпицентры землетрясений с магнитудами  $M_S = 7,0 –7,8$ ; 3– активные и возможно активные разломы; 4 – предполагаемые продолжения разломов. Карта (б): 1 – эпицентры землетрясений с магнитудами  $M_S <5$ ; 2 – эпицентры землетрясений с магнитудами  $M_S = 5,0 –5,6$ ; 3 – эпицентры землетрясений с магнитудами  $M_S= 5,7– 6,8$ ; 4 – активные и возможно активные разломы; 5– предполагаемые продолжения разломов. В таблице 1. приведена ситуационная сейсмичность для некоторых значимых городов Сирии при средней повторяемости землетрясений  $T_{eq} = 100, 500, 1000$  и  $2000$  лет.

Таблица 1. Ситуационная сейсмичность для некоторых значимых городов Сирии.

Название города	Повторяемость землетрясений $T_{eq} \approx 100$ лет	Повторяемость землетрясений $T_{eq} \approx 500$ , лет	Повторяемость землетрясений $T_{eq} \approx 1000$ , лет	Повторяемость землетрясений $T_{eq} \approx 2000$ , лет
	Интенсивность землетрясений I в баллах по шкале ШСИ-17	Интенсивность землетрясений I в баллах по шкале ШСИ-17	Интенсивность землетрясений I в баллах по шкале ШСИ-17	Интенсивность землетрясений I в баллах по шкале ШСИ-17
Алеппо	VII	VII	VIII	IX
Идлиб	VII	VII	VIII	IX
Дамаск	III	VI	VII	VIII
Дарья	VIII	VII	IX	X
Пальмира	VII	VII	VIII	VIII
Хомс	VII	VII	VIII	IX

Подводя итог вышесказанному, можно отметить, что территория Сирии является сейсмоопасной с множеством землетрясений различной интенсивности и многочастотным составом. Несмотря на то, что сейсмическая активность несколько снизилась, существует вероятность повторения сильных землетрясений, что, в свою очередь, может снова подвергнуть памятников архитектуры в этой стране серьезной опасности. Данное

исследование было проведено для использования в случае необходимости при антисейсмическом усилении памятников архитектуры Сирии.

## **СОПОСТАВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ЛИНЕЙНО-СПЕКТРАЛЬНОЙ И ВОЛНОВОЙ ТЕОРИЙ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ**

**Гордеева С. П.**

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-119-119**

Метод конечных элементов (МКЭ), являющийся вычислительной базой линейно-спектральной теории (ЛСТ) сейсмостойкости, не пригоден для решения волновых задач, когда необходимо рассматривать очень большие (бесконечные) области оснований. В этом случае следует обращаться к методу граничных элементов (МГЭ), спецификой которого является работа с бесконечными областями. МГЭ предоставляет возможность адекватно задать волновое сейсмическое воздействие с использованием предоставляемой сейсмологической информации по объекту, что невозможно в ЛСТ. В списке литературы к докладу указана книга, где подробно описан математический алгоритм МГЭ в решении волновых задач, программа для ЭВМ и примеры расчетов ответственных объектов на воздействие распространяющихся сейсмических волн. Установлена аналогия в вычислении расчетных величин в ЛСТ и волновой теории.

## ПАСПОРТИЗАЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ГОРОДА АЛМАТЫ

## PASSPORTSIZATION OF BUILDINGS AND STRUCTURES OF THE CITY OF ALMATY

### **Шокбаров Ералы Мейрамбекович**

кандидат технических наук, почетный строитель Казахстана,  
Почетный профессор КГУСТА им. Н. Исанова  
Управляющий директор по производству АО «КазНИИСА»  
инд. 050046, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Солодовникова,  
21, тел. 8 (727) 392-75-91, факс 8 (727) 392-75-92, [www.kazniisa.kz](http://www.kazniisa.kz),  
[Eshokbarov@kazniisa.kz](mailto:Eshokbarov@kazniisa.kz).

### **Yeraly Shokbarov**

Candidate of Technical Sciences, Honorary Builder of Kazakhstan, Honorary Professor of  
KSUCTA named N. Isanova  
Managing Director of Production of «KazNIISA» JSC  
ind. 050046, Republic of Kazakhstan, Almaty, Solodovnikova str, 21,  
Tel. 8 (727) 392-75-93, fax 8 (727) 392-75-92, [www.kazniisa.kz](http://www.kazniisa.kz), [Eshokbarov@kazniisa.kz](mailto:Eshokbarov@kazniisa.kz).

**Анотация.** В докладе изложена информация о проделанной работе по паспортизации: создание электронных паспортов, визуальное обследование, оценка ожидаемой степени повреждения зданий, разработка рекомендаций с целью их сейсмической безопасности. Представлены результаты паспортизаций жилых зданий и социальных объектов по городу Алматы.

**Ключевые слова:** обследование, сейсмическая безопасность, электронный паспорт, землетрясение, сейсмоусиление

**Abstract:** The information on the work done on the passportization: creation of electronic passports, visual inspection, assessment of the expected damage to buildings, development of recommendations for their seismic safety. The results of certification of residential buildings and social facilities in the city of Almaty are presented.

**Keywords:** survey, seismic safety, electronic passport, earthquake, seismic reinforcement

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-120-123**

### **Введение.**

Территория юга и юго-востока Казахстана является одной из наиболее сейсмоактивных зон Среднеазиатского сейсмического региона. Здесь за последние 125 лет произошло несколько сильных землетрясений, четыре из которых (Верненское - 1887 года, Чиликское - 1889 года, Кеминское - 1911 года, Зайсанское - 1990 года) имели магнитуду 7-8 [1].

Сейсмические районы Казахстана по площади занимают порядка 510 тыс. км<sup>2</sup>, что составляет около 39% от общей площади территории республики.

В районах повышенной сейсмической опасности расположены крупнейшие культурные и промышленные центры Республики Казахстан, такие города как Алматы, Тараз, Шымкент и Оскемен [2].

Самый крупный город республики – Алматы расположен в зоне возможных очагов возникновения землетрясений и отличается высокой плотностью населения. Территория Алматы включает в себя участки как достаточно благоприятные для строительства (по грунтовым условиям), так и расположенные в зонах возможного проявления разломов на земной поверхности, с крутизной склонов более 15%, сложенные рыхлыми водонасыщенными и просадочными грунтами.

Согласно карте комплексного сейсмического микрорайонирования 1981 года территория города Алматы разделена на зоны с различной интенсивностью прогнозируемых сейсмических воздействий: зона I – 8 баллов, зона II – 9 баллов зона III – 10 баллов [3].

Ежегодно в Казахстане происходит, в среднем, 15-20 землетрясений интенсивностью до 3-4 баллов.

По мере расширения и роста Алматинской агломерации, строительства многоэтажных жилых, административных и общественных зданий, крупных инженерных сооружений, возрастает вероятность увеличения социально–экономического ущерба от повреждения объектов сложившейся городской застройки от возможных землетрясений в связи с высокой сейсмической опасностью территорий и уязвимостью зданий и сооружений, разрушение которых может привести к гибели населения, технологическим и экологическим катастрофам. Исходя из условия целесообразности затрат, рационального расходования материальных средств и трудовых ресурсов на антисейсмические мероприятия, особо важное значение приобретает повышение надежности сложившейся застройки города Алматы. В противном случае, в ближайшие 10–15 лет может произойти лавинообразное нарастание жилищного фонда, требующего неотложного реконструктивного вмешательства.

### **Общие положения.**

Укрупненная экспертная оценка состояния существующей застройки в сейсмически опасных районах Казахстана, выполненная в 1990 годах, показала, что, например, жилые здания общей площадью 16,5 млн. м<sup>2</sup> (19%) требовали сейсмоусиления; 10 млн. м<sup>2</sup> (12%) - подлежали сносу.

Выборочное обследование жилых многоквартирных зданий города Алматы, выполненное в 2008 году в соответствии с Соглашением с ОУО «International Corporation» в рамках проводимого «Исследования по управлению рисками, связанными с сейсмическими бедствиями в городе Алматы, Республика Казахстан» показало, что не менее 30% существующих жилых многоквартирных домов являются не сейсмостойкими.

Примерно такая же доля не сейсмостойких зданий, в группе объектов, относящихся к социальной сфере (школы, детсады, больницы).

Международный опыт показывает, что каждое разрушительное землетрясение приводит к изменению строительных норм в сторону ужесточения требований. В связи с наблюдаемым ужесточением требований норм перед исследователями и проектировщиками возникают проблемы, связанные с оценкой сейсмостойкости и сейсмобезопасности ранее возведенных объектов [4].

Для оценки сейсмических рисков было поведено Паспортизация зданий и сооружений по г. Алматы. Работы по паспортизации проводились для получения актуальных данных по оценке сейсмической уязвимости объектов жилищно-гражданского назначения г. Алматы и проводились 2017–2018 годы. Паспортизация проводилась для получения актуальных данных по сейсмической уязвимости зданий и сооружений, в первую очередь жилых и социальных объектов, что является актуальной задачей не только для г. Алматы, но и для всех населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных регионах Республики Казахстан.

## **Цель работы.**

Согласно Дорожной карте 2016-2018 годы «Комплекс мер по повышению эффективности работы по обеспечению сейсмической безопасности Республики Казахстан» специалистами АО «КазНИИСА» проводится научно-исследовательская работа Паспортизация зданий и сооружений города Алматы с расчетным анализом и составлением электронных паспортов.

## **Задача работы.**

Паспортизация объектов недвижимости города Алматы включает следующие этапы работ:

- создание электронных паспортов объектов недвижимости города Алматы в ГИС программе (форматы gdb, shp, xml) с геопривязкой фотоматериалов, с привязкой объектов к местной системе координат г. Алматы;
- визуальное обследование (исходные данные) зданий и сооружений города Алматы в разрезе административных районов, определение их месторасположения и характеристик;
- оценка ожидаемой степени повреждения зданий и сооружений в зависимости от их местоположения, конструктивных решений, износа и сейсмovoоруженности при максимальных сейсмических воздействиях;
- выявление наиболее сейсмически уязвимых объектов, включая ветхие жилые здания, по отношению к которым должны быть в первую очередь разработаны меры по снижению сейсмического риска их дальнейшей эксплуатации до допустимого уровня;
- проведение детального обследования с расчетно-аналитической оценкой сейсмостойкости отдельных жилых и общественных зданий, построенных по типовым сериям, с целью разработки оптимальных методов сейсмоусиления;
- разработка рекомендаций по дальнейшей эксплуатации, сейсмоусилению или сносу объектов;
- расчет по экономическим критериям оптимальности антисейсмических усиления;
- прогнозная оценка степени разрушения (ущерба) объектов города при прогнозируемых сейсмических воздействиях интенсивностью 7, 8, 9, 10 баллов;
- прогнозная оценка экономического риска числа возможных жертв при прогнозируемых сейсмических воздействиях интенсивностью 7, 8, 9, 10 баллов.

## **Выполненные работы**

В 2017 году при проведении работ по паспортизации было проведено обследование 7027 объектов недвижимости г. Алматы, в том числе 6493 многоквартирных жилых домов и 534 социальных объектов (школ, детских садов, больниц, поликлиник).

В 2018 году было проведено визуальное обследование 3169 объектов жилищно-гражданского назначения г. Алматы, в том числе 1683 многоквартирных жилых домов, 1486 гражданских и общественных зданий (административные здания, торговые центры, спортивные сооружения, здания школьных и дошкольных учреждений, санаторно-курортные здания, здания отдыха и туризма, поликлиники).

## **Заключение.**

Результаты паспортизации позволили выявить сейсмоопасные здания, назначить первоочередные объекты по их сейсмоусилению или сносу, определить объемы затрат на усиление сейсмоопасных зданий и сносу ветхого жилья [5].

На основании результатов паспортизации были созданы электронные паспорта обследованных зданий с оценкой их сейсмической уязвимости.

Дана экспертная оценка экономических затрат на сейсмоусиление, экономического ущерба и социальных потерь от последствий возможных землетрясений различной интенсивности.

По итогам паспортизации создана электронная база данных по сейсмической уязвимости зданий и сооружений г. Алматы, что позволит повысить надежность функционирования систем жизнеобеспечения, снизить ущерб наносимого зданиям и сооружениям и уменьшить потери населения от разрушительных землетрясений.

По итогам проделанных научно-исследовательских работ начата работа по созданию электронной карты сейсмического риска г. Алматы.

## **Литература**

1. «Шкала оценки интенсивности землетрясений MSK-64 (К). Алматы, 2004.
2. Уроки Луговского землетрясения 23 мая 2003 года в Казахстане. Программа Развития ООН в Казахстане, Алматы 2004.
3. СП РК 2.03-30-2017 «Строительство в сейсмических зонах».
4. СП РК 1.04-110-2017 «Обследование, оценка технического состояния и сейсмоусиления зданий и сооружений».
5. Ашимбаев М.У., Тулеев Т.Д., Алдахов С.Д., Таубаев А.С., Шокбаров Е.М. «Рекомендации по проектированию, строительству и усилению жилых домов из местных строительных материалов (саман, шлакозоблоки) в сейсмических районах Казахстана» Алматы, 2008.

# **РАЙОНИРОВАНИЕ В ПРЕДЕЛАХ КРИОЛИТОЗОНЫ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ КРУПНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ ПО ВЕРОЯТНЫМ СЕЙСМОГРУНТОВЫМ МОДЕЛЯМ**

## **ZONING WITHIN THE PERMAFROST ZONE OF THE SEISMIC HAZARD OF LARGE GEOLOGICAL STRUCTURES OF EASTERN SIBERIA ACCORDING TO PROBABLE SEISMIC SOIL MODELS.**

### **Джурик В.И.**

д.г.-м.н., заведующий лабораторией инженерной сейсмологии и сейсмогеологии, ФБГУН ИЗК СО РАН

### **Брыжак Е.В.**

к.г.-м.н., старший научный сотрудник, ФБГУН ИЗК СО РАН

### **Серебренников С.П.**

к.г.-м.н., старший научный сотрудник, ФБГУН ИЗК СО РАН

### **Ескин А.Ю.**

к.г.-м.н., научный сотрудник, ФБГУН ИЗК СО РАН

### **Dzhurik V.I.**

Doctor of Geology and Mineralogy, Head of the Laboratory of Engineering Seismology and Seismic Geology, Institute of the Earth's crust SB RAS

### **Bryzhak E.V.**

Candidate of Geology and Mineralogy, Senior Researcher, Institute of the Earth's crust SB RAS

### **Serebrennikov S.P.**

Candidate of Geology and Mineralogy, Senior Researcher, Institute of the Earth's crust SB RAS

### **Eskin A.Yu.**

Candidate of Geology and Mineralogy, Researcher, Institute of the Earth's crust SB RAS

**Аннотация.** Реализуется подход, основанный на районировании крупных геологических структур по сейсмо-грунтовым моделям, для которых с помощью экспериментальных и расчетных данных проведена оценка набора параметров сейсмических воздействий, необходимых для проектирования сейсмостойких сооружений. Такой подход наиболее экономичен для сейсмически активных северных районов Восточной Сибири. Он позволяет использовать полученные данные на стадии выбора трасс линейных сооружений, железных дорог, трубопроводов и площадок строительства ответственных промышленных и гражданских сооружений.

**Abstract.** An approach is being implemented based on the zoning of large geological structures using seismic soil models, for which, using experimental and calculated data, a set of seismic impact parameters necessary for designing seismic resistant structures has been estimated. This approach is most economical for seismically active northern regions of Eastern Siberia. It allows to use the data obtained at the stage of choosing the routes of linear structures, railways, pipelines and construction sites of responsible industrial and civil structures.

Расширение масштабов и темпов строительства на обширных территориях Восточной Сибири, вовлечение в промышленную разработку новых месторождений полезных ископаемых предполагает, при планировании строительства учитывать, экстремальные природно-климатические факторы, таких как высокая сейсмичность и повсеместное развитие островной и многолетней мерзлоты. Это требует внедрения новых экспрессных методик инженерно-сейсмологического прогноза, к числу которых относится весь спектр средств мало- и средне глубинной геофизики. Последние позволяют изучить состояние приповерхностных слоев через совокупность инструментально измеренных электрических, акустических, температурных и других петрофизических параметров, которые в зависимости от режима и характера деструкции мерзлотного разреза при его оттаивании дают возможность осуществлять прогноз и следить за трансформациями прочностных свойств грунтов, эволюцией их сейсмологических характеристик и реакцией на землетрясения.

В отмеченном направлении проведены исследования крупной геологической структуры северо-востока Байкальской сейсмической зоны – Чарской впадины. Она вытянута с Ю-З на С-В на 120 км, имеет ширину до 30 км, относится к районам сплошного распространения вечномерзлых грунтов их мощность достигает 100 и более метров, температура до  $-40^{\circ}\text{C}$  и ниже - в горных сооружениях, обрамляющих впадину. Талики встречаются под руслами крупных рек и озер. Исходная сейсмичность оценивается, в зависимости от вероятности превышения ожидаемых событий, в 8, 9 и 10 баллов.

В методическом отношении, для оценки параметров сейсмических воздействий сильных землетрясений, реализовано для территории Чарской впадины: изучение скоростной неоднородности грунтов верхней зоны разреза до коренных «эталонных» грунтов, задание исходного сигнала (с учетом зон ВОЗ) и параметров очага, построение необходимого числа сейсмических моделей **для их естественного и прогнозируемого состояния и проведение теоретических расчетов.**

Кроме того, решение поставленных задач требует краткого обобщения имеющихся сведений по характеристикам и параметрам сейсмических и мерзлотных особенностей для исследуемой территории с возможностью построения расчетных сейсмических моделей для естественного и прогнозируемых состояний мерзлых грунтов. Они представляются на основе составленных схем мерзлотного и инженерно-геологического районирования Чарской впадины с учетом комплексных инструментальных сейсмологических наблюдений, выполненных ранее и в последние годы. В большей степени использовались данные полученные на временных полигонах, где выполнялся практически весь комплекс инструментальных измерений (регистрация землетрясений, микросейсм и изучение физических параметров грунтов от глубинной до мало- и средне глубинной геофизикой)

Для решения основной задачи, изучения закономерностей изменения динамических параметров мерзлых грунтов, при их возможной деградации, были построены три типа моделей, различающихся по используемой общей мощности. Условно это три уровня моделей, в большей степени отвечающих задачам районирования сейсмической опасности по степени детальности. Сами модели представляются слоями рыхлых отложений до относительно сохранных коренных пород, с учетом их состояния, а также ожидаемых техногенных изменений грунтов. Для построения обобщенных моделей использовался весь объем имеющихся измерений петрофизических характеристик грунтов на исследуемой территории с помощью геофизических методов. Для прогноза скоростей продольных и поперечных волн при изменении состояния грунтов предпочтение отдавалось установленным ранее и уточненным для северо-востока БСЗ переходным экспериментальным уравнениям.

В итоге для сформированных моделей рассчитан набор параметров сейсмических воздействий, проведено их районирование и построены карты–схемы их распределения по площади для естественного и прогнозируемого состояния мерзлоты. По данным экспериментальных методов для принятой исходной сейсмичности равной 9 баллам, впадина разделяется для естественного (мерзлого) состояния грунтов на участки 8-9 баллов и для прогнозируемого талого состояния – на участки 8, 9 и 10 баллов.

По значениям расчетных динамических параметров сейсмических воздействий для наиболее вероятных сейсмических моделей, отвечающих за проявление сейсмичности получено, что для естественного (мерзлого) состояния грунтов максимальные ускорения прогнозируются в интервале от 180 до 392 см/с<sup>2</sup> – для горизонтальной компоненты и 91-181 см/с<sup>2</sup> – для вертикальной. Для максимальных сейсмических воздействий на грунты прогнозируемого (талого) состояния, эти величины имеют значения от 196 до 808 см/с<sup>2</sup> – для горизонтальной компоненты и от 91 до 336 см/с<sup>2</sup> – для вертикальной.

Несмотря на то, что полученные результаты теоретических расчетов, выполнены в предположении, когда вся энергия колебаний приходится на упругие деформации направленность их изменений, согласно расчетным значениям сейсмической опасности в баллах и максимальным ускорениям, согласуется с экспериментальными и макросейсмическими данными и приводят к увеличению сейсмической опасности при деградации мерзлоты. Амплитудный уровень колебаний и их частотный состав могут контролироваться предложенными методическими подходами, реализованными для исследуемой территории.

## К ПОСТРОЕНИЮ НОВОЙ ТЕОРИИ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ И ПРОБЛЕМЫ СИЛ ИНЕРЦИИ И ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ

ОГАНЕСЯН С.М., д-р физ.-мат. наук, проф., член-корр. НАН РА, сов. директора, зав. отделом  
Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А.Назарова НАН РА (ИГИС НАН РА)

**Аннотация.** При кинематическом возбуждения консольного стержня, показано, что изгибно-сдвиговые колебания начинаются со свободного конца стержня. При этом в стержне возникают внутренние объемные силы, которые противодействуют  $1/2f(x,t)$  внешней силе, а на свободном конце стержня возникают связанная пара  $F(l,t)$  и  $M(l,t)$ . Это связанная пара является истинной причиной изгибно-сдвиговых колебаний. Вторая часть силы  $f(x,t)$  идет на создания чисто изгибных колебаний.

## TO BUILD A NEW THEORY OF SEISMIC RESISTANCE AND PROBLEMS OF THE FORCES OF INERTIA AND INTERNAL FRICTION

Hovhannesyan S.M., dr. phys.-mat. sciences, prof., corresponding Member NAS RA, owls director, head.  
department  
Institute of Geophysics and Engineering Seismology. nam. A.Nazarov NAS RA (IGES NAS RA)

**Abstract.** With the kinematic excitation of a cantilever rod, it has been shown that flexural-shear oscillations begin at the free end of the rod. In this case, internal bulk forces arise in the rod, which oppose  $1/2 f(x, t)$  to external force, and at the free end of the rod, an associated pair  $F(l, t)$  and  $M(l, t)$  arise. This coupled pair is the true cause of flexural-shear vibrations. The second part of the force  $f(x,t)$  goes to create purely flexural vibrations.

DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-127-129

1. В процессе разработки новой теории сейсмостойкости (НТС), соответственно новых расчетных схем, у автора статьи постепенно кристаллизировалось идея, что только новая модель массы (НММ) недостаточна для его построения. Как видно из рис.1-4 работ [Оганесян, 2016,2017] масса(плотность) стержня одновременно по разному реагирует на одной и тоже внешнее воздействие. По мнению автора статьи это невозможно, если плотность стержня (масса тела) сама является гравитационным зарядом. Поэтому необходимо существенно изменить понятие “гравитационного заряда” и принять, что сама масса не является источником гравитационного заряда, как это принято в современной физике, а является только его носителем. Причиной для выдвигения такой природы гравитационного заряда (массы) послужили проведенные автором и другими исследователями опытов по влияние вибрации на вес тела. В работе показано, что уменьшение веса вибростола (250Н) при его вертикальном колебание на частоте 50Гц и амплитуде 0,5мм составило 55Н (вертикальный подъем вибростола 17мм). Очевидно, что с телом (массой) вибростола ощутимых внешних изменение не происходят. Поэтому по мнению автора статьи, это изменение веса может произойти если предположить существование гравитационных зарядов, который каким-то образом проникают в вибростол. Косвенной причиной служат аналоговые связи между массой и индуктивностью при колебательных процессов и/или распространения соответствующих волн в стержне(упругих) и в длинной линии(электромагнитных). Более обоснованно наличие гравитационных зарядов будет показано в настоящей статье.
2. В работах автора показано, что при колебании однородного консольного стержня длины полное перемещение нейтральной линии  $U(x,t)$  представимо в виде  $U(x,t) = U_1(x,t) + U_2(x,t) + U_3(x,t)$ , где  $U_1(x,t)$  – чистый изгиб,  $U_2(x,t)$  – изгибо-сдвиг,  $U_3(x,t)$  – чистый сдвиг. В проведенных автором исследованиях показано, что истинной причиной изгибных колебаний консольного стержня при кинематическом возбуждении является не распределенная сила, а половина ее частной производной по переменной  $x$

$$f'(t) = \rho S \delta(x-1) \frac{\partial^2 u_0(0,t)}{\partial t^2} \quad (1)$$

где  $\delta(\cdot)$  – дельта функция Дирака,  $\rho$  – плотность стержня,  $S$  – сечения стержня. При этом полную физическую нагрузку при нахождении изгибно-сдвиговой составляющей несет не волновое уравнение

$$\left\{ \begin{aligned} \rho S \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial t^2} - kGS \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial x^2} = \frac{1}{2} f'_x(t) = -\frac{1}{2} f(t) \delta(x-1) \end{aligned} \right. \quad (2)$$

при нулевых начальных и граничных условиях

$$\left\{ \begin{aligned} \varphi_2(0,t) = \frac{\partial \varphi_2(1,t)}{\partial x} = 0, \end{aligned} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \varphi_2(x,0) = \frac{\partial \varphi_2(x,0)}{\partial t} = 0, \end{aligned} \right. \quad (4)$$

и

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial U_2}{\partial x} = \bar{\varphi}_2(x,t), \end{aligned} \right. \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{aligned} U_2(0,t) = 0, \end{aligned} \right. \quad (6)$$

где  $\bar{\varphi}_2(x,t)$  – решение задачи (5)–(6),

а соответствующее уравнению (2) система линейных дифференциальных уравнений

$$\left\{ \begin{aligned} \rho S \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = \frac{\partial p}{\partial x}, \end{aligned} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} = kGS \frac{\partial \varphi_2}{\partial x} - \frac{1}{2} f(x,t), \end{aligned} \right. \quad (8)$$

где  $\varphi$  – угол поворота сечение  $S$ ,  $p(x,t)$  – внутренний распределенный импульс.

Из уравнений (7)–(8) видно, что в консольном стержне (задача 1) при кинематическом возбуждении возникает внутренний распределенный объемный импульс (количество движения)  $p(x,t)$ , производная  $\frac{\partial p}{\partial t}$  который в равенстве (8) балансирует (противодействует)

- и одновременно связанный с ним внутренний распределенный момент  $\frac{J}{S} \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial t \partial x}$ .

Выражение  $\frac{J}{S} \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial t \partial x}$  получается из равенства (7) дифференцированием по переменной  $t$  и умножением слева и справа на величину  $\frac{J}{S}$ , т.е.

— — —

где  $J$  – момент инерции сечения стержня  $S$  относительно оси  $z$ .

Из уравнения (2) и выше приведенных рассуждений следует, что процесс начала изгибно-сдвиговых колебаний происходит со свободного конца консольного стержня [2,5,9]. Поэтому на свободном конце стержня одновременно возникают сила и момент силы модули которых равны соответственно - и - - образующую связанную пару (аналогично куперовской паре). Потому что? действуя независимо друг от друга, они бы вызывали соответственно чисто сдвиговые и чисто изгибные колебания. В работах по исследованию

механизма очагов землетрясений их рассматривают не как связанные пары, а как двойную силу с моментом.

Естественно возникают вопросы как создаются:

1. внутренний распределенный импульс (количество движения)  $p(x,t)$ ; 2. связанная пара  $F(l,t)$  и  $M(l,t)$ .

Наибольшую трудность для понимания создает возникновение связанной пары  $F(l,t)$  и  $M(l,t)$  на свободном конце консольного стержня. Известно, что возникновение всех “инерционных воздействий” связаны с плотностью  $\rho$  (массой) однородного стержня. Однако на конце стержня элементарная масса  $\Delta m = \rho S \Delta x$  отсутствует. Поэтому необходимы новые подходы для объяснения возникновения связанной пары  $F(l,t)$  и  $M(l,t)$ .

В работах автора показано, что система уравнения (7)-(8) распространения изгибно-сдвиговых колебаний консольного стержня аналогичны системе телеграфных уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} L \frac{\partial I}{\partial t} = \frac{\partial V}{\partial x}, \\ C \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial I}{\partial x}, \end{array} \right. \quad (10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L \frac{\partial I}{\partial t} = \frac{\partial V}{\partial x}, \\ C \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial I}{\partial x}, \end{array} \right. \quad (11)$$

описывающие распространения тока проводимости в однопроводной линии, где  $L$ ,  $C$  - индуктивность и емкость единицы длины провода,  $V$  - напряженность,  $I$  - ток.

В работе автора показано, что ток проводимости в однопроводной линии передается следующим образом. По проводу мгновенно передает потенциал  $\varphi$ , а на конце провода происходит поляризация электронов (позитронов) по всей площадке сечения  $S$  провода, которые создают электрическое напряжения  $E = \frac{\varphi}{S}$ . Это напряжение в виде электрического тока проводимости (поляризованных электронов (позитронов)) распространяется в однопроводной линии.

При рассмотрении вопроса как возникает связанная пара  $F(l,t)$  и  $M(l,t)$  мы должны принять (сделать заключение), по аналогии как распространяется ток проводимости в однопроводной линии, что существуют “гравитационные заряды” которые на свободном конце стержня поляризуются и создают связанную пару  $F(l,t)$  и  $M(l,t)$ .

В работе предлагается по аналогии с работами автора ввести понятия гравитационного монополя и гравитационного заряда. Связанная пара  $F(l,t)$  и  $M(l,t)$  создается гравитационным монополем.

В работе [Оганесян, 2017] предложен новый метод расчета коэффициента внутреннего трения.

## ЗАЩИТА ЗДАНИЙ ОТ ЦУНАМИ В СЕЙСМООПАСНЫХ РАЙОНАХ PROTECTION OF BUILDINGS FROM TSUNAMI IN EARTHQUAKE-PRONE AREAS

**Белаш Татьяна Александровна**

доктор техн. наук, профессор, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. [belashta@mail.ru](mailto:belashta@mail.ru)

**Яковлев Антон Дмитриевич**

аспирант, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. [anton.yakovlev.94@mail.ru](mailto:anton.yakovlev.94@mail.ru)

**Belash Tatiana A.**

D. Eng. Sci., professor (Emperor Alexander I Petersburg State Transport University), [belashta@mail.ru](mailto:belashta@mail.ru)

**Yakovlev Anton D.**

postgraduate student Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, [anton.yakovlev.94@mail.ru](mailto:anton.yakovlev.94@mail.ru).

**Аннотация.** Проанализированы подходы защиты населения от воздействия волн цунами, используемые в мировой практике. Основываясь на принципах цунамистойкого строительства, предложено новое средство цунамизащиты зданий, в котором организовывается свободное пространство под зданием путем расположения самих зданий на конструкцию автомобильной эстакады. Проведенные расчетные исследования подтвердили высокую сейсмо- и цунамистойкость предлагаемого решения.

**Abstract.** Analyzed approaches to protect the population from the effects of tsunami waves, used in world practice. Based on the principles of tsunami-resistant construction, we proposed a new tsunami protection facility for buildings, in which free space under the building is organized by positioning the buildings themselves on the construction of an automobile overpass. The computational studies carried out confirmed the high seismic and tsunami resistance of the proposed solution.

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-130-132**

### **Введение**

Значительная часть территории Российской Федерации подвержена различным опасным стихийным бедствиям – землетрясениям, наводнениям, оползням, цунами и др. Как известно, эти районы не только богаты различными полезными ископаемыми, но и отличаются уникальными

природными ландшафтами, что привлекает большое количество российских и зарубежных туристов.

При этом следует отметить, что на территории нашей страны есть регионы, которые могут быть подвержены воздействию сразу нескольких стихийных бедствий. Например, побережье Курильских островов, Восточной Камчатки и Сахалина отличаются высокой сейсмической активностью и опасными цунами, которые в свою очередь вызваны землетрясениями, происходящими в море или океане.

В этой связи возникает необходимость создания таких решений в области гражданского и промышленного строительства, которые обеспечат надежную эксплуатацию этих объектов и защиту населения в случае стихийного бедствия.

### **Мировые подходы защиты населения от волн цунами**

В настоящее время для защиты населения от цунами имеется несколько подходов, используемых во всем мире.

Первым подходом является устройство берегозащитных сооружений, которые будут гасить энергию волн цунами или вовсе изолировать население от них. К такому методу относят посадку деревьев вдоль берега (в районах с низкой цунамиопасностью), а также устройство различных волноломов, молов, стен и дамб [1, 2, 3].

Вторым подходом является цунамистойкое строительство. В практике цунамистойкого строительства сложились определенные принципы, основными из которых являются: выбор оптимального объемно-планировочного решения, позволяющего уменьшить площадь воздействия волн цунами, выбор конструктивных решений и материалов, обеспечивающих необходимую прочность и устойчивость здания или сооружения, а также обеспечение устойчивости фундаментов [1, 4, 5, 6, 7].

В мировой практике часто используется способ уменьшения площади воздействия цунами, который заключается в создании как можно более открытого первого этажа, позволяя волне проходить здание насквозь. На первом этаже в таких зданиях часто располагается лестнично-лифтовой холл и автомобильная парковка [5].

Однако существующие решения не всегда способны справиться с поставленной задачей. Это связано во многом с ограниченной высотой «открытого» этажа и с потерями полезной площади на этом этаже.

### **Предлагаемое решение цунамизащиты зданий**

Для увеличения расстояния от уровня земли до низа жилого здания и повышения экономического эффекта нужен поиск вариантов, решающих несколько задач. Предлагается, в качестве средства цунамизащиты зданий, ряд небольших зданий, предназначенных для временного пребывания людей, располагать на автомобильной эстакаде. Таким образом, идея

организации свободного пространства достигается использованием путепровода [8].

### **Заключение**

Данное решение было исследовано на действие землетрясение 9 баллов и ударную нагрузку от волны цунами высотой 11 метров. Выполненные расчётные исследования подтвердили эффективность предлагаемого решения цунамизащиты зданий [9].

### **Литература**

1. Воробьев Ю. Л. Цунами: предупреждение и защита / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. – М.: Изд-во МЧС России, 2006. – 264 с.
2. Попов М. А. Защита от стихийных бедствий / М. А. Попов. – М.: Изд-во МГУП, 2014. – 128 с.
3. Шульгин В. Н. Инженерная защита населения и территории в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени / В. Н. Шульгин. – М.: Изд-во «Академический Проект», 2010. – 688 с.

4. Злобин Т. К. Природные катастрофы в литосфере Сахалино-Курильского региона и меры безопасности / Т. К. Злобин. – Южно-Сахалинск: Изд-во СахГУ, 2000. – 132 с.
5. Гир Дж. Зыбкая твердь: Что такое землетрясение и как к нему подготовиться / Дж. Гир, Х. Шах; пер. с англ. Н. В. Шебалина. – М.: Мир, 1988. – 182 с.
6. СП 292.1325800.2017. Здания и сооружения в цунамиопасных районах. Правила проектирования. – Введ. 24.12.2017 – М.: Минстрой России, 2017. – 143 с.
7. Клячко М.А. О нормах проектирования зданий и сооружений в цунамиопасных районах / *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*, 2017. – Том 10, № 3. – С. 5-25
8. Белаш Т. А. Предложение по цунамизащите зданий / Т. А. Белаш, И. Б. Нудьга, А. Д. Яковлев / *Инновационный альбом российской академии архитектуры и строительных наук*, 2018. – Вып. 2017-1. – С. 25.
9. Белаш Т. А. Сейсмостойкость цунамистойких жилых зданий / Т. А. Белаш, А. Д. Яковлев / *Инженерно-строительный журнал*, 2018. – № 4(80). – С. 95–103.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗЕРВОВ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ СИЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

**Трекин Николай Николаевич**

д.т.н., профессор, нач. отдела

**Кодыш Эмиль Наумович**

д.т.н., профессор, гл. научн. сотр.

**Келасьев Николай Геннадьевич**

гл. инженер

**Трёкин Дмитрий Николаевич**

аспирант

АО «ЦНИИПромзданий»

[otks@narod.ru](mailto:otks@narod.ru)

**Аннотация.** При проектировании и реконструкции зданий и сооружений с учетом кратковременных воздействий аварийного характера рекомендуется в расчетах использовать критерии особого предельного состояния конструкции, которые превышают критерии несущей способности по первому и второму предельным состояниям. Превышение этого состояния, в котором конструкция не полностью соответствуют функциональным требованиям, приводит к их обрушению. Реализация этого предельного состояния наиболее целесообразна в рамных каркасах с высокой степенью статической неопределимости взаимодействия несущих элементов. Это позволит достичь существенной экономии материалов и средств без ущерба для безопасной эксплуатации.

**Abstract.** In the design and reconstruction of buildings and structures, taking into account the shortterm effects of an emergency nature, it is recommended to use in the calculations the criteria of a special limit state, which exceed the boundaries of the bearing capacity for the first and second limit States. Exceeding this state, in which they do not fully meet the functional requirements, leads to their collapse. The implementation of this limit state is most appropriate in frame frames with a high degree of static uncertainty of interaction of bearing elements. This will achieve significant material and cost savings without compromising safe operation.

**Ключевые слова:** несущая способность, особое предельное состояние, аварийное воздействие, изгибаемый железобетонный элемент, предельные деформации арматуры и бетона.

**Keywords:** bearing capacity, special limit state, emergency impact, bending reinforced concrete element, limit deformation of reinforcement and concrete.

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-133-134**

Научные коллективы многих стран разрабатывают эффективные и вместе с тем малозатратные способы, предотвращения прогрессирующего обрушения конструкций зданий при разрушении (отказе) одного или нескольких несущих элементов. Подобная расчетная ситуация возникает, как правило, при аварийном воздействии, не предусмотренным нормативными документами. Защита от этих воздействий особенно актуальна для современных многоэтажных зданий из сборного или монолитного железобетона с массовым нахождением людей.

Одним из способов повышение устойчивости зданий при отказе несущей конструкции является более полный учет поведения элементов и их сопряжений при кратковременном действии нагрузки и динамики изменения схемы работы несущей системы здания. Для этого целесообразно допустить большее раскрытие трещин, развитие прогибов и частичное разрушение некоторых сечений, что противоречит действующим критериям первого и второго предельных состояний, обеспечивающих эксплуатационную пригодность конструкций и здания. Поэтому необходимо введение конкретных нормативов особого предельного состояния для конструкций, которое приведено в ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения».

Особое предельное состояние конструкции допустимо при воздействии кратковременных нагрузок, которые возрастают и исчезают, как правило, за короткий промежуток времени и наиболее эффективно может быть использовано для статически неопределимых систем.

Особое предельное состояние это стадия работы конструкции после достижения границы несущей способности по первому и второму предельным состояниям. Превышение этого состояния, в котором они не полностью соответствуют функциональным требованиям, приводит к их обрушению. Для изгибаемого железобетонного элемента оно может наступить, когда наиболее напряженная часть бетона в сечении начинает разрушаться, а в растянутой арматуре напряжения снижаются. В этом случае деформирование конструкции может быть прекращено, если действующая нагрузка не превышает остаточную несущую способность наиболее напряженного сечения, и конструкция не обрушается.

В сжатых элементах особое предельное состояние допустимо учитывать, если скорость убывания нагрузки опережает интенсивность снижения несущей способности. Так в колоннах с косвенным армированием учет стадии разрушения позволил повысить мгновенно-возрастающую динамическую нагрузку на 13%.

Реализация этого предельного состояния наиболее целесообразна в рамных каркасах с высокой степенью статической неопределимости взаимодействия всех несущих элементов. Будучи реализованным в ригеле рамного каркаса, оно приведет к интенсивному перераспределению усилий в раме. Это позволит сохранить целостность рамы даже при снижении несущей способности отдельных ее элементов.

Введение и учет особого предельного напряженно-деформированного состояния железобетонных изгибаемых конструкций позволяет обнаружить значительные прочностные и деформативные резервы, даже после значительного раздробления сжатой зоны бетона и, как следствие, уменьшения рабочего сечения конструкции.

В качестве критериев особого предельного состояния для изгибаемых железобетонных конструкции следует принимать:

- ограничение деформаций сжатого бетона предельными значениями  $\varepsilon_{b_2} \geq 0,0035$ ;
- ограничение деформаций растянутой арматуры предельными значениями относительных деформаций  $\varepsilon_{s_2} \geq 0,033$ ;
- прогибы изгибаемых элементов при условии обеспечения минимально допустимой длины зоны опирания и анкеровки арматуры не должны превышать 1/50 длины пролета.

Использование в расчетах критерии особого предельного состояния при проектировании сейсмостойких зданий и сооружений и особенно при реконструкции и повышении сейсмостойкости существующих объектов строительства позволит дифференцированно подойти к различным помещениям. Так пути эвакуации людей должны полностью соответствовать действующим требованиям сейсмостойкого строительства, а остальные помещения могут быть запроектированы с учетом требований особого предельного состояния. Это позволит достичь существенной экономии материалов и средств без ущерба для безопасной эксплуатации.

УДК 551, 624.01.042.7

## СЕЙСМОИСТОРИЯ, АРХЕОСЕЙСМОЛОГИЯ: АКТУАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ, РЕФЕРАТИВНЫЙ ОБЗОР

### SEISMIC HISTORY, ARCHAEOSEISMOLOGY: CURRENT STATUS, ABSTRACT REVIEW

**Жарков И.А.**

кандидат исторических наук, доцент, заведующий кафедрой общегуманитарных дисциплин НОУ ВПО «Российская международная академия туризма»

**Zharkov I. A.**

Head of the Department of General Humanitarian Disciplines «Russian International Academy of Tourism» Candidate of Historical Sciences, Associate Professor

**Аннотация.** Карта распространения древних цивилизаций на юге Евразийской плиты показывает их тесную связь с различными тектоническими событиями. Исследования отчетливо указывают на то, что некоторые землетрясения были не просто катастрофическими событиями, но и сыграли роль своеобразного катализатора в развитии градостроительства и архитектуры в Древнем мире. В последние годы наблюдается большой интерес к сейсмологической истории древних памятников и сооружений; этот интерес обусловлен необходимостью их защиты и укрепления от будущих землетрясений, а также лучшего понимания сейсмической истории некоторых регионов.

Именно в этих рамках в современной науке предпринимаются усилия по разработке методологии идентификации палеосейсмических событий на основе изучения археологических данных, по обогащению сейсмологических каталогов и по изучению последствий собранной информации для наук о земле, гуманитарных наук, инженерного дела и сейсмостойкого строительства. Эти исследования привели к рождению археосейсмологии, новой дисциплины или междисциплинарной области изучения землетрясений, которая сосредоточена на изучении строительных конструкций.

Обзор литературы, проведенный в настоящем исследовании, свидетельствует о том, что средиземноморский регион является ценным полигоном для археосейсмологических изысканий. Использование методов археосейсмологии совместно с методами сейсмоистории, палеосейсмологии, с геоморфологическими и геотехническими анализами представляет собой ценный инструмент для уточнения знаний о сейсмической культуре региона, о долгосрочной сейсмичности и стратегическом использовании древних археологических памятников для изучения конкретных сценариев землетрясений.

**Ключевые слова:** археосейсмология, сейсмоистория, природные катастрофы, сейсмостойкое строительство

**Abstract:** The map of the spread of ancient civilizations in the South of the Eurasian plate shows their close connection with various tectonic events. Studies clearly indicate that some earthquakes were not just catastrophic events, but also played a role of a catalyst in the development of urban planning and architecture in the Ancient world. In recent years, there has been a great interest in the seismological history of ancient monuments and structures; this interest is due to the need to protect and strengthen them against future earthquakes, as well as a better understanding of the seismic history of some regions.

It is within this framework that efforts are being made in modern science to develop a methodology for the identification of paleoseismic events through the study of archaeological data, the enrichment of seismological catalogs and the study of the consequences of the information collected

for the earth Sciences, Humanities, engineering and earthquake-resistant construction. These studies led to the birth of archaeoseismology, a new discipline or interdisciplinary field of earthquake study that focuses on the study of building structures.

The literature review carried out in this study shows that the Mediterranean region is a valuable site for archaeological and seismological research. The use of methods of archaeoseismology together with methods of seismic history, paleoseismology, geomorphological and geotechnical analysis is a valuable tool for clarifying knowledge about the seismic culture of the region, the long-term seismicity and strategic use of ancient archaeological sites to study specific scenarios of earthquakes.

**Keywords:** archaeoseismology, historical seismology, natural catastrophes, earthquake engineering

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-135-138**

Сейсмическая история Средиземноморского региона насчитывает порядка 4 тысяч лет - от Минойского извержения и землетрясения, в результате которого погибла Крито-Микенская цивилизация. Это древнейшая сейсмологическая история на Земле. За этот период в Средиземноморском регионе произошло несколько десятков землетрясений с магнитудой более 7 баллов.

Сегодня любая геофизическая опасность, независимо от ее абсолютных масштабов и величины, может иметь неблагоприятные экологические и социальные последствия.

Поскольку мы не можем предсказать будущее, не говоря уже о землетрясениях, исторический и археологический мониторинг в течение длительного периода времени представляет собой фундаментальный подход к контекстуализации настоящего и разработке рациональных стратегий сейсмостойчивости.

В последние десятилетия кризисные сейсмические явления, с которыми сталкивалось Средиземноморье и другие регионы в древний период истории, вызывают большой научный интерес. Историческая информация может быть использована для оценки сейсмической опасности того или иного региона, т. е., частоты возникновения прошлых землетрясений с точки зрения их местоположения, величины и иногда их связи с поверхностным разломом и при описании сейсмичности и тектоники. Для оценки вероятной опасности землетрясений и сейсмостойкости сооружений мы должны выяснить, что произошло в прошлом и экстраполировать различные данные.

Если тектонизм был культурным стимулятором в древности, то он, вероятно, остается им и сейчас, хотя и менее заметен в нашем более сложном мире. Влияние тектоники плит на эволюцию и распространение человека не оспаривается, что подтверждается данными как геологов, так и антропологов и историков.

Структурные повреждения и заброшенность древних зданий и сооружений в различных районах и периодах уже давно отнесены археологами к землетрясениям.

Недавние исследования, охватывающие широкий временной промежуток, показали, что, несмотря на фрагментарный и иногда неубедительный характер археологических находок, можно представить типологию последствий землетрясений в архитектурных работах, соответствующих различным архитектурным и структурным стилям. Можно также отличить следы землетрясений от следов других природных и антропогенных воздействий, а также признать образ мышления древних архитекторов и строителей, которые пытались минимизировать сейсмическую уязвимость своих сооружений.

Древние строения показывают деформации, связанные с сейсмическим воздействием, аналогичные наблюдаемым в недавних землетрясениях. Типичными последствиями землетрясения для стен кладки являются: (1) поперечные трещины, зарождающиеся в углах дверей и окон и приводимые в движение сдвиговыми силами, (2) угловое вытеснение стен, вызванное дифференциальными перемещениями в ортогональных направлениях, (3)

горизонтальное и независимое боковое и вращательное смещение стеновых блоков, лучше всего видимое в несцементированных стенах прямоугольных блоков, (5) обрыв углов блоков из-за концентрации напряжений при встряхивании, (6) уменьшение высоты вертикальным разрушением, (7) перемещение замковых камней и разрыв арок опор, (8) вращение вертикально ориентированных объектов, и (9) опрокинутые колонны, лежащие параллельно друг другу и др.

Недавние исследования отчетливо указывают на то, что некоторые землетрясения были не просто катастрофическими событиями, но и сыграли роль катализатора в развитии градостроительства, архитектуры в стиле определенных зон или мест, как в доисторические, так и в более поздние периоды.

В последние годы наблюдается большой интерес к сейсмологической истории древних памятников; этот интерес обусловлен необходимостью их защиты и укрепления от будущих землетрясений, а также лучшего понимания сейсмической истории некоторых регионов. Это исследование привело к рождению археосейсмологии, новой дисциплины или, лучше сказать, междисциплинарной области изучения землетрясений. Особенность этой дисциплины в том, что она сосредоточена на изучении конструкций, возведенных людьми. Последние являются не просто пассивными маркерами внезапного геоморфологического изменения, но отражают также усилия человека противостоять землетрясениям, выжить при землетрясениях и уменьшить их последствия.

Археосейсмология сосредоточена на изучении землетрясений в археологических записях. Поскольку возникновение землетрясений на разломах рассматривается как стохастический процесс, и поскольку инструментальные наблюдения землетрясений были записаны лишь немногим более века назад, научная запись землетрясений недостаточна для понимания сейсмического риска во всем мире. Один из способов расширить наши знания состоит в том, чтобы извлечь информацию о древних землетрясениях из археологических записей и свидетельств. Такая работа требует сотрудничества между археологами, геологами, геофизиками, инженерами и требует особого внимания к поиску доказательств ущерба от землетрясений в текущих и будущих раскопках.

С начала 2000-х гг. археосейсмология превратилась в процветающую область исследований. О растущем научном интересе влияния сейсмичности на древние общества и оценки роли археологических данных в оценке сейсмической опасности свидетельствуют многочисленные публикации в специализированных научных журналах, появление коллективных работ и отдельных монографий, а также проведение международных конференций и семинаров по археосейсмологии. В рамках данной дисциплины археологи, историки, геологи, сейсмологи, геофизики работают в синергии, устанавливая связь между инструментальной и исторической сейсмологией (исследование землетрясения на основе, соответственно, инструментальных процедур и исторических данных), и палеосейсмологией (исследование экологических последствий, вызванных древними землетрясениями по геологическим и геоморфологическим данным).

Существование определенной антисейсмической технологии в древности, однако, является предметом споров между различными специалистами. Первые говорят о том, что древние строители не задумывались о сейсмостойкости своих архитектурных сооружений, вторые же пытаются представить доказательства стилей строительства, несомненно свидетельствующие о страхе перед сейсмическими ударами. Современные исследования указывают на многочисленные примеры строительных особенностей и приемов, используемых в античности, основная функция которых, согласно современному опыту, противостояние динамическим нагрузкам.

Существуют исторические и археологические свидетельства того, что древние люди смогли определить, какие сооружения устойчивы к землетрясениям, и построить такие сооружения. Древние, безусловно, предпринимали определенные усилия по внедрению, тестированию и обобщению таких методов, зачастую под контролем

центральных органов управления. Поэтому землетрясения служили зачастую решающим фактором в стиле строительства. Однако, поскольку угроза землетрясений не была постоянной, дорогостоящие и архитектурно неудобные структурные ограничения иногда игнорировались или обрекались на забвение. Сейсмический риск (или, лучше сказать, повторяющиеся интервалы между крупными потрясениями и сохранившиеся воспоминания о разрушительных землетрясениях) был, таким образом, одним из факторов анализа затрат и выгод при планировании новых сооружений в древности.

Археологи нашли многочисленные свидетельства землетрясений в Эгейском море, которые, вероятно, ударили по Микенам, Тиринфу, Фивам, Пилосу, Криту. В Восточном Средиземноморье ущерб от землетрясений виден в Трое, Хаттусе, Угарите, Алалахе, Мегиддо, Ашдоде и в других местах. Многие ученые считают, что землетрясения спровоцировали «системный коллапс», в результате которого сложные централизованные общества рухнули под давлением экономических, физических или демографических катастроф. Разрушения, вызванные последовательными землетрясениями, возможно, были первым звеном в цепи событий, которые привели к краху политических, социальных и экономических систем в Эгейском и Восточном Средиземноморье, в результате чего Бронзовый век подошел к решающему концу.

В последние десятилетия были предприняты значительные усилия по выявлению четких и надежных критериев, позволяющих распознавать сейсмические повреждения внутри археологических памятников. Этот традиционный подход к изучению древних землетрясений основывается на определении типологии повреждений, наблюдаемых на монументальной архитектуре.

Хотя применение существующих типологий землетрясений и методологических подходов, таких как «матрица осуществимости» по К.Г. Хинцену и «логическое дерево» по М. Синтубину и И.С. Стюарту, может представлять собой возможные пути продвижения вперед в структурировании сбора данных и критической оценки, их строгая применимость к древним археологическим контекстам еще не доказана. Несомненно, более глубокое понимание влияния землетрясений на античные сооружения потребует, прежде всего, разработки междисциплинарных исследовательских программ, объединяющих археологов, геологов, архитекторов, инженеров, геофизиков.

Резюмируя вышесказанное, необходимо отметить, что средиземноморский регион является ценным полигоном для археосейсмологических изысканий. Использование методов археосейсмологии совместно с методами сейсмоистории, палеосейсмологии, с геоморфологическими и геотехническими анализами представляет собой ценный инструмент для уточнения знаний о сейсмической культуре региона, о долгосрочной сейсмичности и стратегическом использовании древних археологических памятников для изучения конкретных сценариев землетрясений.

## СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК СОВРЕМЕННОГО ГОРОДА SEISMIC RISK OF MODERN CITY

**Заалишвили В. Б.,**

д. ф.- м. н., профессор, директор и зав. отделом геофизики, инженерной сейсмологии и геоинформатики, зав. кафедрой геофизики и геоинформатики, Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Северо-Осетинский государственный университет им. К. Л. Хетагурова. Владикавказ, Россия

**Бурдзиева О. Г.,**

к.г.н., в.н.с., Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН. Владикавказ, Россия

**Аннотация.** Целью работы являлась разработка и реализация методики оценки ожидаемого сейсмического риска современного города на примере отдельной выделенной территории г. Владикавказ, в качестве которой была выбрана улица Куйбышева и прилегающие к ней кварталы. Выбор указанной улицы объяснялся тем обстоятельством, что она характеризуется грунтовыми условиями, типичными для грунтовой толщи слагающую всю территорию города. При этом именно застройка улицы Куйбышева включает практически все виды зданий, формирующих городскую среду. На основе дифференциации грунтовых условий улица условно была разделена на 6 участков. Далее рассчитывались приращения интенсивности относительно эталонных грунтов, т.е. проводились работы по сейсмическому микрорайонированию (СМР) каждого из участков. При этом интенсивности участков изменялись в пределах 7-9 баллов. Каждый тип здания характеризуется определенной уязвимостью на тот или иной уровень сейсмического воздействия. При этом учет конкретных видов грунтов и типов застройки с расчетными интенсивностями и уязвимостями типов зданий обусловил различный уровень ожидаемых экономических потерь. Далее на основе учета ожидаемых повреждений в застройке ул. Куйбышева были рассчитаны ожидаемые социальные потери. В завершение были установлены сейсмические риски территории, включающие указанные экономические и социальные потери. В этой связи представляет интерес анализ вариаций сейсмических рисков по улице Куйбышева, фактически являющейся моделью города.

**Ключевые слова:** сейсмическая опасность, детальное сейсмическое районирование, сейсмическое микрорайонирование, уязвимость застройки, классификация типов зданий, интенсивность, грунтовые условия, сейсмический риск, экономические и социальные потери

**Abstract.** The aim of the work was to develop and implement a methodology for the expected seismic risk assessment of a modern city on the example of a separate designated area of the Vladikavkaz city. The Kuibyshev Street was chosen as such an area. The choice of this street can be explained by the fact that it is characterized by the soil conditions typical for the soil stratum that form the entire territory of the city. At the same time, building stock on Kuybyshev Street includes almost all types of buildings that form the urban environment.

Based on the differentiation of ground conditions, the street was conditionally divided into 6 sections. Further the intensity increments relative to reference soils were calculated, i.e. seismic microzonation (SMZ) work was carried out on every site. At the same time the intensity of the cities varied within 7-9 points. The each type of a building is characterized by a certain vulnerability to a

particular level of seismic impact. At the same time, consideration of specific types of soils and types of building stock with estimated intensities and vulnerabilities of building types caused a different level of expected economic losses. Further, on the basis of taking into account the expected damage in the building stock of Kuibyshev Street the expected social losses were calculated.

**Keywords:** seismic hazard, detailed seismic zoning, seismic microzonation, vulnerability of the building stock, classification of building types, intensity, soil conditions, seismic risk, economic and social losses

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-139-154**

## **Введение**

Последние десятилетия в России охарактеризовались высокими темпами прироста населения, промышленности, инфраструктуры в крупных городах и промышленных центрах, расположенных в сейсмоактивных регионах. При строительстве не всегда учитывались особенности местных грунтов и уровень сейсмической опасности. Изучение последствий сильных и разрушительных землетрясений создали условия для новых научных разработок в инженерной сейсмологии и сейсмостойком строительстве. Сейсмическое районирование урбанизированных территорий имеет безусловную актуальность, т.к. это позволяет более детально выявлять очаги возможных землетрясений, оценить сейсмический риск территории и осуществить строительство зданий и сооружений с заданной сейсмостойкостью. В конце 20 века в России были разработаны методы оценки сейсмического риска уже существующих зданий и сооружений. Эти программы учитывали многочисленные объективные и субъективные факторы, влияющие на уровень сейсмического риска урбанизированных территорий. Ниже рассмотрены особенности их применения. Одна из методик оценки риска была разработана проф. С.Ю. Баласаняном в 1991 году [Баласанян и др., 2004]. После восьми лет успешных работ, стратегия была одобрена в 1999 году Правительством Армении, как государственная программа. Согласно этой методике, наибольший вклад в масштаб возможных потерь, в случае сильного землетрясения, вносят следующие составляющие:

1. Сейсмическая опасность территории;
2. Население и его плотность в зонах высокой сейсмической опасности;
3. Область зон, содержащих здания и сооружения, которые имеют низкую сейсмостойкость по сравнению с уровнем сейсмической опасности.

Подобный подход, основанный на учете только главных факторов риска, позволяет значительно сократить время и финансовые расходы, необходимые для получения полной информации обо всех слагаемых риска. Кроме этого значительное сокращение количества требуемой исходной информации приводит к ее большей простоте и однородности. При этом использование только главных факторов при оценке риска дает весьма точное (около 90 %) представление о сейсмическом риске.

Особенно эта проблема актуальна для районов Кавказа. Республика Северная Осетия-Алания расположена в сейсмически активной зоне. Естественным представляется оценить сейсмический риск в столице республики – городе Владикавказ. Для исследования была избрана улица Куйбышева и прилегающие к ней кварталы. Выбор данного района в качестве объекта исследования обусловили следующие факторы: относительно большая площадь района (1,35 км<sup>2</sup>); в пределах данной территории представлены объекты различных типов конструкций с разной этажностью (жилые дома, школы, административные и общественные здания, рынки и т.д.); исследуемый район включает практически все грунтовые условия

характерные для всего города Владикавказа. Определение риска сейсмических потерь (RSL) рассчитывалось по формуле [Баласанян и др., 2004]:

$$RSL = K_R \cdot K_S \cdot K_P \quad (1)$$

где  $K_R$  – рейтинг риска, учитывающий интенсивность сейсмического воздействия.

$K_S$  – рейтинг уязвимости зданий, расположенных в пределах изучаемого участка.

$K_P$  – коэффициент уязвимости людей, находящихся внутри или около исследуемых объектов.

На основе учета грунтовых условий, в том числе, рельефа исследуемого участка города, был определен рейтинг сейсмического риска всех 6 участков. Для характеристики сейсмических потерь в соответствии с формулой были приняты три степени риска: высокий ( $RSL > 1,1$ ), средний ( $1,0 < RSL < 1,1$ ) и низкий ( $1,0 < RSL$ ). Анализ данных показал наличие в результатах определенных аномалий. Метод разработан для больших площадей застройки, и на малых площадях, на наш взгляд, дает приближенные результаты и носит скорее демонстрационный характер. Это может считаться его заметным недостатком, т.к. результаты исследования нуждаются в дополнительном, более детальном уточнении. В связи с этим использовались другие подходы.

Исследования впервые выполнялись в 2005 году в процессе выполнения Проекта NATO “Science for Peace” Program Project “Seismic Risk of Large Cities of Caucasus: Tools for Risk Management (NATO SfP 974320), 1999-2005 [Bonnin, Zaalishvili, 2002]. Целью работы являлась разработка и реализация методики оценки ожидаемого сейсмического риска современного города на примере отдельной выделенной территории г. Владикавказа. Это позволило бы в дальнейшем решать вопросы страхования на основе количественных оценок [Гогмачадзе и др., 2003].

Согласно основной идее Проекта в каждом городе – столице страны-участника или «региона» на специально выделенной территории должны были быть проведены работы по оценкам сейсмической опасности и сейсмического риска. При этом исследуемая территория представляла собой ту или иную улицу в виде оси обрамленной с обеих сторон в продольном направлении соответствующей застройкой. Улица, кроме того, должна была быть ориентированной перпендикулярно руслу той или иной реки и, пересекая поперек территорию формируемую террасами реки, самым естественным образом включала бы в рассмотрение различные грунтовые условия, типичные для города. Строго говоря, для весьма больших территорий с большим многообразием ландшафтов и даже рек такой подход был бы не совсем корректным. В то же время, анализ данных ранее проведенных геологоразведочных исследований, показывает, что даже для достаточно больших городов с миллионным населением (Баку, Тбилиси и Ереван) и, тем более достаточно малых (Владикавказ), такой подход оказался вполне надежным. При этом за редким исключением, можно было наблюдать все основные типы грунтов и их совокупностей городской территории. В г. Владикавказе в качестве таковой была выбрана улица Куйбышева. Выбор указанной улицы объяснялся тем обстоятельством, что она характеризуется грунтовыми условиями, типичными для грунтовой толщи слагающую всю территорию города [Отчет ..., 1969]. При этом именно застройка улицы Куйбышева включает практически все виды зданий, формирующих городскую среду. На основе дифференциации грунтовых условий улица условно была разделена на 6 участков с различными грунтовыми условиями. Далее, рассчитывались приращения балльности относительно эталонных грунтов, т.е. проводились работы по сейсмическому микрорайонированию (СМР) 6 больших строительных площадок. Эталонные грунты были установлены на территории г. Владикавказа ранее в процессе проведения сейсмического микрорайонирования в 1969-1970 гг. и вновь были пересмотрены

и уточнены при создании новой карты СМР города в 2010 году с помощью новых походов [Сейсмическое, 1970; Заалишвили, 2000]. Это позволило рассчитать ожидаемые интенсивности для указанных 6 участков, которые для протяженной улицы Куйбышева, сложенной грунтами со значительно различающимися сейсмическими свойствами, не были одинаковыми и изменялись в пределах 7-9 баллов. Хотя оценка сейсмического риска всего города, согласно указанному проекту, должна была быть проведенной непосредственно вслед за этим, именно на основе новой карты СМР города, из-за отсутствия финансирования оценка риска и составление соответствующей карты риска, так и оказалась не реализованной. При этом методика была уже апробированной [Заалишвили, 2000; Zaalihvili et al., 2001]. Но возвращаясь к улице Куйбышева, необходимо отметить, что для завершения исследовательской цепочки в 2019 году были обновлены исследования и уточнены расчеты оценки сейсмического риска. Известно, что каждый тип здания характеризуется определенной уязвимостью на тот или иной уровень сейсмического воздействия. Значения уязвимостей и другие ожидаемые параметры определялись на основе статистического анализа данных большого числа прошлых землетрясений и поэтому могут быть с достаточной надежностью использованы в расчетах. При этом учет конкретных видов грунтов и типов застройки с расчетными интенсивностями и уязвимостями типов зданий обусловил различный уровень ожидаемых экономических потерь. Далее на основе учета ожидаемых повреждений в застройке по ул. Куйбышева были рассчитаны ожидаемые социальные потери. В завершение были установлены сейсмические риски территории, включающие указанные экономические и социальные потери. Представляет интерес анализ вариаций сейсмических рисков по улице Куйбышева, фактически являющейся моделью города.

## **1. К расчёту риска сейсмических потерь на примере улицы Куйбышева в г. Владикавказе**

Район исследования размещался на площади 1.35 км.<sup>2</sup>, его южной границей служила улица Горького, северная оконечность проходила по улицам Джанаева, Маркова, переулку Осипенко, братьев Щукиных; на западе участок простирался до реки Терек, а на востоке он ограничивался по соответствующей линии построенного городка Весна. Застроенная часть площади была условно разделена на шесть приблизительно равных участков, которые при прослеживании с востока на запад именовались: 1) Весна 2) Балкинский проезд-улица Пионеров 3) Улица Пионеров-улица Лермонтовская 4) Улица Лермонтовская-улица Фрунзе 5) Улица Фрунзе-улица Ленина 6) Улица Ленина-река Терек. В пределах любого из участков, на векторной графике выделялись различные объекты и их этажность (отдельные жилые дома и их группы, школы, институты, административные и общественные здания, рынки и т.д.), по каждому из которых устанавливались конструктивные типы сооружений (А, В, С, D) и их этажность. Конструктивные типы зданий устанавливались при рассмотрении проектно-сметной документации, а также при освидетельствовании сооружений на местности, для чего были привлечены научные сотрудники института.

В каждом из перечисленных выше участков определялась его общая площадь, а также суммарная площадь занятая различными застроенными объектами. Определение площадных показателей осуществлялось с использованием программы AutoCAD. На всех участках вычислялась средняя этажность построенных сооружений, по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{S_1 \cdot \mathcal{E}_1 + S_2 \cdot \mathcal{E}_2 + \dots + S_m \cdot \mathcal{E}_m}{\sum_1^m S}, \quad (2)$$

где  $S_1 \dots S_m$  площади отдельных застроенных объектов, а  $\mathcal{E}_1 \dots \mathcal{E}_m$  соответствующая каждой площади этажность.

Далее во всех выделенных площадях осуществлялась экспрессная оценка численности населения с применением формулы  $Q_{уч.} = S_{уч.} \cdot \mathcal{E}_{cp.} / 20$ , где  $S_{уч.}$  - суммарная площадь застройки по каждому вычисляемому участку,  $\mathcal{E}_{cp.}$  - средняя этажность построенных объектов на подсчитываемом участке, 20 - значение экспертной величины, которая соответствует общей площади в  $m^2$ , приходящейся на одного жителя.

Определение *риска сейсмических потерь* (RSL), реализовывалось как  $RSL = K_R \cdot K_S \cdot K_P$ ,

где  $K_R$  - рейтинг риска, равный  $K_R = \frac{I_{hz}}{I_{rL,r}}$ , ( $I_{hz}$  - интенсивность сейсмического воздействия

и  $I_{rL,r}$  - сейсмостойкость зданий и сооружений, выраженная в баллах шкалы MSK-64);

$K_S$  - рейтинг уязвимости зданий, расположенных в пределах площади отдельных участков, размещенных в районе улицы Куйбышева равен  $K_S = \frac{S_b}{S}$ , ( $S_b$ -площадь застроек с различной степенью риска разрушений и  $S$ -общая площадь застроек, выраженная в  $m^2$ );

$K_P$  - коэффициент уязвимости людей, равный  $K_P = \frac{P_b}{P}$ , ( $P_b$  - число людей, находящихся в зданиях с различной степенью риска разрушений, и  $P$ -экспертная оценка общей численности населения, проживающего в каждом из выделенных участков, примыкающих к улице Куйбышева).

В табл.1. и на рис. 1 приведены необходимые параметры для расчёта риска ожидаемых сейсмических потерь.

Для характеристики риска сейсмических потерь по аналогии с работой армянских ученых [Баласаян, 2004], были приняты три степени риска: высокий ( $RSL > 1.1$ ), средний ( $1.1 \geq RSL > 1.0$ ) и низкий ( $RSL \leq 1.0$ ).

Проанализированную часть площади города Владикавказа можно представить в виде плана риска сейсмических потерь, с детальностью до любого существующего строения. На таком плане, каждый из шести выделенных ранее участков, будет отображён в соответствии с подсчитанным риском сейсмических потерь и предполагающимся уровнем сейсмического воздействия.

Для территории г. Владикавказа в Геофизическом институте в 2010 г. был составлен набор карт сейсмической опасности для повторяемости 50 лет и вероятностью превышения сейсмической опасности 1 %, 2 %, 5 % и 10% [Bender, Perkins, 1987]. Полученные данные относятся к так называемым «средним грунтам». Для территории г. Владикавказа отдано предпочтение карте ДСР с вероятностью 5%, которая приближается к существующим оценкам уровня сейсмической опасности (повторяемость 1000 лет) для региона [Рейснер, Иогансон, 1993; Рогожин, 2002]. При этом территория города полностью находится в 8 балльной зоне. Таким образом, площадь застройки, прилегающей к улице Куйбышева, пространственно располагаясь вблизи центральной части города, находится в 8 балльной сейсмической зоне в соответствии с картой ДСР.

## 2. Расчет ожидаемого экономического ущерба

По определению риск – это вероятность экономического и социального ущерба для данной территории за определенный промежуток времени.

Возможны оценки риска, выраженные в процентном отношении потерь для отдельных элементов риска или в денежном выражении этих потерь. Процентное выражение сейсмического риска удобнее тем, что для отдельных элементов риска такое выражение более стабильно. Процентное отношение потерь не зависит от инфляции, позволяет сравнивать результаты оценок по материалам различных стран независимо от соотношения курсов валют.

Для оценки полного ущерба необходимы данные для расчета некоторых видов ущерба:

$L_1$  – экономический ущерб в результате повреждения и (или) разрушения жилых зданий и сооружений;

$L_2$  – экономический ущерб в результате повреждения и (или) разрушения городской инфраструктуры (без учета косвенных потерь);

$L_3$  – экономический ущерб в результате повреждения и (или) разрушения зданий социально-бытового назначения (учреждения управления, здравоохранения и др.);

$L_4$  – социальный ущерб.

Ущерб от вторичных последствий землетрясений учитывается путем введения специально разработанных повышающих коэффициентов на дополнительные затраты, связанные с ликвидацией последствий от возникновения деформации грунтов, оползней, селей и др., в том числе, связанные с воздействием дополнительных сооружений инженерной защиты от опасных процессов.

Полный экономический ущерб  $L$  вычисляется как сумма отдельных видов ущерба для всех зон различной интенсивности [Соболев, 1997]:

$$L_i = \sum_{j=1}^j S_{ij} \times V_{ij} \times C_{ij} \quad (3)$$

где:  $S_{ij}$  – плотность застройки типа  $j$  в зоне с интенсивностью  $i$ ;

$V_{ij}$  – средняя уязвимость отдельного объекта;

$C_{ij}$  – средняя стоимость отдельного объекта.

Распределение экономических потерь при 8-балльном землетрясении приведено на рис. 2, из которого видно, что наибольшие экономические потери следует ожидать на участках 2 и 3, что, в первую очередь, обусловлено грунтовыми условиями. В то же время риск экономических потерь для участка 1 – микрорайона «Весна» незначителен, что связано с тем, что застройка данного участка состоит исключительно из зданий типа D. В то же время, учитывая возможные опрокидывания зданий, вызванные разжижением грунтов, экономический риск возрастет в несколько раз и по нашим оценкам составит около 400 млн. рублей (повреждение около 30% зданий застройки).

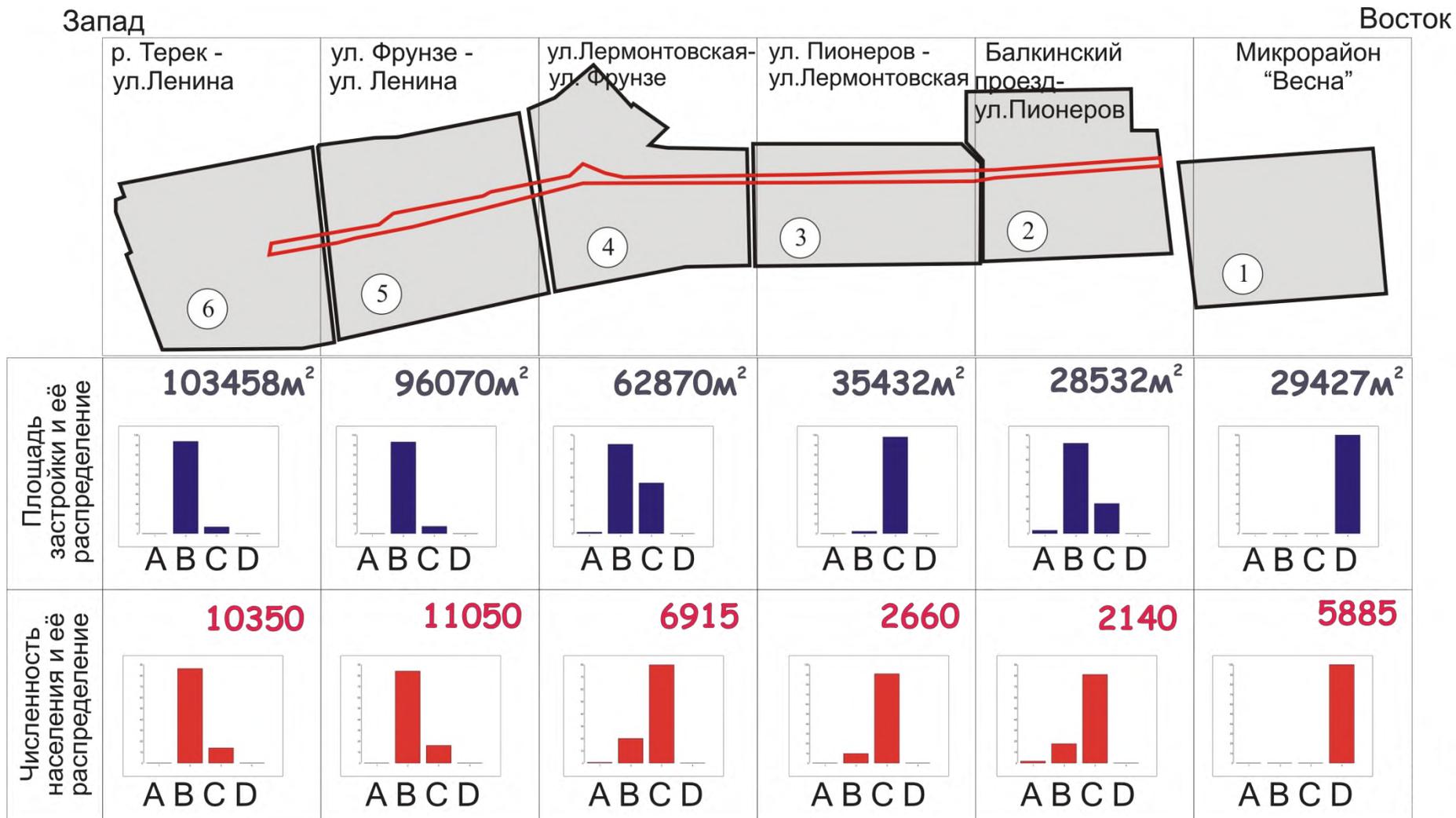


Рис. 1. Исходные данные для оценки сейсмического риска.

Таблица 1

## Сведения по типам зданий и численности населения для расчёта риска сейсмических потерь

Наименование участков в районе улицы Куйбышева	Общая площадь м <sup>2</sup>	Площадь домов м <sup>2</sup>	Процент застройки	Конструктивные типы зданий и их площадь в м <sup>2</sup>				Численность населения общая, в том числе по отдельным типам зданий-человек				Средняя этажность зданий
				Количество домов (групп) – штук								
		Число домов		A	B	C	D	A	B	C	D	
Весна	166288	29427	17.7	<b>29427</b>				<b>5885</b>				4
		38		—	—	—	29427	—	—	—	5885	
Балкинский проезд-улица Пионеров	177853	28532	16.0	<b>28532</b>				<b>2140</b>				1.5
		178		706.5	20908.9	6916.6	—	35	375	1730	—	
Улица Пионеров-улица Лермонтовская	159501	35432	22.2	<b>35432</b>				<b>2660</b>				1.5
		149		—	34728.4	703.6	—	—	2410	250	—	
Улица Лермонтовская-улица Фрунзе	194762	62870	32.2	<b>62870</b>				<b>6915</b>				2.2
		107		528.5	39802	22539.5	—	26	1372	5517	—	
Улица Фрунзе-улица Ленина	232448	96070	41.3	<b>96070</b>				<b>11050</b>				2.3
		101		—	89192.8	6877.2	—	—	9283	1767	—	
Улица Ленина-река Терек	207625	103458	49.8	<b>103458</b>				<b>10350</b>				2.0
		89		—	96764.2	6693.8	—	—	8925	1425	—	
<b>Итого</b>	<b>1138477</b>	<b>355789</b>	<b>31.3</b>	<b>355789</b>				<b>39000</b>				<b>2.2</b>
		<b>662</b>		<b>1235</b>	<b>281396.3</b>	<b>43730.7</b>	<b>29427</b>	<b>61</b>	<b>22365</b>	<b>10689</b>	<b>5885</b>	
				<b>8</b>	<b>576</b>	<b>40</b>	<b>38</b>					

### 3. Расчет социальных потерь в окрестностях ул. Куйбышева при землетрясениях различной интенсивности

Социальные потери во время землетрясений, в основном, определяются уровнем повреждения зданий и сооружений.

Согласно данным табл. 2 значения уязвимости для конструктивных типов зданий, соответственно А, В, С и D при землетрясении 7 баллов: 0.227, 0.057, 0.01, 0.002, при землетрясении 8 баллов: 0.565, 0.227, 0.072, 0.015 и при землетрясении 9 баллов: 0.825, 0.565, 0.227, 0.06.

Таблица 2

Уязвимость  $V_i$ , соответствующая четырем типам зданий по MSK-64

Тип зданий	Макросейсмическая интенсивность по шкале MSK-64					
	V	VI	VII	VIII	IX	XII
<b>A</b>	0,001	0,015	0,227	0,565	0,825	1
<b>B</b>	0	0,001	0,057	0,227	0,565	1
<b>C</b>	0	0	0,010	0,072	0,227	1
<b>D</b>	0	0	0,002	0,015	0,06	1

Принято, что стоимость одного квадратного метра застройки в г. Владикавказе для площади микрорайона Весна составит 40 000 руб. и для других участков – 35000 руб.

Для установления полного экономического ущерба, мы должны также учесть потери вследствие повреждения и (или) разрушения городской инфраструктуры.

По экспертной оценке дополнительный ущерб от подсчитанного ранее размера ущерба при семибалльном землетрясении увеличится на 20%, а для восьмибалльного - на 40%.

Таким образом, полный экономический убыток по исследуемой территории при семибалльном землетрясении составит ~168 млн. руб, а восьмибалльном ~743 млн. руб.

Далее рассчитывался ожидаемый экономический ущерб в результате повреждения и разрушения жилых зданий и сооружений, а также объектов социально бытового назначения по каждому участку (табл. 3).

Таблица 3

Ожидаемый экономический ущерб по участкам, прилегающим к улице Куйбышева

Наименование участков в районе улицы Куйбышева	Размер экономического ущерба, при землетрясении, млн. рублей		
	7 баллов	8 баллов	9 баллов
Весна	8,2	17,7	70,6*
Балкинский проезд - улица Пионеров	61,1	232,8	561,6
Улица Пионеров - улица Лермонтовская	70,3	280,2	697,9
Улица Лермонтовская - улица Фрунзе	114,1	452,8	
Улица Фрунзе - улица Ленина	179,1	722,0	
Улица Ленина - набережная р. Терек	194,9	784,1	
<b>ИТОГО</b>	<b>139,6</b>	<b>530,7</b>	<b>1330,1</b>

\* Экономический ущерб может существенно измениться при вполне возможном явлении разжижении грунта и составить - 400 млн. руб.

Очень остро стоит также вопрос о пожарах, которые зачастую сопровождают разрушительные землетрясения (например, Токио, 1923 г. и т.д.) из-за вполне закономерных нарушениях газопроводов, электросетей и т.д. В последние годы, неоднократно имели место различного рода аварии, которые могут значительно изменить ситуацию на той или иной урбанизированной территории. Например, везде на Кавказе имеются опасные объекты, которые при пренебрежении нормами эксплуатации являются источниками весьма значительных опасностей. Наконец, возвращаясь к нашему региону необходимо отметить, что наличие токсических отходов многочисленных рудников, в том числе, действующих могут создать условия для природно-техногенных катастроф. В нашей работе акцент делался именно на сейсмическую составляющую через его воздействие на здания и сооружения.

Для расчета социальных потерь наряду с вышеприведенными данными таблиц использовались данные статистических соотношений между числом раненых и погибших для современных зданий (например, табл. 4.) и др. [Соболев, 1997]. В то же время при расчете социальных потерь для зданий старого типа использовались результаты анализа прошлых землетрясений на Кавказе.

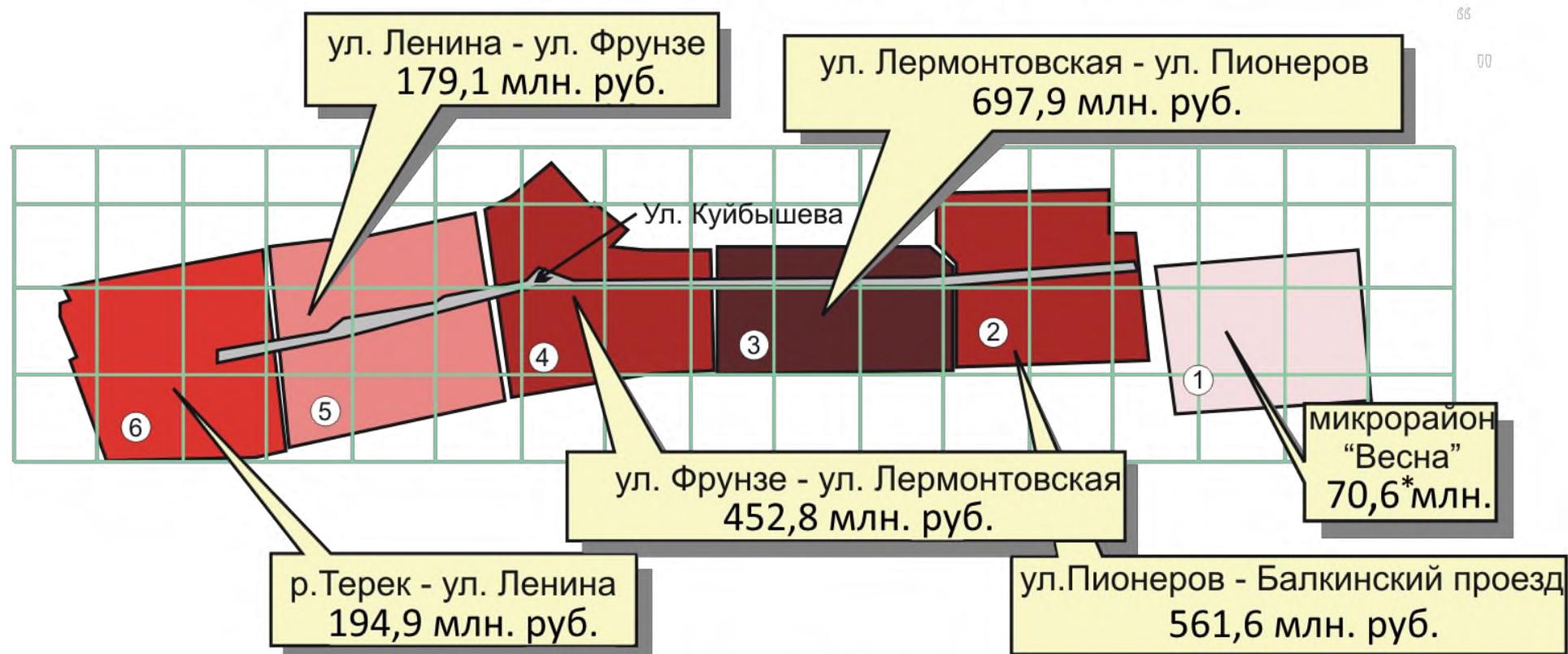
Таблица 4.

Зависимость потерь населения от типа зданий и уровня воздействия

Воздействие	Тип здания (численность населения, чел.)	Потери населения, чел. (% от общего числа)		
		Легкие ранения	Серьезные ранения	Летальные исходы
VII	А (61)	8 (13,1%)	-	-
VIII		21 (34,4%)	9 (14,8%)	3 (4,9%)
IX		19 (31,1%)	15 (24,6%)	17 (27,9%)
VII	В (22365)	3 (0,01%)	-	-
VIII		674 (3%)	90 (0,4%)	22 (0,1%)
IX		4037 (18,1%)	528 (2,4%)	338 (1,5%)
VII	С (10689)	-	-	-
VIII		18 (0,2%)	-	-
IX		433 (4,1%)	42 (0,4%)	11 (0,1%)
VII	D (5885)	-	-	-
VIII		-	-	-
IX		1 (0,02%)	-	-

Используя ожидаемые значения процента повреждений по степени повреждений и соответствующие значения коэффициента ущерба для разных уровней интенсивности по шкале MSK – 64, числа зданий и сооружений (большинство, отдельные, среднее) различного уровня, были рассчитаны ожидаемые социальные потери населения. Данные эти, несомненно, средние и, к сожалению, могут быть значительно превышены при некачественном строительстве. Везде в наших расчетах предполагается, что качество работ соответствует нормативам (хотя бы на период строительства). Учитывая, что основная часть уже существующей застройки характеризуется дефицитом сейсмостойкости 1-2 балла и иногда больше, очень важное внимание необходимо уделять качеству работ. В частности, необходимо учитывать также показатели амортизации зданий и сооружений.

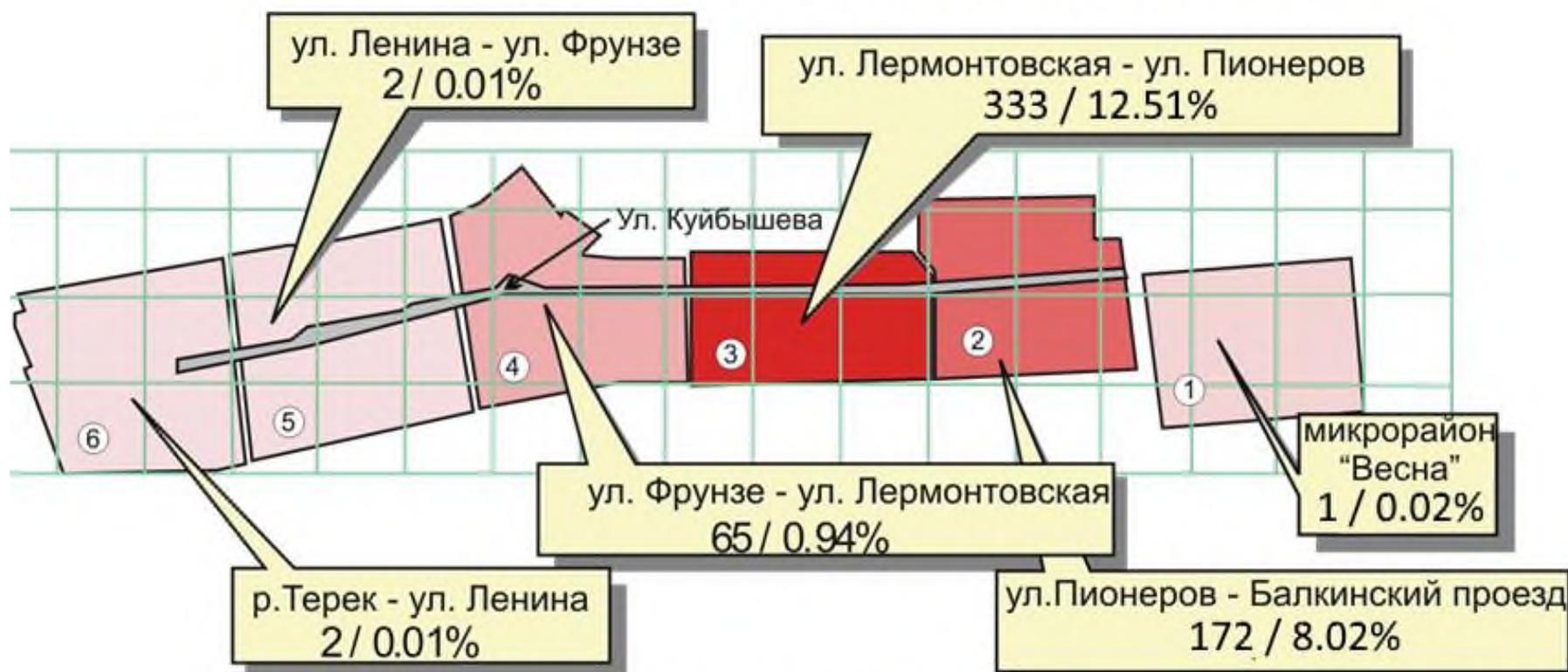
## Экономические потери при землетрясении интенсивностью 8 баллов



\* учитывая возможное разжижение грунтов  
экономические потери для участка №1 возрастут до 400 млн. руб

Рис.2. Ожидаемые экономические потери при 8-балльном землетрясении для г. Владикавказа (для средних грунтов)

## Социальные потери при землетрясении интенсивностью 8 баллов



Цифры обозначают абсолютное число пострадавших и / число пострадавших в процентах от численности населения участка

Рис. 3. Ожидаемые социальные потери при 8-балльном землетрясении для г. Владикавказа (для средних грунтов)

#### 4. Обсуждение результатов

На основе анализа результатов геологических изысканий по ул. Куйбышева на территории г. Владикавказа выделены шесть кварталов с различными грунтовыми условиями, далее, используя способ экспертных оценок, были реализованы рейтинговые оценки грунтов оснований застройки выделенных кварталов. Согласно данным сейсмического микрорайонирования расчетная интенсивность для указанных кварталов варьирует в пределах 7-9 баллов. Анализ данных показывает, что, при этом, отчетливо прослеживается связь между грунтовыми условиями и уровнем уязвимости исследуемых кварталов. Разработанный подход, несомненно, должен быть учтен при оценках сейсмической уязвимости и соответствующего риска территории, т.е. при оценках социальных и экономических потерь. На исследуемой территории выделены несколько типов зданий (А, В, С, D) и дана их классификация по уязвимости к сейсмическим воздействиям. Использование рейтинговых оценок создает условия для перехода от традиционной балльности к другим коррелятивным оценкам. Это предполагает использование корреляционных связей между результатами экспертных оценок и расчетным ускорением грунтов оснований существующей застройки.

Анализ результатов расчетов показывает, что в зависимости от типа зданий уязвимость изменяется в широких пределах. Можно хорошо видеть, что современная застройка микрорайона «Весна» резко отличается минимальностью прогнозируемой уязвимости. Здесь она практически нулевая при 6-9 балльном воздействии. С другой стороны, анализ инструментальных записей станций, расположенных в различных грунтовых условиях, показывает, что указанный район характеризуется значительной сейсмической опасностью из-за грунтов оснований в виде мощной толщи (20 метров и больше) глинистых грунтов текучей консистенции.

Результаты анализа тяжелых последствий землетрясений показывают, что плиты оснований, хотя и препятствуют воздействию неравномерных осадков на целостность зданий, при слабых грунтах оснований делают их весьма уязвимыми к опрокидыванию. Примеры таких аварий хорошо известны (Ниигата, 1964). Вообще вопрос традиционного повышения интенсивности участка с целью их усиления все еще спорный, т.к. даже секундные провисания отдельных частей тяжелого здания приведут к их значительным повреждениям. Некоторые авторы полагают, что здания не рекомендуется усиливать и считают, что это даже вредно т.к. на слабых грунтах тяжелое здание может просто «утонуть» в грунте. Поэтому здесь необходима реализация специальных мероприятий по усилению собственно грунтов.

При реализации сейсмического воздействия ожидаемого уровня, а это составляет, как отмечалось выше, магнитуду  $M=7$  с интенсивностью землетрясения равной 9-10 баллам в эпицентре, генерируемое непосредственно в южной части города землетрясение, почти не затухая, придет на исследуемую площадку с той же интенсивностью.

Учитывая, что разжижение грунта, как правило, имеет место для обводненных грунтов уже с 8 балльной интенсивности, весьма реальным на площадке «Весна» (Рис. 4.) представляется вполне логичным проявление сейсмического события подобное Ниигатскому (Рис. 5.). Необходимо отметить, что при Ниигатском землетрясении (Япония, 1964), весьма добротные дома просто легли на грунт почти целыми. При минимальных социальных потерях экономический ущерб был весьма велик. Для участка №1 (Весна) представленного грунтовой толщиной, которая содержит слой грунта текучей консистенции, экономический ущерб априори увеличится в 2,5 раза и, согласно расчетам, составит 400 млн. руб. (Рис.5.). Благодаря весьма высокому качеству зданий, кстати, рассчитанных на 8 баллов, социальные потери здесь будут минимальны. Социальные потери во время землетрясений, в основном, определяются уровнем повреждения зданий и сооружений. В то же время т.н. вторичные последствия в виде оползней, разжижения, грунтов, наводнения могут стать при

определенном стечении негативных факторов определяющими и аномально высокими. Как уже отмечалось выше необходимо отметить проблему пожаров, которые зачастую сопровождают разрушительные землетрясения из-за вполне закономерных нарушений газопроводов, электросетей и т.д.



Рис.4. Микрорайон Весна, г. Владикавказ

$M_{\max} = 7.1$

Фото: Т.В. Заалишвили

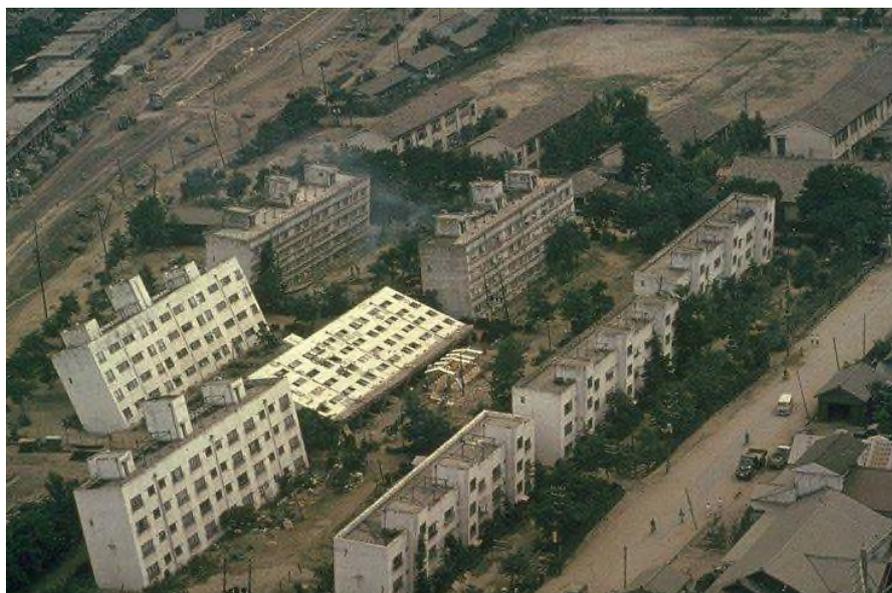


Рис.5. Разжижение грунтов 16 июня, 1964, Ниигата, Япония,

$M_{\max} = 7.5$

Фото: Joseph Penzien

## Заключение

1. Реализована оценка сейсмического риска современной урбанизированной территории на примере территории ул. Куйбышева и прилегающих кварталов. Являясь частью старой центральной части города, рассматриваемая улица включает почти все типы зданий и сооружений, распространенных в городе и все многообразие грунтовых условий.
2. Реализована оценка ожидаемого экономического ущерба и социальных потерь, обусловленных сейсмическим воздействием на застройку. Социальные потери во время землетрясений, в основном, определяются уровнем повреждения зданий и сооружений. В то же время т.н. вторичные последствия в виде оползней, разжижения, грунтов, наводнения могут стать при определенном стечении негативных факторов определяющими и аномально высокими.
3. Рассмотрены основные показатели уязвимости зданий и сооружений, факторы, формирующие прямой и косвенный ущерб при землетрясениях. Функции уязвимости позволяют провести качественную оценку риска, определить уровень возможной повреждаемости данного типа сооружений, а, следовательно, и оценить потери, при землетрясении заданной интенсивности.
4. Приведена классификация застройки по ул. Куйбышева по сейсмическому классу уязвимости.
5. Исследуемый район был условно разделен на шесть кварталов. Для формирования рейтинговой оценки выделенных кварталов учитывался целый ряд факторов (тип грунтов, мощность слоев, уровни грунтовых вод, рельеф, наличие опасных процессов).
6. Создана база данных застройки по улице Куйбышева. Эта база включает в себя всю необходимую информацию по зданиям, расположенным по улице Куйбышева и в прилегающих кварталах.
7. Рассмотрены особенности построения модели сейсмической уязвимости градостроительных систем.

## Список литературы

1. Гогмачадзе С.А., Заалишвили З.В., Отинашвили М.Г., Шенгелия Н.О. Метод рейтинговой оценки территории для целей страхования. // Теория сооружений и сейсмостойкость. Сб. трудов ИСМиС АНГ. Тбилиси, 2003, № 3. С. 46
2. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования. М.: ОИФЗ РАН, 2000. – 367 с.
3. Заалишвили В.Б. Сейсмический риск в оценке направлений реконструкции исторического центра города // Теория сооружений и сейсмостойкость. ИСМИС им. К.С. Завриева АН Грузии №1. - Тбилиси, 2000, с.189-194
4. Баласаян С. Ю., Назаретян С.Н., Амирбекян В. С., Сейсмическая защита и ее организация, Гюмри: Эльдорадо, 2004. – 436 с.
5. Отчет по инженерно-геологическим изысканиям на территории г. Орджоникидзе. Машинопись, 1969. – 450 с.
6. Соболев Г.А. (отв. ред.). Оценка сейсмической опасности и сейсмического риска. Пособие для должностных лиц. ОИФЗ РАН, институт сейсмологии. М.: ОИФЗ РАН, 1997. – 26 с.
7. Рейснер Г.И., Иогансон Л.И. Сейсмический потенциал Западной России, других стран СНГ и Балтии// Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. М: ОИФЗ РАН, 1993. С.186-195.
8. Рогожин Е.А. Современная геодинамика и потенциальные очаги землетрясений

кавказского региона. Современные математические и геологические модели природной среды. Геофизика и математика в XXI веке. М.: ОИФЗ РАН, 2002. С.244-254.

9. Сейсмическое микрорайонирование территории Ордзоникидзе. Машинопись. Труды Института Строительной Механики и сейсмостойкости им.К.С. Завриева АН Грузии. 1970. – 182 с.
10. Balassanian S., Manukian A., Seismic risk on the territory of Erevan, Armenia, NATO Advanced research workshop, October 8-11, 1993, Istanbul, Turkey.
11. Bender, B. and D. M. Perkins (1987). SEISRISK III: A Computer Program for Seismic Hazard Estimation. US Geological Survey Bulletin 1772. – 48p.
12. Bonnin J., Zaalishvili V. International cooperation management of seismic hazard in Caucasus // Труды Международной конференции «Информационные технологии и системы: наука и практика». - Владикавказ, 2002, с.479-482.
13. Zaalishvili V.B., Chachava N.T., Gogmachadze S.A. Seismic risk assessment methods in old Tbilisi. Natural Disasters designing for safety. Proceedings of UIA work programmed conference. UIA-Chamber of Architects of Turkey. - Istanbul. 2001, pp. 81-88.

### References

1. Gogmachadze S.A., Zaalishvili Z.V., Otinashvili M.G., Shengelia N.O. The method of rating assessment of the territory for insurance purposes. // Theory of structures and seismic resistance. Proceedings ISMIS Georgian National Academy of Sciences. Tbilisi, 2003, No. 3. P. 46 (in Russ.)
2. Zaalishvili V.B. Physical basis of seismic microzonation. M. IPE RAS, 2000. - 367 p. (in Russ.)
3. Zaalishvili V.B. Seismic risk in assessing the direction of reconstruction of the historic center of the city // Theory of structures and seismic resistance. ISMIS named after K.S. Zavriev Academy of Sciences of Georgia No.1. - Tbilisi, 2000, pp.189-194 (in Russ.)
4. Balasanyan S.Yu., Nazaretyan S.N., Amirbekyan V.S., Seismic protection and its organization, Gyumri: Eldorado, 2004. - 436 p. (in Russ.)
5. Report on engineering and geological surveys in the territory of the city of Ordzhonikidze. Typescript, 1969. - 450 p. (in Russ.)
6. Sobolev G.A. (Ed.). Seismic hazard and seismic risk assessment. Manual for officials. Institute of Seismology, RAS Institute of Seismology. M. IPE RAS, 1997. - 26 p. (in Russ.)
7. Reisner, G.I., Ioganson, L.I. Seismic potential of Western Russia, other CIS and Baltic countries // Seismicity and seismic zoning of Northern Eurasia. M. IPE RAS, 1993. pp.186-195. (in Russ.)
8. Rogozhin E.A. Modern geodynamics and potential earthquake sources in the Caucasus region. Modern mathematical and geological models of the natural environment. Geophysics and Mathematics in the XXI century. M. IPE RAS, 2002. pp. 244-254 (in Russ.)
9. Seismic microzonation of the Ordzhonikidze territory. Typescript. Proceedings of the Institute of Structural Mechanics and Seismic Resistance named after K.S. Zavriev Academy of Sciences of Georgia. 1970. - 182 p. (in Russ.)
10. Balassanian S., Manukian A., Seismic risk on the territory of Erevan, Armenia, NATO Advanced research workshop, October 8-11, 1993, Istanbul, Turkey.
11. Bender, B. and D. M. Perkins (1987). SEISRISK III: A Computer Program for Seismic Hazard Estimation. US Geological Survey Bulletin 1772. – 48p.
12. Bonnin J., Zaalishvili V. International cooperation management of seismic hazard in Caucasus // Труды Международной конференции «Информационные технологии и системы: наука и практика». - Владикавказ, 2002, с.479-482.
13. Zaalishvili V.B., Chachava N.T., Gogmachadze S.A. Seismic risk assessment methods in old Tbilisi. Natural Disasters designing for safety. Proceedings of UIA work programmed conference. UIA-Chamber of Architects of Turkey. - Istanbul. 2001, pp. 81-88.

## **ВСЕСТОРОННИЙ ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ СЕЙСМОГЕННОГО ХАРАКТЕРА НА ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКАХ**

### **SITE-SPECIFIC FULLY PROBABILISTIC APPROACH FOR SEISMICALLY INDUCED LANDSLIDE HAZARD ASSESSMENT**

#### **Коновалов Алексей Валерьевич**

к.ф.-м.н., директор, Сахалинский филиал  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Дальневосточного геологического института Дальневосточного отделения Российской академии наук, Южно-Сахалинск, 693023, Россия, e-mail: [a.konovalov@geophystech.ru](mailto:a.konovalov@geophystech.ru)

#### **Konovalov Alexey V.**

Ph.D., Director, Sakhalin Department of Far East Geological Institute,  
Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia, e-mail:  
[a.konovalov@geophystech.ru](mailto:a.konovalov@geophystech.ru)

#### **Генсиоровский Юрий Витальевич**

к.г.-м.н., руководитель лаборатории лавинных и селевых процессов, Сахалинский филиал  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Дальневосточного геологического института Дальневосточного  
отделения Российской академии наук, Южно-Сахалинск, 693023, Россия, e-mail:  
[gensiorovskiy@mail.ru](mailto:gensiorovskiy@mail.ru)

#### **Gensiorovskiy Yuriy V.**

Ph.D., Head of Laboratory of Avalanche and Mudflow Processes,  
Sakhalin Department of Far East Geological Institute, Far East Branch, Russian Academy of  
Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia, e-mail: [gensiorovskiy@mail.ru](mailto:gensiorovskiy@mail.ru)

#### **Степнов Андрей Александрович**

к.ф.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории лавинных и селевых процессов,  
Сахалинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Дальневосточного геологического института Дальневосточного отделения Российской  
академии наук, Южно-Сахалинск, 693023, Россия, e-mail: [a.stepnov@geophystech.ru](mailto:a.stepnov@geophystech.ru)

#### **Stepnov Andrey A.**

Ph.D., Senior Researcher of Laboratory of Avalanche and Mudflow  
Processes, Sakhalin Department of Far East Geological Institute, Far East Branch, Russian  
Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia, e-mail: [a.stepnov@geophystech.ru](mailto:a.stepnov@geophystech.ru)

#### **Сычев Андрей Сергеевич**

инженер-геофизик, Общество с ограниченной  
ответственностью «Геофизические технологии», Южно-Сахалинск, 693006, Россия, email:  
[a.sychov@geophystech.ru](mailto:a.sychov@geophystech.ru)

#### **Sychov Andrey S.**

geophysicist, Geophysical Technologies LLC, Yuzhno-Sakhalinsk, 693006, Russia, e-mail:  
[a.sychov@geophystech.ru](mailto:a.sychov@geophystech.ru)

**Аннотация.** Повреждения, связанные с сейсмогенными оползнями, могут быть такого же порядка или значительно превышать ожидаемый ущерб от непосредственных

сейсмических воздействий. В данной работе предложен новый вероятностный метод оценки оползневой опасности сейсмогенного характера. Данный метод предполагает многоэтапный подход. Эти этапы включают вероятностный анализ сейсмической опасности для конкретного участка, геотехнические исследования и калибровку вероятностной модели возникновения оползня в результате сейсмических нагрузок. Предложена методика деагрегации опасности «возникновения» сейсмогенного оползня для выбора параметров сценарного землетрясения. Метод апробирован на нескольких оползневых участках на юге о. Сахалин, которые также являются сейсмически активными. Значительное расхождение между сценарными сейсмическими воздействиями с точки зрения 475-летней карты сейсмической опасности и рассмотренным полностью вероятностным подходом предполагает, что расчетная вероятность возникновения сейсмогенного оползня может быть недооценена или завышена при использовании 475-летней карты сейсмической опасности для прогнозирования оползневых эффектов. Данный подход следует идеологии сбалансированной оценки риска, которая учитывает все возможные сейсмические сценарии, модели и параметры склона. Авторы надеются, что данный подход улучшит геотехнические исследования, связанные с количественной оценкой устойчивости склонов.

**Ключевые слова:** сейсмогенный оползень, модель Ньюмарка, вероятностный анализ, о. Сахалин, сценарное землетрясение, устойчивость склона

**Abstract.** Damages caused by seismically induced landslides can be of the order or significantly exceed the expected damages from direct ground shaking. A fully probabilistic technique for the seismically induced landslide hazard assessment is considered in this study. The given method suggests multi-stage and multi-hazard approach. These stages include site-specific probabilistic seismic hazard analysis, geotechnical investigations and landslide probability calibration. The ‘occurrence’ hazard deaggregation technique is proposed for the selection the ground shaking level, magnitude and site-to-source distance of the scenario earthquake. The method was applied considering several natural slopes in the south of Sakhalin Island which is known as a seismically and land sliding active region. The significant deference between the ground motion scenario in terms of the 475-year seismic hazard map and considered fully probabilistic approach suggests that seismic landslide hazard could be underestimated or overestimated when using the 475-year seismic hazard map for landslide prediction. The given approach follows the rational risk management idea that handles well all possible ground motion scenarios, slope models, and parameters. The authors suggest that the given approach can improve the geotechnical studies of slope stability.

**Keywords:** Seismically induced landslide, Newmark displacement model, probabilistic analysis, Sakhalin Island, scenario earthquake, slope stability

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-155-156**

## **ОЧЕРЕДНЫЕ ЗАДАЧИ НОРМИРОВАНИЯ ЦУНАМИБЕЗОПАСНОСТИ МОРСКИХ ПОРТОВ И БЕРЕГОВЫХ ЗДАНИЙ** **IMMEDIATE OBJECTIVES OF NORMING OF SEAPORT AND COASTAL STRUCTURES SAFETY UNDER TSUNAMI IMPACT**

**Клячко М.А.**

Профессор, Председатель Совета АНО «Региональный альянс для анализа и уменьшения бедствий» (АНО «РАДАР»), [radar@cendr.org](mailto:radar@cendr.org)

**Klyachko Mark A.**

Prof. Chairman, Regional Alliance for Disaster Analysis & Reduction (RADAR) NRO, [radar@cendr.org](mailto:radar@cendr.org)

**Аннотация.** Новые неотложные задачи обеспечения цунамизащиты прибрежных и береговых сооружений от воздействия цунами рассматриваются как очередные шаги решения комплексной проблемы цунамибезопасности.

**Ключевые слова:** цунами, цунамиопасный район, цунамимикрорайонирование, картирование зон затопления, прибрежные и береговые сооружения, численное моделирование, безопасность морских портов, смягчение воздействия цунами, цунамизащитные сооружения, градостроительное регулирование.

**Abstract.** New pressing tracks to ensure tsunami protection of seaports and coastal facilities against tsunami impact are considered as the next steps to solve the complex problem of tsunami safety.

**Keywords:** Tsunami, tsunami-prone zone, tsunamimicrozonation, inundation zone mapping, coastal engineering, numerical simulation, seaport safety, tsunami mitigation, tsunami protection structures, urban planning

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-157-158**

В 2017 году утвержден Минстроем России разработанный в АНО «РАДАР» под руководством автора СП 292.1325800.2017 «Здания и сооружения в цунамиопасных районах. Правила проектирования», описание которого представлено в журнале «Фундаментальная и прикладная гидрофизика» №3, том 10 в 2017 году. Этот свод правил разработан группой специалистов-членов РГ «Цунамизащита» ПК7 «Сейсмическая безопасность» ТК-465 «Строительство», среди которых А.И.Зайцев, Н.Г.Заритовский, В.М.Кайстренко, В.В.Максимов, И.С.Нуднер, Е.Н.Пелиновский, Ю.Л.Рутман, В.Ю.Фильков. В 2018 году для разъяснения положений и требований этого свода правил тем же коллективом с участием И.Г.Кантаржи и Г.В.Шевченко были разработаны вспомогательные методические пособия по проектированию зданий и сооружений в цунамиопасных районах и «База данных для проектирования строительных сооружений на цунамиопасных побережьях Российской Федерации», в которых был развит и применен в целях цунамибезопасности метод численного моделирования, что позволяет упростить задачу цунамимикрорайонирования и рассматривать проблему взаимодействия волн цунами с элементами застройки прибрежной акватории и береговой территории. При этом решается задача определения вероятной зоны затопления береговой территории и картирования этой территории в качестве исходного материала для последующего проектирования. Кроме этой первоочередной задачи, требуется рассмотреть вопросы назначения расчетных нагрузок и ситуаций при воздействии цунами на здания различной формы обтекаемости и проницаемости, проблемы надежности

строительных сооружений при воздействии так называемых «близких» цунами, геотехнические задачи устойчивости грунтовых оснований, особенности учета и предотвращения воздействия волн цунами, содержащих обломки и лед, возведение сооружений вертикальной эвакуации, а также пути градостроительного регулирования цунамибезопасности при разработке и реализации проектов территориального планирования. Подчеркивается необходимость апробации разработанных нормативных документов для анализа устойчивого и безопасного функционирования российских морских портов при воздействии цунами.

## **УСИЛЕНИЕ ПОВРЕЖДЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ФИБРОАРМИРОВАННЫМИ ПЛАСТИКАМИ**

### **STRENGTHENING DAMAGED REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS BY FIBER REINFORCED POLIMERS**

**Беспаяев А.А.**

доктор технических наук, зав. лабораторией «КазНИИСА». Алматы, Республика Казахстан

**Bespayev A.A.**

Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory "KAZNIISA". Almaty, Republic of Kazakhstan

**Аннотация.** Рассмотрена эффективность усиления и восстановления эксплуатационной пригодности поврежденных при землетрясениях железобетонных конструкций предварительно напряженными фиброармированными пластиками.

**Abstract.** The consider of strengthening and restoring the operational suitability of damager to be earthquakes reinforced concrete structures by prestressed fiber reinforced plastics is considered.

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-159-166**

При возведении и в процессе эксплуатации зданий нередки повреждения несущих конструкций. Основные причины повреждения железобетонных конструкций связаны с ошибками при расчете и конструировании; низким качеством бетона и арматуры; нарушением технологии изготовления конструкций; недостаточной антикоррозионной защитой; чрезмерными нагрузками и чрезвычайными стихийными бедствиями. Наиболее часто повреждаются изгибаемые несущие железобетонные конструкции (перекрытия, балки, фермы). Особое место занимают поврежденные железобетонные конструкции зданий при землетрясениях. Помимо негативного эстетического восприятия таких конструкций, нарушается эксплуатационная пригодность этих конструкций.

Традиционные методы усиления железобетонных конструкций ориентированы на применение для усиления металлической арматуры или прокатной стали. Усиление обеспечивается наращиванием размеров, устройством обойм или рубашек, применением шпренгельных систем и т.п. Основные трудности такого усиления связаны с необходимостью обеспечения совместной работы дополнительных элементов усиления с существующей конструкцией, что требует выполнения вскрышных работ, приварки к существующей арматуре, обетонирования элементов. Для усиления требуется дополнительное оборудование, выполнение сварных, опалубочных и бетонных работ. Необходимо значительное время для набора прочности бетона омоноличивания. При этом увеличиваются размеры сечения и вес конструкций, затруднен контроль качества усиления. Эти работы обладают высокой трудоемкостью, длительностью выполнения, низкой эффективностью, высокой стоимостью.

В последние два десятилетия во многих развитых странах мира усиление железобетонных конструкций производится с использованием композитных фиброармированных пластиков. В конце прошлого века в Японии впервые композитные материалы использовали при усилении колонн обоймами [1]. Позже предложена более совершенная зависимость прочности бетона в фибропластиковой обойме [2], [3]. Затем были проведены исследования работы изгибаемых железобетонных конструкций, усиленных наклеиванием полос композиционного материала на бетонные поверхности [4]. В работе [5] рассмотрены вопросы усиления фибропластиковыми материалами строительных конструкций из разных материалов. В работе [6] предлагается методика расчета нормальных сечений железобетонных конструкций, усиленных лентами ламината.

В Казахстане выполнен комплекс экспериментальных исследований работы сжатых бетонных элементов, усиленных обоями, также изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в растянутой зоне углеродными фибропластиковыми материалами при статических и динамических нагрузках [7] и [8]. На основании выполненных исследований разработаны методы расчета железобетонных конструкций, усиленных композитными фибропластиковыми материалами для обычных и сейсмических воздействиях.

Современные методы усиления строительных конструкций ориентированы на применение для усиления фиброармированных пластиков, представляющих собой композит из фиброармированных искусственных волокон в пластиковой основе. Композитные материалы усиления отличаются повышенной прочностью, упругим характером деформирования, высокой коррозионной стойкостью, малым весом. Фиброармированные пластики поставляются в виде композитных лент, тканей или сеток, которые содержат армирующие волокна из углерода, базальта, арамида или стекла в полимерной матрице из различных смол (эпоксидных, фенольных, винилэфирных или других видов органических смол). Применение поверхностного усиления железобетонных конструкций путем непосредственного наклеивания на бетонную поверхность композитных лент или сеток может повышать прочность растянутой зоны в несколько раз, увеличить несущую способность по поперечной силе до двух раз, радикально повысить прочность сжатого бетона. На очищенную бетонную поверхность наносится грунтовка и затем наклеиваются пластиковые материалы. Этот метод отличается простотой и повышенной скоростью выполнения, высокой эффективностью, низкой трудоемкостью, снижением стоимости работ, он обеспечивает возможность дополнительного нагружения усиленных конструкций уже через несколько часов после наклеивания усиления. Поверхностное усиление наклеиванием фиброармированных пластиков на поврежденные железобетонные конструкции увеличивает жесткость усиливаемых элементов, уменьшает скорость увеличения прогибов и ширины раскрытия трещин.

Однако, поверхностное усиление наклеиванием фиброармированных пластиков на поврежденные железобетонные конструкции не уменьшает ширину раскрытия имеющихся трещин и существующие прогибы изгибаемых элементов. Фиброармированные пластики включаются в работу усиливаемых конструкций только при дальнейшем увеличении нагрузки, хотя при этом они уменьшают скорость раскрытия трещин и роста вертикальных прогибов, т.е. поверхностное усиление поврежденных изгибаемых железобетонных конструкций не восстанавливает их эксплуатационную пригодность

Для восстановления эксплуатационной пригодности поврежденных изгибаемых железобетонных конструкций предлагается применение предварительного напряжения усиливающих фиброармированных пластиков.

Разработан метод создания предварительного напряжения путем создания временного строительного подъема поврежденных конструкций. Это приводит к зажатию трещин и уменьшению прогибов в поврежденных элементах, затем выполняется поверхностное усиление поврежденных участков перекрытия и после схватывания клеевых составов приподнятые конструкции опускаются и в процессе опускания происходит совместное деформирование усиленной конструкции наклеенных на нее фиброармированных пластиков. В процессе опускания усиленного элемента фиброармирующие материалы включаются в совместную работу с восстанавливаемым элементом, что создает их предварительное напряжение, обеспечивает уменьшение деформаций растянутой металлической арматуры, приводит к уменьшению ширины раскрытия трещин, ликвидации чрезмерных прогибов конструкции и восстановлению эксплуатационной пригодности железобетонного перекрытия.

Временный строительный подъем поврежденных изгибаемых элементов может обеспечиваться телескопическими стойками, домкратами, шпренгельными системами из канатов или другими способами. Ориентировочная величина усилий подъема, достаточных

для ликвидации существующего прогиба и зажатия трещин, может определяться по следующей формуле:

$$N = A(q + g) \quad (1)$$

где

$N$ - требуемая величина усилия в середине пролета усиливаемого элемента, необходимая для ликвидации существующего прогиба,

$A$ - грузовая площадь, с которой собирается вертикальная нагрузка, обеспечивающая ликвидацию прогиба;

$g$  – собственный вес единицы площади усиливаемой конструкции;

$q$  – вес имеющихся на действующих на единице этой площади временных нагрузок.

$$A = bL/2 \quad (2)$$

$b$  – ширина грузовой площади, с которой производится разгрузка усиливаемого элемента;

$L$  – пролет усиливаемого элемента.

Дополнительное усилие, которое необходимо для создания строительного подъема поврежденного элемента, определяется методами строительной механики с учетом начальной жесткости усиливаемого элемента,

В Казахстане более десятка крупных многоэтажных зданий получили усиление и восстановление поврежденных железобетонных перекрытий. В процесс создания предварительного напряжения осуществлялся замером вертикальных перемещений и ширины раскрытия трещин в критических сечениях поврежденных элементов на всех стадиях усиления.

Ниже приведены некоторые примеры выполненного восстановления эксплуатационной пригодности и повышения прочности поврежденных железобетонных перекрытий.

#### **Пример №1**

Блок 1 Павильона 1 «Торгового центра Алмалы» в городе Алматы представляет собой двухэтажное подземное здание прямоугольной формы в плане размерами 49,0x54,0 м с сеткой колонн 9,0x9,0 м. По конструктивному решению здание является каркасно-связевой системой с жесткими узлами соединения ригелей с колоннами и вертикальными диафрагмами жесткости. При обследовании несущих конструкций здания выявлено наличие повышенных прогибов и чрезмерной ширины раскрытия трещин в монолитных железобетонных перекрытиях. Рекомендации по усилению предусматривали восстановление эксплуатационной пригодности перекрытий производить поверхностным наклеиванием предварительно напряженных фиброармированных пластиков. В процессе усиления производились замеры вертикальных перемещений элементов перекрытий с помощью лазерного тахеометра «Leica Flexline TS02plus» с точностью 0,5 мм, а ширина раскрытия трещин замерялась микроскопом МПБ-3 с точностью 0,02 мм. Рекомендации по усилению конструкций перекрытия включали:

- усиление главных и второстепенных ригелей ригели перекрытий, имеющих чрезмерное раскрытие трещин, производилось поверхностным наклеиванием на нижнюю грань лент ламеля FibArm 12/50;

- усиление плит перекрытий, имеющих чрезмерное раскрытие трещин, осуществлялось наклеиванием на нижнюю поверхность поврежденных плит полодноразрушенными сеток FibArm Tape 530/300 (Рисунок.1).

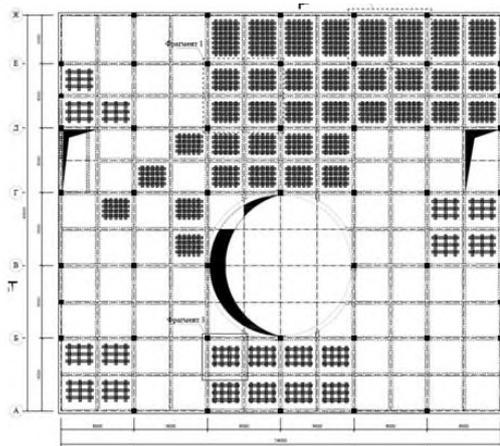


Рисунок 1 - Схема расположения полос сеток усиления плиты перекрытия  
 Приподнимание ячеек перекрытия производилось телескопическими стойками (Рисунок 2).



Рисунок 2 - Вид телескопических стоек для подъема перекрытия

Выполненное усиление конструкций перекрытия над нижним этажом привело к снижению прогибов и уменьшению ширины раскрытия трещин в ригелях и плитах перекрытий:

- прочность главных ригелей увеличилась на 30%, прочность второстепенных ригелей увеличилась на 45%, прочность плит перекрытий увеличилась на 75%;
- ширина раскрытия трещин в плите перекрытия уменьшилась на 32%, в главных ригелях – на 15%, а второстепенных ригелях – на 10%; прогиб перекрытия уменьшился на 37%.

Рекомендации по усилению железобетонного покрытия здания включали не только поверхностное усиление элементов перекрытия, но и наращивание толщины плиты:

- усиление главных и второстепенных ригелей ригели перекрытий, имеющих чрезмерное раскрытие трещин, производилось поверхностным наклеиванием на нижнюю грань лент ламеля FibArm 12/50;
- усиление плит перекрытий, имеющих чрезмерное раскрытие трещин, осуществлялось наклеиванием на нижнюю поверхность поврежденных плит поло однонаправленных се-ток FibArm Tape 530/300;

- на плите перекрытия уложен слой железобетона толщиной 200 мм, армированного сеткой.

Выполненное усиление конструкций покрытия привело к снижению прогибов и уменьшению ширины раскрытия трещин в ригелях и плитах покрытия:

- прочность главных ригелей увеличилась на 70%, прочность второстепенных ригелей увеличилась более, чем в 2 раза, прочность плит покрытия увеличилась более, чем в 3 раза;

- ширина раскрытия трещин в плите перекрытия уменьшилась на 33%, в главных ригелях – на 36%, во второстепенных ригелях – на 5%; а прогиб покрытия уменьшился - на 37%.

Таким образом, выполненное усиление здания «Торгового центра Алмалы» не только усилило перекрытия, но и восстановило их эксплуатационную пригодность.

### Пример №2

Многофункциональный жилой комплекс с паркингом расположен в южной части г. Алматы в Медеуском районе на ул. Горной. Он состоит из трех Блоков почти прямоугольных в плане зданий размерами 18x35 м, имеющих по четыре жилых этажа, подвальный и мансардный этажи. Здания Блоков имеют каркасно-стеновую конструктивную систему в виде ригельного каркаса и несущих стен, в которой большую часть вертикальных нагрузок и горизонтальные нагрузки воспринимают и передают основанию несущие железобетонные стены.

Обследование жилых зданий выявило наличие чрезмерных трещин в плитах перекрытий. Усиление плит перекрытий производилось поверхностным усилением растянутой стороны с помощью фиброармированных лент ламината MBRACE LAM CF 165/3000.50x1,2.100m. Для восстановления эксплуатационной пригодности поврежденных участков перекрытия производилось предварительное напряжение фибропластиковой арматуры путем подъема поврежденных участков плит перекрытий телескопическими стойками с созданием вертикальных усилий не менее 10-15 тс до ликвидации прогибов и «зажатия» имеющихся трещин до величины 0,10-0,15 мм (Рисунок. 3)

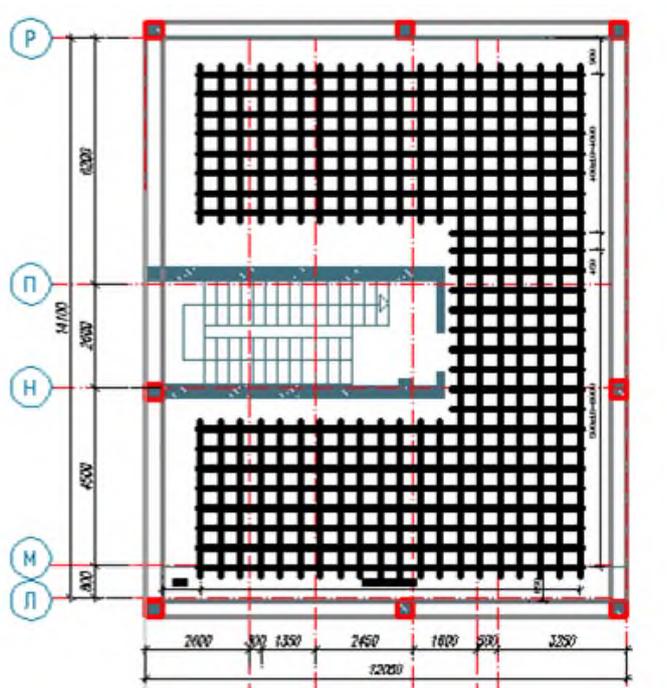


Рисунок 3 - Схема усиления плиты на отм. +22,000 Блока «С» на ул. Горной

Таким образом, после усиления плит перекрытий и демонтажа телескопических опор остаточная ширина раскрытия трещин в бетоне железобетонных плит перекрытий не превышала 0,10-0,25 мм, а прогибы перекрытий не превышали 18-30 мм.

#### **Пример №3.**

Жилой дом расположен в Медеуском районе г. Алматы на проспекте Достык и представляет собой трехэтажное здание общими габаритами в плане 18,5х26,7 м и высотой около 10 м и состоит из трех блоков прямоугольной формы в плане размерами 9х15 м.

По конструктивному решению жилой дом относится к стеновым системам с несущими стенами комплексной конструкции и монолитными перекрытиями. Несущие стены выполнены из кирпичной кладки, усиленной железобетонными включениями. Плиты перекрытия и покрытия выполнены толщиной 200 мм и армированы двойными сетками из стержней Ø12-АIII, Ø8А-III с ячейками 200х200 мм.

В плитах перекрытия над вторым этажом обнаружены горизонтальные трещины на нижней стороне в пролетах плит шириной раскрытия 0,35-0,50 мм. Поврежденные участки плит перекрытий усилены по растянутой стороне фиброармированными пластиками в виде ленты ламината MBRACE LAM CF 165/3000.100х1,2.100m.

Таким образом, после усиления плит и демонтажа телескопических опор остаточная ширина раскрытия трещин в бетоне железобетонных плит перекрытий не превышала 0,10-0,20 мм

#### **Пример №4**

Здание на проспекте Сейфуллина в г. Алматы представляет собой трехэтажное здание общими габаритами в плане 18,5х26,7 м, высотой около 10 м и состоит из трех блоков прямоугольной формы в плане размерами 9х15 м. По конструктивному решению здание является рамно-связевой системой в виде рамного каркаса и вертикальных диафрагм жесткости, в которой вертикальные нагрузки, главным образом, воспринимает и передает основанию рамный каркас, а горизонтальные нагрузки воспринимают совместно вертикальные диафрагмы жесткости и рамный каркас.

Основным недостатком возведенных несущих железобетонных конструкций здания является наличие диагональных трещин железобетонных перекрытиях шириной раскрытия до 0,4-0,5 мм. Рекомендации по усилению здания предусматривали усиление пролетных зон отдельных ячеек безбалочных перекрытий, имеющих трещины недопустимой величины, двунаправленными сетками MBRACE FIB CF Sheet 50/50. Усиление плит перекрытий, имеющих недопустимое раскрытие трещин, выполнено наклеиванием в шахматном порядке однонаправленных углеродных лент шириной 600 мм марки FibArm Tape 230х300.

При выполнении работ по усилению перекрытий здания выполнялся подъем участков железобетонных перекрытий с помощью гидравлического домкрата и сварной металлической стойки (Рисунок 4). Затем устанавливались временные металлические стойки и выполнялись работы по наклеиванию усиливающих лент. После набора прочности клея, которым приклеивались сетки к бетону, временные стойки демонтировались.

Анализ результатов обследования перекрытий после усиления показал, что прогибы и ширина раскрытия трещин в усиленных плитах перекрытий соответствуют требованиям норм по проектированию железобетонных конструкций.



Рисунок 4- Общий вид домкрата со стойкой и временных опор

## ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены особенности поверхностного усиления поврежденных при землетрясениях изгибаемых железобетонных конструкций композитными фиброармированными пластиками. Показано эффективное влияние такого усиления на прочность, жесткость и трещиностойкость конструкций.

2. Для восстановления эксплуатационной пригодности поврежденных железобетонных конструкций рекомендуется создавать предварительное напряжение фиброармированных пластиков.

3. Разработан практический метод предварительного напряжения фиброармированных пластиков путем создания временного строительного подъема, при котором увеличивается совместность работы фиброармированных пластиков с усиливаемой конструкцией.

4. Приведены примеры усиления различных зданий предварительно напряженными фиброармированными пластиками, позволившие восстановить эксплуатационную пригодность поврежденных железобетонных конструкций.

## Литература

1. Сяо Ю., Ма Р. Сейсмическое усиление круглых колонн с использованием композитных обоймы/Журнал «Конструктивная инженерия». ФСКЕ. 1997. В.5. №10.
2. Тенг Д.Г., Чен В.Ф., Смит С.Т., Lam L. Усиление ФАП железобетонных конструкций.2002.Джон и Сыновья, ООО.
3. Хаютин Ю.Г., Чернявский В.Л., Аксельрод Е.З. Применение углепластиков для усиления строительных конструкций // «Бетон и железобетон» М. №6. 2002.
4. Усиление железобетонных конструкций обоймами из фиброармированных пластиков для сейсмических воздействий/ Технический отчет ФИБ, Бюллетень №. 35. April 2006.

5. Патитини М., Ачита М., Бургой Крис. Д. Прочность, жесткость и энергоемкость балок, усиленных фибропластиковой арматурой //АКИ Конструктивный журнал. 2009. Февраль.
6. Мухамедиев Т.А., Кузеванов Д.В. Расчет внецентренно сжатых железобетонных конструкций, усиленных обоймами из композитных материалов // Бетон и железобетон. М. Изд. Ладья, 2014. №2.
7. Беспаяев А.А., Куралов У.С., Алтигенов У.Б. Прочность сжатых бетонных элементов, усиленных фиброармированными сетками// Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2014. №2.
8. Беспаяев А.А., Куралов У.С., Алтигенов У.Б. Исследование работы изгибаемых железобетонных конструкций, усиленных фиброармированными пластиками, при динамических нагрузках // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений». 2015. №3.

## References

1. Xiao Y., Ma R. Seismic Retrofit of RC Circular Columns using Prefabricated Composite Jacketing/ Journal of Structural Engineering. FSCE. 1997. V5. No10.
2. Teng J.G., Chen J.F., Smith S.T., Lam L. FRP Strengthened RC Structures.2002.John Wiley&Sons, Ltd.
3. Rhautin U.G., Chernavskiy V.L., Akselrod E.Z. Using FRP by superficial gluing of buildings constructions.Concrete and reinforced concrete. 2002. No. 6.
4. Retrofitting of Concrete Structures by Externally Bonded FRPs with Emphasis on Seismic Applications/ Techical Report. Fib Bulletin No. 35. April, 2006.
5. Pathithini M., Achita M., Burgoyne Chris. J. Moment, Curvature and Strain Energy of Beams with External Fiber-Reinforcement Polymer Reinforcement. ACI Structural Journal. 2009. February.
6. Muchamediev T.A., Kuzevanov D.V. Calculation of eccentrically compressed reinforced concrete structures reinforced with holders made of composite materials.Concrete and reinforced concrete. M.: Ladya. 2014.No2.
7. Bespayev A.A., Kuralov U.S., Altigenov U.B. Strength of compressed concrete elements reinforced with fiber reinforced nets. Earthquake Engineering. Constructions Safety. 2014, no 2.
8. Bespayev A.A., Kuralov U.S., Altigenov U.B. Study of the work flexible bonded with fiber reinforced plastics under dynamic loads. Earthquake Engineering. Constructions Safety 2015, no 3.

# **ОЦЕНКА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СТОЯЧИХ ВОЛН**

## **ESTIMATION OF SEISMIC STABILITY OF BUILDINGS AND STRUCTURES ON THE BASIS OF STANDING WAVES**

**Хорошавин Е. А.**

Кандидат технических наук, СФУ, доцент каф. СК и УС. Красноярск, Россия

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-167-178**

Метод стоячих волн, разработанный ГС СО РАН (А.Ф. Еманов) для детального исследования физического состояния зданий и сооружений на уровне элементов конструкций, использует собственные колебания множества частот, а не главной частоты как другие методы. Изучается поле стоячих волн с любой детальностью, что дает возможность получать информацию о локальных скрытых дефектах сооружений. Количественная интерпретация стоячих волн позволяет получить объективные оценки сейсмостойкости.

Большим преимуществом данного метода является использование естественных микросейсмических шумов здания, а не искусственных источников-вибраторов, приводящих к частичным разрушениям несущих конструкций и отделочных элементов.

Суть метода заключается в том, что при воздействии микросейсмических колебаний на здание (инженерное сооружение) отличия формирующихся в нем стоячих волн, зарегистрированных в двух произвольных точках, описываются линейной системой, характеристика которой не зависит от времени.

При воздействии микросейсмических колебаний на здание отличия бегущих волн, зарегистрированных в двух произвольных точках, не могут быть описаны линейной системой, характеристика которой не зависит от времени.

Линейные связи в изменениях стоячих волн, регистрируемых в двух точках, существует для каждой пары одноименных компонент регистрируемых колебаний.

Нормированные на свой максимум колебания каждой из нормальных мод не зависят от положения источника и от спектра вошедшего в замкнутый объем колебания.

Здания является не сплошным телом, а представляет систему, состоящую из элементов (стены, колонны, перекрытия и др.). В сооружении происходят колебания двух порядков: 1-й порядок – колебание сооружения как общей системы, основной на грунте; 2-й порядок – колебание элементов сооружения, входящих в общую систему, например поперечные колебания колонны в пределах этажа, панели стены и т.п. При сейсмических воздействиях в сооружении возникают напряжения, превосходящие предел упругости, а в отдельных случаях предел прочности.

Учитывая, что стоячие волны являются резонансами здания, то их изучение позволяет сделать выводы об общих закономерностях колебаний при любых типах сейсмического воздействия на здания. Поскольку поле стоячих волн не зависит от источника колебаний, мы можем, исследуя стоячие волны, формирующиеся при воздействии на здание микросейсмических колебаний, получать информацию, по которой объективно рассчитываются резонансные колебания при крупных сейсмических воздействиях.

По разработанному на стадии формирования программы испытаний графику, малоканальной аппаратурой выполняется последовательная регистрация сейсмических микрошумов. На каждом этаже регистрация выполняется на всех несущих элементах конструкции. При этом в непрерывном режиме ведется регистрация в нескольких опорных точках.

Обработка данных регистрация микросейсмических колебаний конструкций здания выполняется в программно-алгоритмическом комплексе, разработанном на основе методологии пересчета стоячих волн (ГС СО РАН, А.Ф. Еманов).

В результате обработки записей микрошумов, для обследуемого здания получаем одновременные записи стоячих волн из разновременных, последовательных наблюдений с опорными точками. Процедура обработки сводится к следующим операциям:

- Нахождение частотных характеристик линейных систем;
- Формирование независимой реализации процесса колебаний опорных точек при сейсмическом воздействии на исследуемый объект;
- Перерасчет стоячих волн из опорной точки во все точки обследуемого объекта.

Для построения взаимосвязей между точками здания и построения модели распространения и передачи волновых эффектов рассчитываются спектры когерентности и спектры погрешностей. Спектр когерентности является мерой линейности связи колебаний между двумя точками инженерного сооружения.

### **Комплекс работ по УСО и СМР.**

Одним из важнейших условий при оценке сейсмостойкости здания, является использование не интегрального показателя – балльности, а параметр сейсмических воздействий характерных именно для данной площадки – пиковые ускорения, преобладающие периоды колебаний, длительность сотрясений и соответствующие этим параметрам модельные записи землетрясений.

Для получения модельных акселерограмм, а также временных серий скоростей и смещений грунта планируется выполнить комплекс работ по УСО и СМР.

#### **Уточнение сейсмической опасности (УСО)**

Адекватность набора модельных землетрясений обеспечивает точность оценок сейсмостойкости и определяется объективностью региональной модели сейсмичности – корректностью параметризации сейсмогенных структур (повторяемость сейсмических событий, точность картирования активных разломов, типы подвижек и т.д.). Основная задача на стадии УСО – детализация модели вероятных очагов землетрясений.

При формировании набора сценарных воздействий выполняется деагрегационный анализ моделей сейсмичности, и определяется параметрами землетрясений с заданной вероятностью превышения на площадке строительства расчетной интенсивности за нормативный период времени (расстояние до гипоцентра, глубина гипоцентра, магнитуда, тип подвижки, взаимное положение плоскости подвижки и исследуемой площадки, и др.). На

основе полученной информации моделируются временные серии укорений, скоростей и смещений скального основания под площадкой.

#### Сейсмическое микрорайонирование (СМР)

Для оценки вклада в сотрясаемость сейсмореализующего слоя (рыхлых отложений между скальным основанием и фундаментом здания) выполняется комплекс инженерно-геофизических исследований. Строятся сейсмогеологические модели (СГМ) грунтового слоя площадки содержащие необходимые данные (геологический разрез, плотности слоев, скорости распространения сейсмических волн, уровень грунтовых вод и т.д.).

В результате перерасчета подвижек скального основания через СГМ получаем записи временных серий ускорений, скоростей, движений в каждой точке грунтового комплекса под зданием непосредственно передающиеся на фундамент.

#### **Цель проведения динамических испытаний:**

- получение основных динамических характеристик сооружений (частоты и формы собственных колебаний, динамическая жесткость сооружения, характеристики затухания колебаний);
- распределения пиковых значений амплитуд собственных колебаний по конструкциям;
- выявление опасных зон и слабых мест (дефектов и трещин) в сооружениях;
- подробное инструментальное обследование опасных зон;
- оценка сейсмостойкости зданий и сооружений;
- получение заключения о техническом состоянии объекта.

#### **Методика динамического обследования**

1. Для динамического обследования используется метод стоячих волн, разработанный в Геофизической службе СО РАН (д.т.н. А.Ф.Еманов), предназначенный для детального исследования физического состояния зданий и мостовых сооружений на уровне элементов конструкций;
2. Метод не требует использования источника вибрации и других воздействий на сооружение;
3. Метод позволяет изучать поле стоячих волн с любой детальностью, что даёт возможность получать информацию о локальных скрытых дефектах сооружений;
4. Карты амплитуд и фаз стоячих волн в зданиях являются объективным документом для контроля в оценке надёжности конструкции, а повторные наблюдения позволяют обнаружить необратимые изменения;
5. Данный метод широко применяется при обследовании ответственных объектов на всей территории России.

#### **Технология динамического обследования**

1. Регистрация микросейсмических шумов малоканальной аппаратурой в соответствии с методикой стоячих волн;
2. Изучение особенностей распространения собственных колебаний в мостовом сооружении и его конструктивных элементах;
3. Расчет собственных (резонансных) частот моста и отдельных конструкций, выявление опасных зон и слабых мест (дефектов и трещин);
4. Моделирование вероятного динамического воздействия и расчет динамических нагрузок на несущие конструкции моста;
5. Подробное инструментальное обследование опасных зон и получение заключения о техническом состоянии объекта.

### Приборно-аппаратурные комплексы для регистрации микросейсмических колебаний зданий и сооружений

#### Регистраторы Байкал-АСН8



**Мобильно диагностические комплексы, предназначены для снятия вибродинамических характеристик зданий и сооружений**

**Датчик  
А1638**



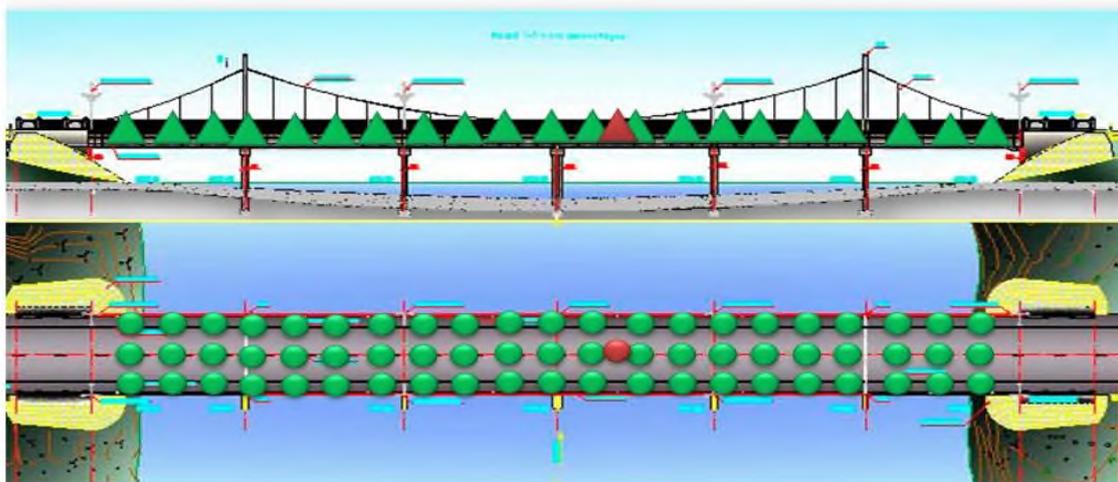
№	Характеристика	Ед. изм.	Значение
1	Количество каналов одного модуля		3
2	Разрядность данных	Бит	24
3	Тип входов		Диф.
4	Входное сопротивление	Ком	20
5	Макс. частота дискретизации	Гц	16000
6	Рабочая полоса частот(- 3 дБ)	Гц	4000
7	Стабильность опорного генератора		2*10-8
8	Потребляемая мощность	Вт	<0.5
9	Диапазон рабочих температур	°С	-30 + +60
10	Масса	кг	4,5

## Струна – 3 Эксперт



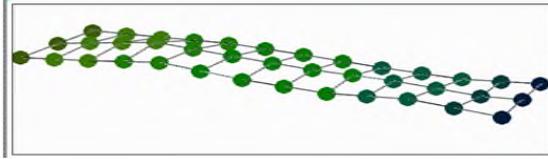
1. трехкомпонентный сейсмоприемник А1638 – 5 шт.
2. блок с 14-ти разрядным АЦП и аккумуляторами, для питания датчиков.
3. катушка со сто метровым кабелем, для соединения датчиков с АЦП-5 шт.
4. мобильный компьютер с программным обеспечением.
5. зарядное устройство для аккумуляторов, питающих датчики.
6. кабель USB, для соединения АЦП и компьютера.

### Регистрация микросейсмических шумов малоканальной аппаратурой

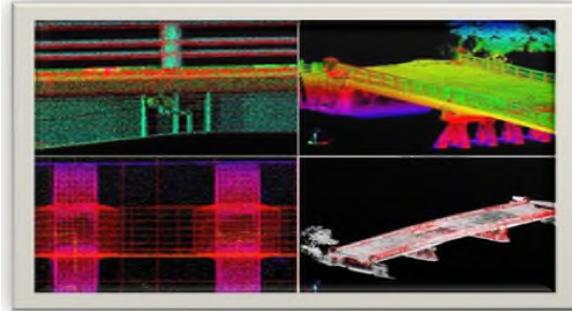


Датчики в опорной точке остаются на своих местах во время всего цикла измерений. В остальных точках регистрация микросейсмических шумов проводится по 10-15 минут, после чего аппаратура перемещается в следующие точки регистрации.

### Методика обработки данных



Обработка данных регистрации микросейсмических колебаний конструкций моста выполняется в программно-алгоритмическом комплексе, разработанном на основе методологии пересчета стоячих волн (ГС СО РАН, А.Ф.Еманов):



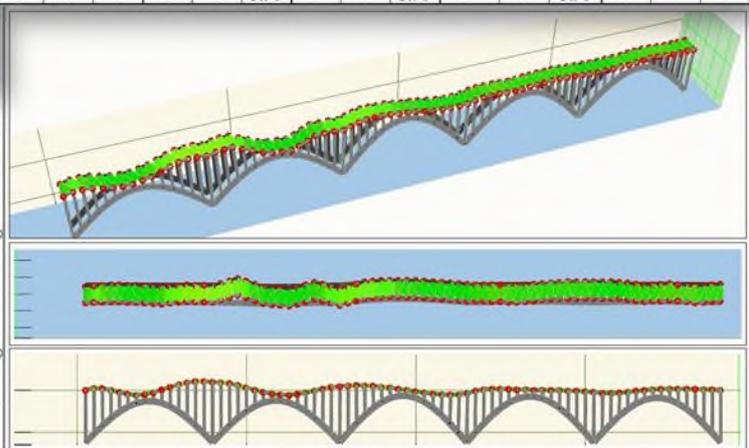
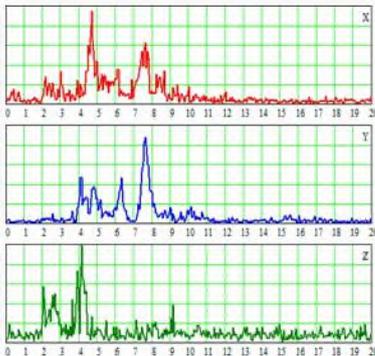
1. Нахождение частотных характеристик линейных систем;
2. Формирование независимой реализации процесса колебаний опорных точек при сейсмическом воздействии на исследуемый объект;
3. Пересчёт стоячих волн из опорной точки во все точки обследуемого объекта.

### Динамические испытания мостов

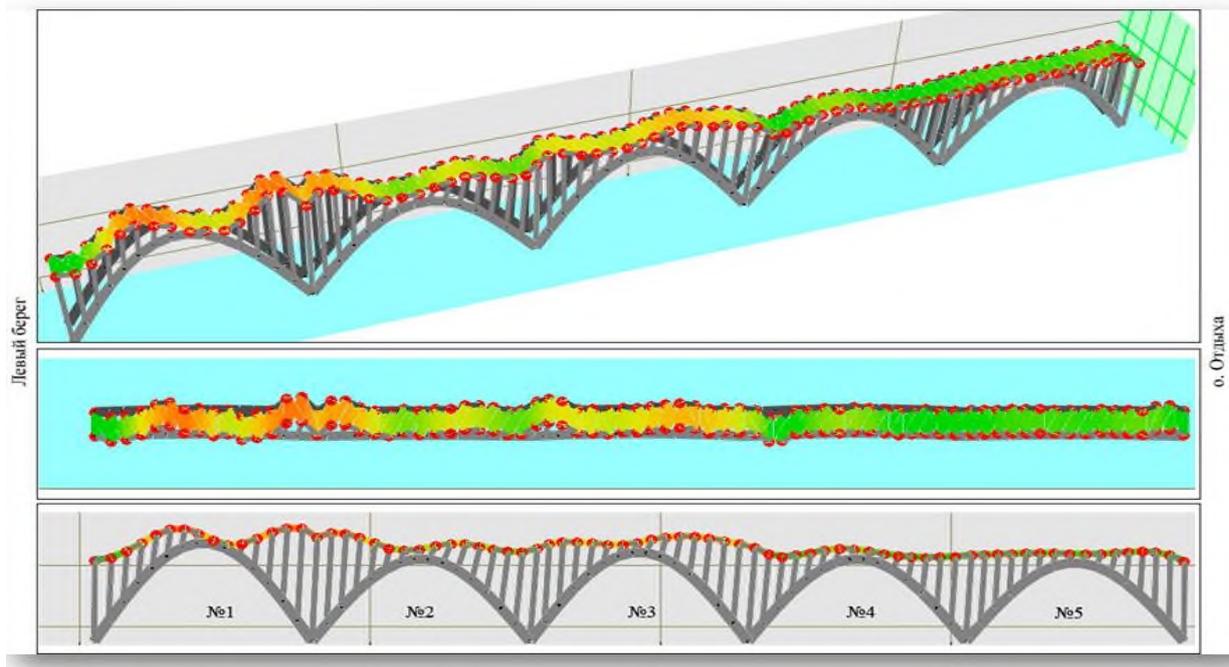
#### Обследование конструкций Коммунального моста - определение резонансных частот и форм собственных колебаний



пролет №1			пролет №2			пролет №3			пролет №4			пролет №5		
X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
-	-	-	0.85	-	-	-	-	-	0.85	-	-	0.85	-	-
-	-	-	-	1.35	-	-	-	1.35	-	-	1.35	-	-	-
1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	-	-	1.65	1.65	-	-	1.65	-	-
1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	-	1.85	-	-	1.85	1.85	-	1.85
2.15	-	-	2.15	-	-	2.15	-	-	2.15	-	2.15	2.15	-	2.15
-	-	-	-	2.55	2.55	-	2.55	2.55	-	2.50	2.50	-	2.50	2.50
2.92	-	-	2.92	-	-	-	-	-	-	-	-	2.92	2.92	-
-	-	-	-	3.00	-	-	3.00	-	-	3.00	-	-	3.00	-
-	3.30	-	3.30	3.30	-	3.30	-	-	3.30	3.30	-	-	3.30	-
-	-	-	-	-	3.90	-	-	3.90	-	-	3.90	-	-	-



## Распределение пиковых амплитуд собственных колебаний русловой части мостового

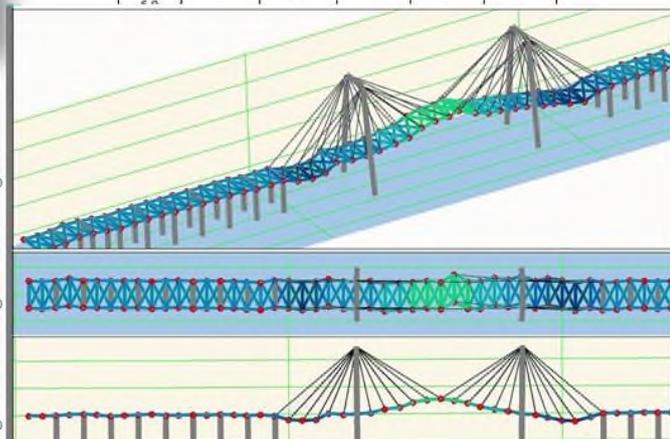
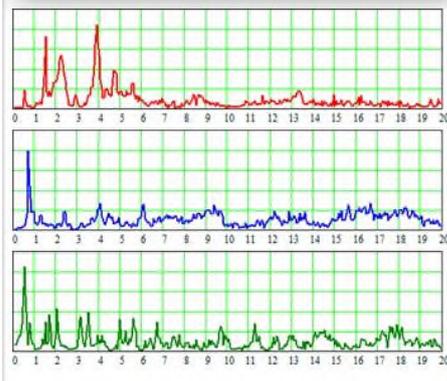


перехода

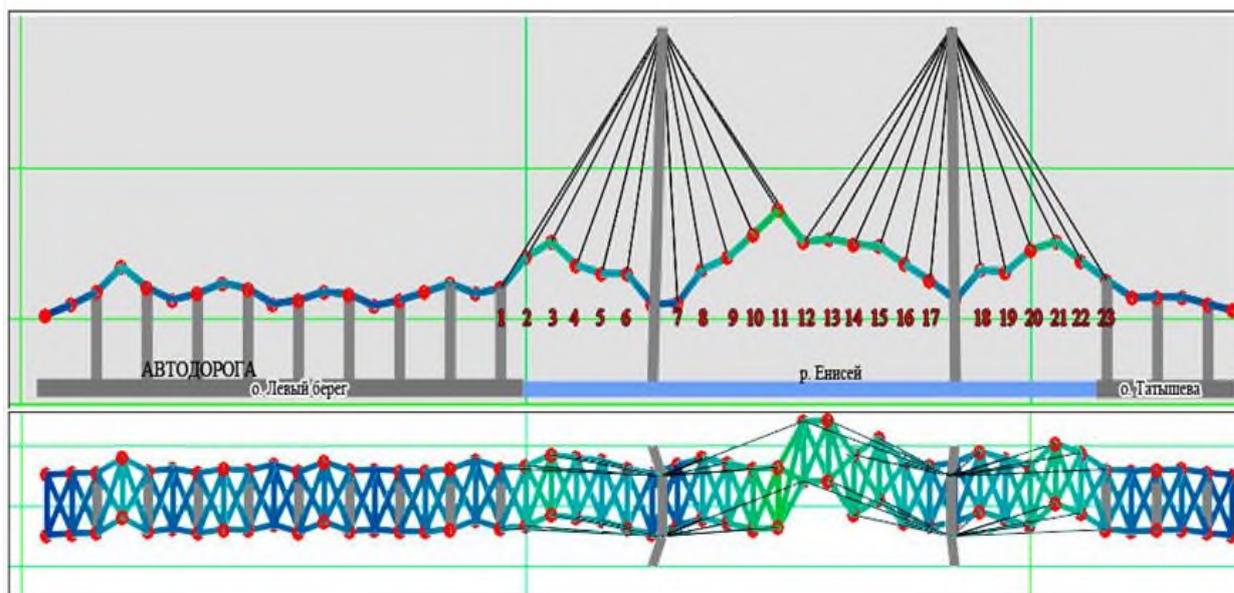
## Обследование конструкций вантового моста - определение резонансных частот и форм собственных колебаний



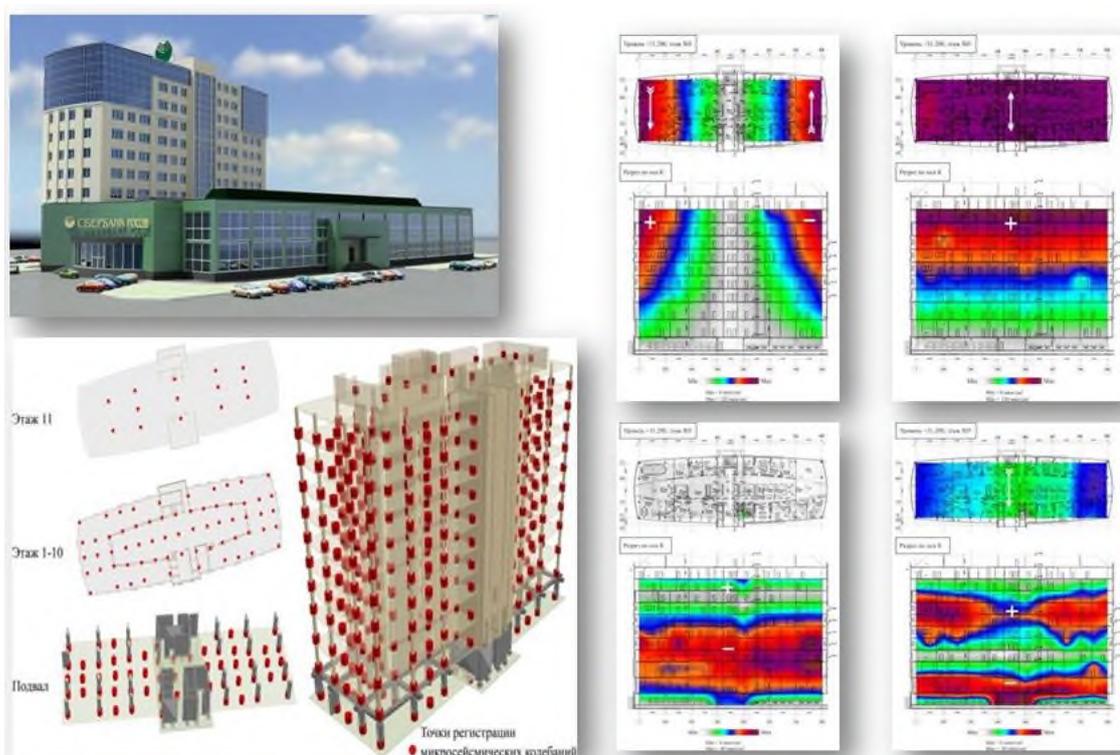
Левый берег			Вантовая часть		
X	Y	Z	X	Y	Z
-	-	-	0.55	-	0.55
-	-	-	-	0.75	-
-	-	-	0.8	-	0.8
-	-	-	-	1.3	1.3
-	-	-	1.55	-	-
-	-	-	-	-	1.65
2.3	-	-	2.3	-	-
2.4	2.4	-	-	2.4	-
-	2.9	2.9	2.9	-	-
-	3.5	3.5	-	-	-
-	-	-	3.9	-	-
4	-	4	-	-	-
-	-	4.4	-	-	-
-	-	4.8	4.8	-	-
-	4.9	-	-	-	-
-	-	-	-	-	5
5.1	-	-	-	-	-



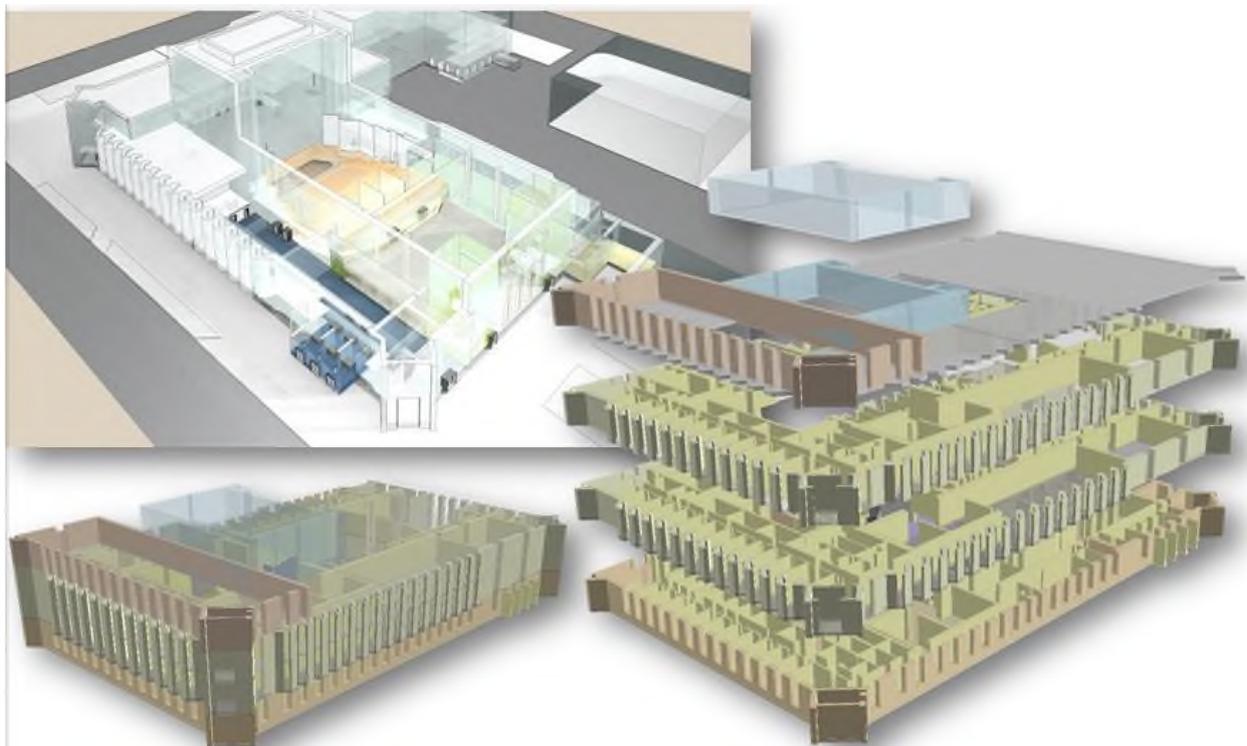
## Распределение пиковых амплитуд собственных колебаний мостового перехода



## ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ БАЙКАЛЬСКОГО БАНКА СБЕРБАНКА РОССИИ В Г. ИРКУТСКЕ

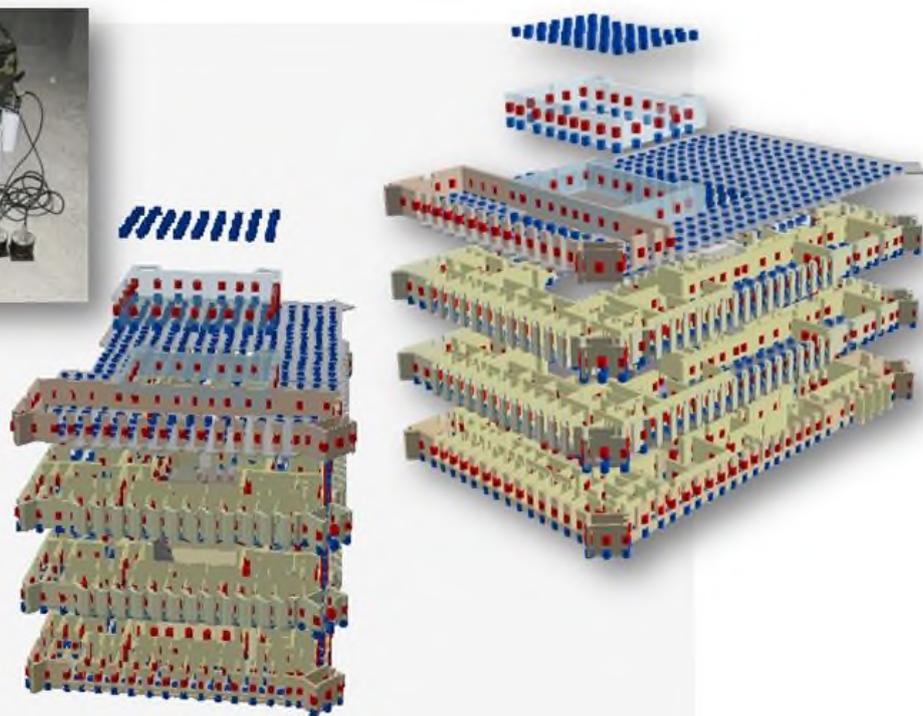


## КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕАТР МУЗЫКАЛЬНОЙ КОМЕДИИ

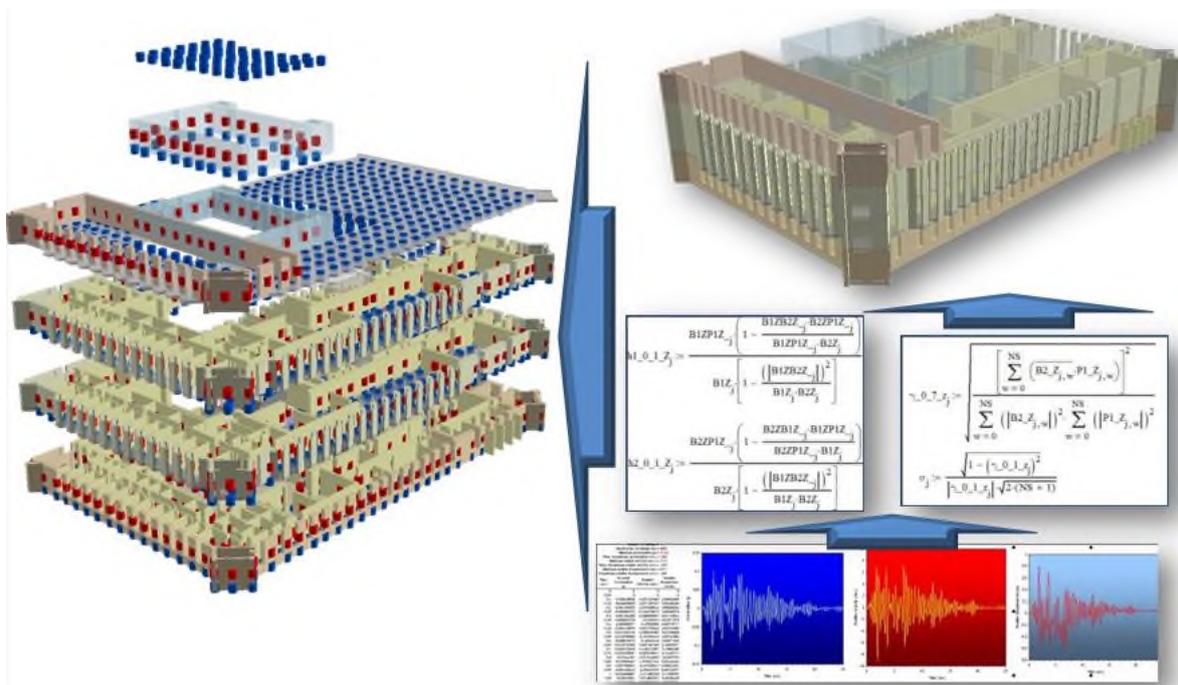


## ВЫЯВЛЕНИЕ СКРЫТЫХ ОТДЕЛКОЙ РАЗРУШЕНИЙ И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ

РЕГИСТРАТОРЫ БАЙКАЛ-АСН8 С ДАТЧИКАМИ А1638

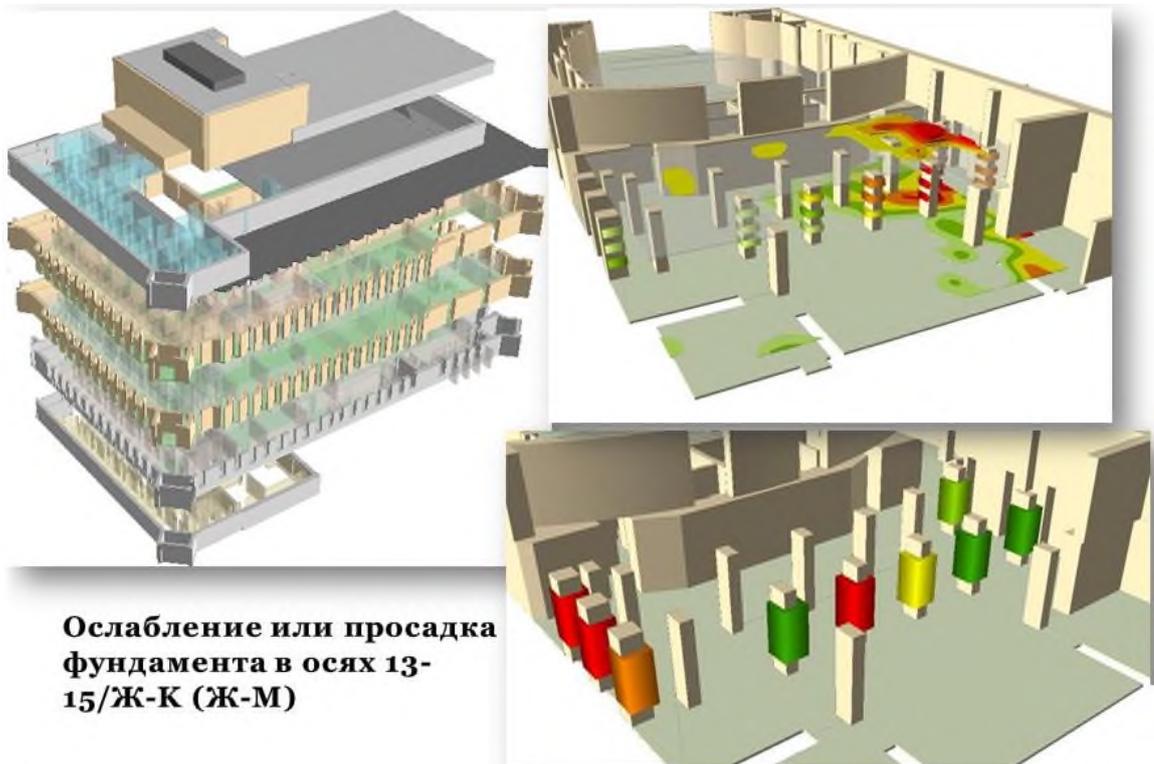


**ПРОВЕДЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЯ  
ПО ОБЪЕКТУ: «КРАЕВОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ**



**УЧРЕЖДЕНИЕ «КРАСНОЯРСКИЙ МУЗЫКАЛЬНЫЙ ТЕАТР»**

**ОЦЕНКА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЯ ТЕАТРА**



**Ослабление или просадка  
фундамента в осях 13-  
15/Ж-К (Ж-М)**

## Список литературы

### References

1. Абовский Н.П., Инжутов И.С., Деордиев С.В., Палагушкин В.И., Сибгатулин В.Г., Хорошавин Е.А., Худобердин И.Р., Дуров С.В. Сейсмозащитные устройства. Актуальные проблемы сейсмобезопасности. Монография. Красноярск, СФУ, 2013г. - 81с.  
Abovsky N. P., Inzhutov I. S., Deordiyev S. V., Palagushkin V. I., Sibgatulin V. G., Choroshavin E. A., Hudoberdin I. P., Durov S.V. Self - defense devices. Actual problems of seismic safety. Monograph. Krasnoyarsk, SFU, 2013. – 81p.
2. Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Бах А.А., Гриценко С.А., Данилов И.А., Кузьменко А.П., Сабуров В.С., Татьков Г.И. Пересчет стоячих волн при детальном инженерно-сейсмологическом исследовании // Геология и геофизика, 2002 – №2. – т. 43. – С. 192-207.  
Emanov A. F., Seleznev V. S., Bach A. A., Gritsenko S. A., Danilov I. A., Kuzmenko A. P., Saburov V. S., Tatkov G. I. Recalculation of standing waves in detailed engineering-seismological research // Geology and Geophysics, 2002 – no.2. – vol. 43. – pp. 192-207.
3. Еманов, А.Ф. Восстановление когерентных составляющих волновых полей в сейсмике: дис. доктора техн. наук: 25.00.10: защищена 20.12.04 // Еманов Александр Федорович. – Новосибирск, 2004. – 280с. Emanov A. F. Restoration of coherent components of wave fields in seismicity: dis. of Dr. of Techn. Sciences // Emanov Alexander Fedorovich. – Novosibirsk, 2004. – 280p.
4. Еманов А.Ф., Селезнёв В.С., Бах А.А. Когерентное восстановление полей стоячих волн как основа детального сейсмологического обследования инженерных сооружений. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений.- №3, 2007.- С.20-23 Emanov A. F., Seleznev V. S., Bach A. A. Coherent restoration of standing wave fields as the basis of a detailed seismological survey of engineering structures. //Earthquake engineering. Safety of structures.- no.3, 2007- pp. 20-23.
5. Хорошавин Е.А. Оценка сейсмостойкости зданий и сооружений на основе метода стоячих волн. Красноярск, сборник СФУ, 2011г., С. 147 - 150. Khoroshavin E. A. Evaluation of seismic stability of buildings and structures on the basis of the method of standing waves. Krasnoyarsk, SFU, 2011, pp. 147 - 150.
6. Хорошавин Е.А., Максимихин В.В. Динамическое обследование зданий и сооружений методом стоячих волн. МИТИ Сборник научно-методические разработок центра поддержки инноваций. г.Москва 2014г. С. 74 - 93. Khoroshavin E. A., Maksimikhin V. V. Dynamic inspection of buildings and structures by standing waves method. COLLECTION of scientific and methodological developments of the innovation support center. Moscow, 2014. pp. 74 - 93.
7. Хорошавин Е.А. Динамическое испытания зданий и сооружений методом стоячих волн. Материалы XI Российская национальная конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с международным участием) Сочи 2015г. Khoroshavin E. A. Dynamic testing of buildings and structures by standing waves. Proceedings of XI Russian national conference on earthquake engineering and seismic zoning (with international participation), Sochi 2015.
8. Хорошавин Е.А. Оценка сейсмостойкости зданий и сооружений методом стоячих волн. Материалы SEWC 2015-the 5th Structural Engineers World Congress - 5-й Всемирный Конгресс инженеров конструкторов. Сингапур 2015г. 9с. Khoroshavin E. A. Evaluation of seismic

resistance of buildings and structures by standing waves. SEWC Proceedings of the 5th 2015 Structural Engineers World Congress - the 5th world Congress of design engineers. Singapore 2015. 9p.

# АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ЗДАНИЯ С СИСТЕМОЙ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ ПРИ РЕАЛЬНОМ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

## SEISMIC RESPONSE ANALYSIS OF BASE-ISOLATED BUILDING FROM REAL SEISMIC EFFECTS

**Гизятуллин Ильнур Раэлевич**

Инженер, Лаборатория сейсмостойких сооружений и инновационных методов сейсмозащиты ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»

**Бубис Александр Александрович**

Заместитель руководителя ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»

**Вахрина Генриэтта Николаевна**

Заведующий лабораторией сейсмостойких сооружений и инновационных методов сейсмозащиты ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»

**Чупанов Мурад Рамазанович**

Инженер, Лаборатория сейсмостойких сооружений и инновационных методов сейсмозащиты ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»

**Giziatullin I.R.**

JSC Research Center of Construction TSNIISK named after V.A. Kucherenko  
Laboratory of seismic resistant structures and innovative methods of seismic protection

**Bubis A.A.**

JSC Research Center of Construction, CREE V.A. Kucherenko TSNIISK

**Vakhrina G.N.**

JSC Research Center of Construction, CREE V.A. Kucherenko TSNIISK, Head of Laboratory

**Chupanov M. R.**

JSC Research Center of Construction, CREE V.A. Kucherenko TSNIISK, Research Officer

УДК 624.07; 624.042.7

**Аннотация.** В процессе работы по мониторингу за динамическим поведением зданий и сооружений в сейсмоопасных районах, Центром Исследований Сейсмостойкости Сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко была осуществлена установка станций инженерно-сейсмометрических наблюдений в Камчатском крае.

За период эксплуатации станций динамического мониторинга было зарегистрировано одно землетрясение магнитудой 7,7 и эпицентром в 200-х километрах от населенного пункта Никольское.

В данной работе проведен анализ динамического поведения железобетонного здания с системой сейсмоизоляции в виде резинометаллических опор в результате реального сейсмического воздействия интенсивностью 4-5 баллов по шкале MSK-64.

**Ключевые слова:** мониторинг, сейсмоизоляция, резинометаллическая опора

**Abstract.** The Kamchatka area is one of the most seismically active regions of Russia and the world. Most of the earthquakes in recent decades took place on the peninsula of Kamchatka and at

Kuril Islands, moreover they often trigger tsunamis. The modern topography of Kamchatka was created as affected by tectonic movements and faults, volcanic eruption, quaternary glaciations, erosion activity. Territory of the Kamchatka region is characterized by difficult soil conditions. In this article some results of current dynamic monitoring of buildings and adjacent soils are presented. The purpose of the research was to determine the regional characteristics of the spectrum of seismic effects in the Kamchatka region, the real dynamic parameters of base isolated buildings of differently structural system.

**Keywords:** monitoring, seismic isolation, elastomeric isolators

## **DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-179-191**

Ежегодно мир потрясают новости о сильных землетрясениях, катастрофических обрушениях зданий и сооружений, влекущих за собой гибель людей.

Примерно 20% территории Российской Федерации относится к сейсмоактивным районам, при этом часть территорий подвержена чрезвычайно опасным 8-10 бальным землетрясениям. Сейсмически опасные районы РФ включают в себя территории Сахалинской области, Дальнего Востока, Северного Кавказа, побережья Черного моря, южной части Восточной Сибири и др.

Некоторая часть из этих территорий особо привлекательна для их освоения, поскольку обладает богатыми запасами природных ископаемых, другая часть территорий представляет собой зоны активного отдыха населения. Несмотря на труднодоступность, сейсмическую опасность, сложные грунтовые и климатические условия, строительство зданий и сооружений в сейсмоактивных районах активно развивается.

Совершенствование теории расчета зданий и сооружений на сейсмические воздействия, а также использование систем сейсмозащиты нуждается в апробации их на практике, в связи с чем остаются актуальными вопросы исследования поведения зданий и сооружений в условиях реальных сейсмических воздействий.

Такие исследования проводятся Центром Исследований Сейсмостойкости Сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство». На сегодняшний день в Камчатском крае установлены 4 активные станции сейсмометрического мониторинга. Такие станции сейсмометрического мониторинга актуальны, в первую очередь, для больниц, т.к. очень важно в первые часы землетрясений иметь информацию об их состоянии для быстрого принятия решения об эвакуации людей или возможности принять пострадавших при стихийном событии.

В настоящей статье приведен анализ динамического поведения здания «Пост береговой охраны «Никольский» с сейсмоизоляцией в виде резинометаллических опор (РМО) в результате реального сейсмического воздействия интенсивностью 4-5 баллов по шкале MSK-64, зарегистрированного в селе Никольское 17 июля 2017 года.

Здание поста береговой охраны «Никольский» состоит из трех блоков: административный блок, жилой блок и гараж. Здание имеет сложную П-образную форму в плане. Каждый блок разделен антисейсмическим швом. Станция сейсмометрического наблюдения располагается в административном блоке.

Административный блок – двухэтажное здание прямоугольной формы в плане, с размерами в цифровых осях 15,6 м., в буквенных осях 12 м. Высота этажей 3,3 м. В здании имеется цокольный этаж. Высота цокольного этажа 2,4 м.

В конструктивном отношении здание выполнено перекрестно-стеновой конструктивной системой с несущими наружными и внутренними стенами из монолитного железобетона. Устойчивость каркаса обеспечивается совместной работой монолитных перекрестных стен и монолитных плит перекрытий с жесткими узлами сопряжения элементов.



Рисунок 1 – Общий вид административного блока

Наружные и внутренние несущие стены выполнены толщиной 200 мм., монолитные перекрытия – толщиной 200мм. Перегородки кирпичные толщиной 120 мм. Теплоизоляция наружных стены выполнена утеплителем толщиной 120 мм.

Кровля – двускатная стропильной конструкции с покрытием из металлочерепицы. Утепление чердачного перекрытия выполнено минераловатными плитами в два слоя: нижний слой толщиной 100 мм., верхний слой толщиной 50 мм.

Система сейсмоизоляции в административном блоке принята в виде резинометаллических опор со свинцовыми сердечниками (GZY-350-V5A). Общий вид установленных опор представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Общий вид установленных резинометаллических опор

Инженерно-сейсмометрическая станция представляет собой устройство мониторинга зданий и сооружений, обеспечивающее получение достоверной информации об интенсивности колебаний зданий и сооружений, а также прилегающих участков грунта при сейсмических воздействиях.

Опорные точки регистрации ускорений колебания здания располагаются в нескольких характерных уровнях.

*Уровень «-1»* – грунтовый датчик ускорений, необходим для регистрации неискаженных сейсмических волн, подходящих к сооружению.

*Уровень «0»* – низ резинометаллической опоры» (отм.-0.440), необходим для регистрации сейсмических волн, подходящих к системе сейсмоизоляции.

*Уровень «+1»* – верх резинометаллической опоры» (отм.-0.280), необходим для регистрации сейсмических волн на выходе из системы сейсмоизоляции.

*Уровень «+2»* – низ чердачного перекрытия» (отм.+6.320), необходим для регистрации сейсмических волн в уровне верха здания.

На рисунке 3 приведена блок-схема инженерно-сейсмометрической станции и расположение датчиков ускорений.

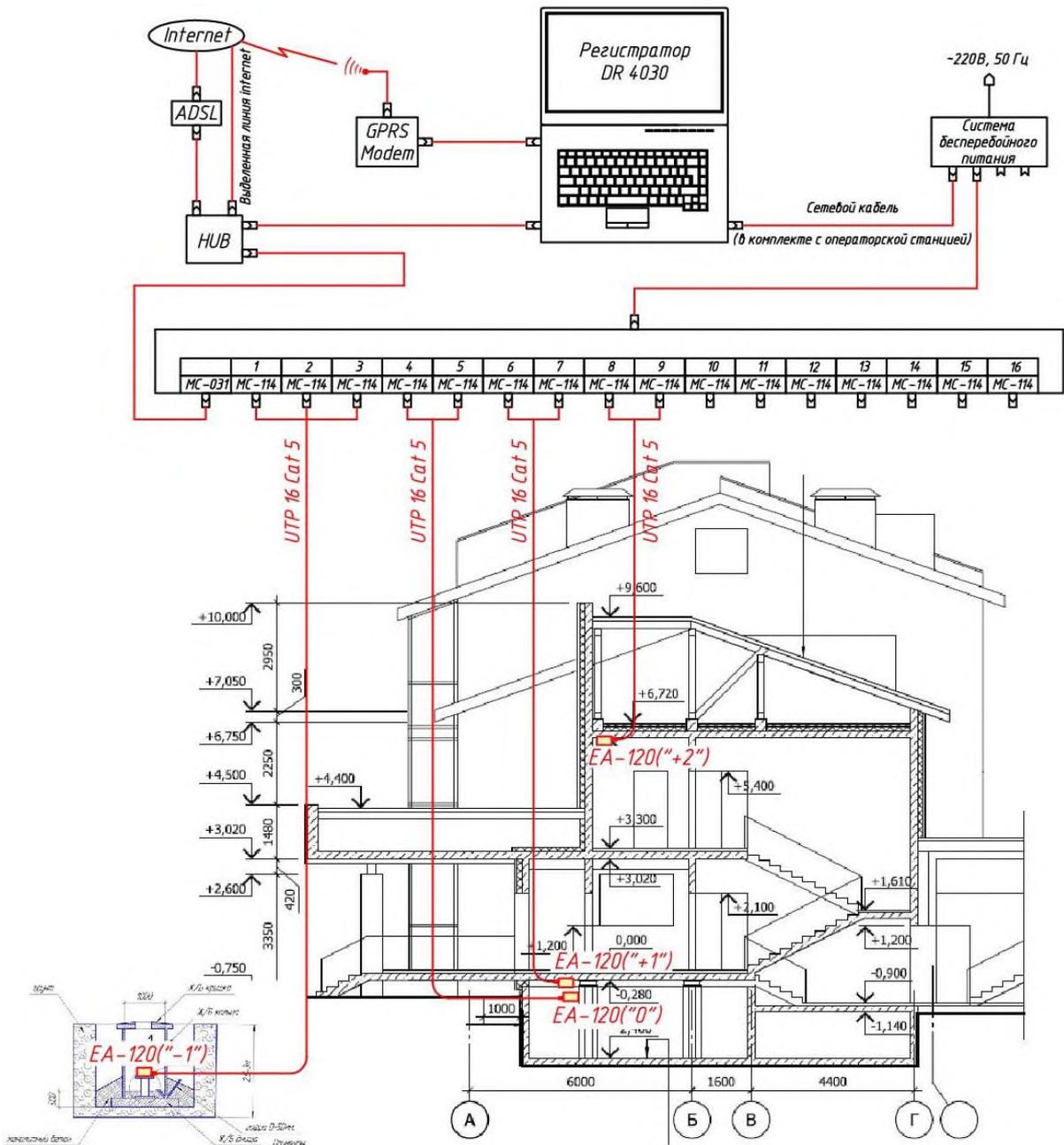


Рисунок 3 – Блок-схема инженерно-сейсмометрической станции и расположение датчиков ускорений



Рисунок 4 – Общий вид колодца для грунтового датчика ускорений



Рисунок 5 – Общий вид датчиков ускорений в уровне «0», «+1»

Установленные в точках регистрации датчики преобразуют физические параметры, обусловленные внешними динамическими воздействиями, в электрические сигналы. Данные сигналы передаются по кабелям FTP на установленные в приборе DR-4030, и далее, через объединительную кросс-плату, к управляющему модулю. От модуля по локальной сети сигнал поступает на операторскую станцию.



Рисунок 6 – Внешний вид операторской станции

Установленная на операторской станции программа «Recorder» регистрирует поступающие сигналы и преобразует эти сигналы в конкретные физические параметры (ускорения, перемещения). В этой же программе производится сравнение измеренных параметров с установленными предельными и недостоверными значениями. Если показания датчика, установленного на грунте, превышают установленные для него предельные значения ( $0,1\text{м/с}^2$ ), станция переходит в режим регистрации.

В понедельник 17 июля 2017 года в 23:34 по Гринвичу (18 июля в 11:34 по местному времени) было зафиксировано землетрясение магнитудой  $M_w=7,8$  (широта  $54.352^\circ\text{с.ш.}$ , долгота  $168.897^\circ\text{в.д.}$ ) у побережья Командорских островов.

Данное землетрясение произошло в результате процесса субдукции на границе плиты Тихого океана и Северной Америки в северо-западной части Тихого океана или вблизи нее. Землетрясению предшествовал форшок  $M 6.3$  примерно на 12 часов раньше и в 15 км к северо-востоку. В течение 2,5 часов после основного землетрясения  $M 7.8$  были зарегистрированы десятки афтершоков  $M 4,4$ . Очаг землетрясения был зарегистрирован на глубине 11 км. Эпицентр землетрясения находился в 200 км к юго-востоку от п. Никольское, расположенного на о. Беринга, где интенсивность сотрясений достигала VI баллов по шкале MSK-64. Оценки параметров сейсмического события были выполнены в РИОЦ «Петропавловск» КФ ФИЦ ЕГС РАН [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Очаговая область землетрясения представлена на рисунке 7.

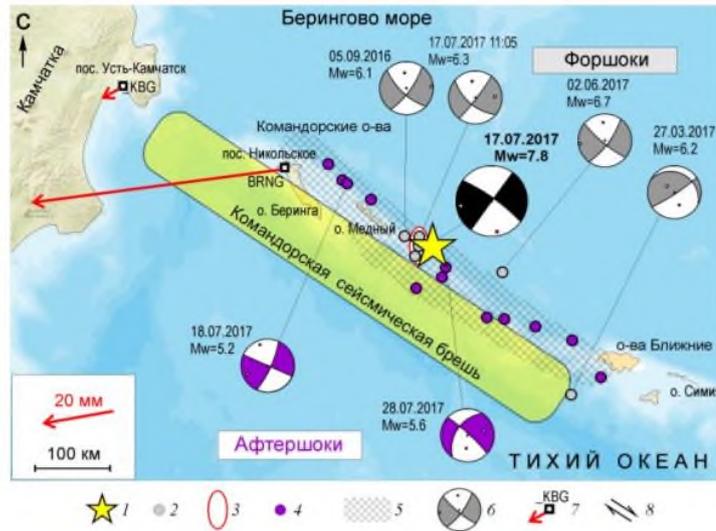


Рисунок 7 – Очаговая область землетрясения

1 – эпицентр Ближне-Алеутского землетрясения; 2 – форшоки; 3 – область форшоков, зарегистрированных 17.07.2017 г.; 4 – сильнейшие афтериоки с  $M \geq 5.0$  (с привлечением данных NEIC); 5 – очаговая область по облаку афтериоков, зарегистрированных в течение одного месяца после основного события; 6 – диаграммы механизмов очагов в равноплощадной проекции нижней полусферы; 7 – векторы косейсмической подвижки GNSS-пунктов

На инженерно-сейсмометрической станции были получены инструментальные записи указанного землетрясения. На записях разработанного аппаратного комплекса весь сигнал сосредоточен в интересующем нас спектральном диапазоне от 0,5 до 30 Гц, остальные составляющие отфильтрованы и ослаблены до незначительного уровня.

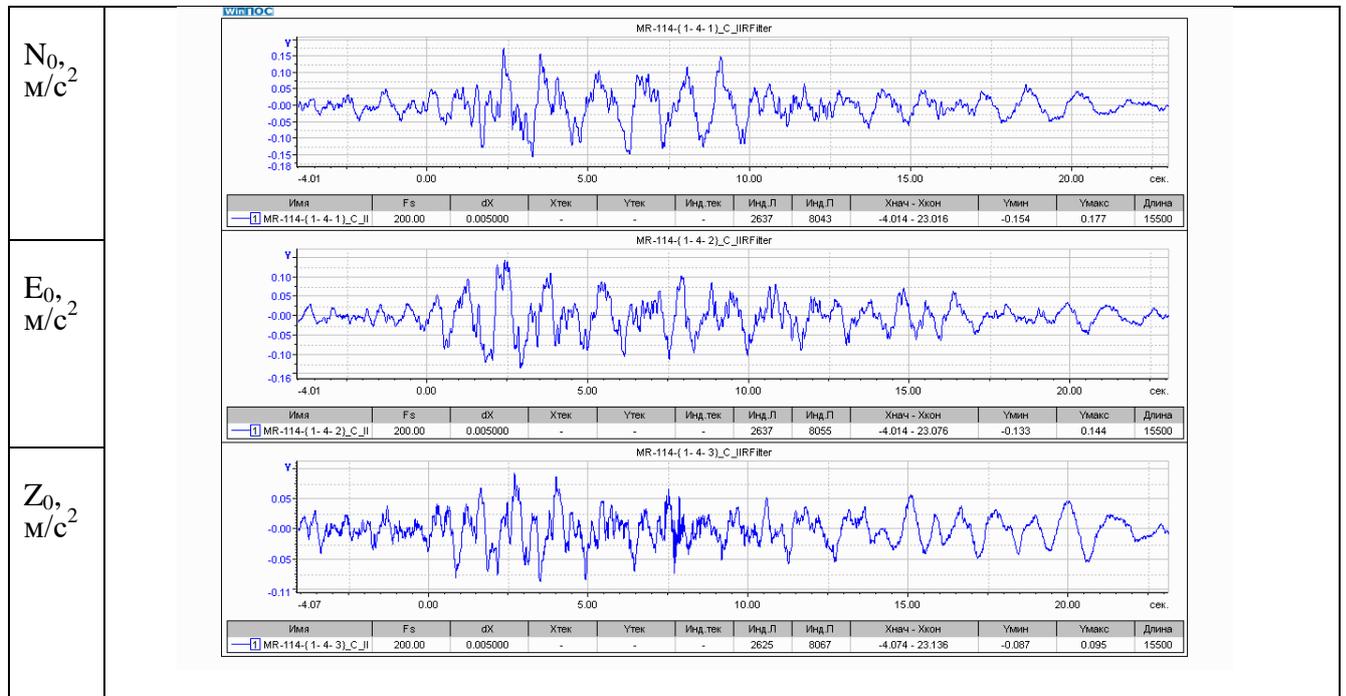


Рисунок 8 – Записи ускорения колебаний на грунте в диапазоне частот от 0,5 до 30 Гц

На рисунке 8 приведена запись горизонтальных (N, E) и вертикальных (Z) ускорений колебаний грунтового датчика. Максимальное ускорение в горизонтальном направлении составило  $15 \text{ см/с}^2$ , в вертикальном  $8,4 \text{ см/с}^2$ . Такое значение ускорения соответствует расчетной сейсмичности порядка 4-5 баллов.

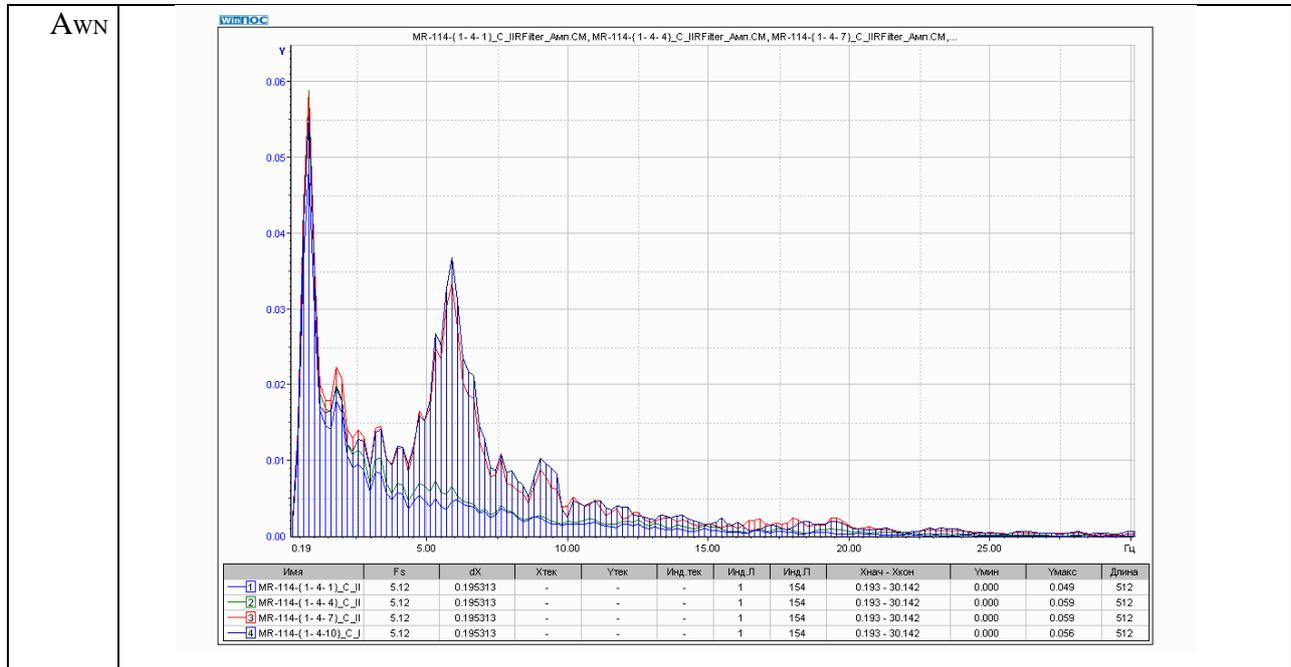


Рисунок 9 – Спектры ускорения горизонтальных колебаний в направлении N: 1 – на грунте, 2 – под РМО, 3 – над РМО и 4 – на чердачном перекрытии

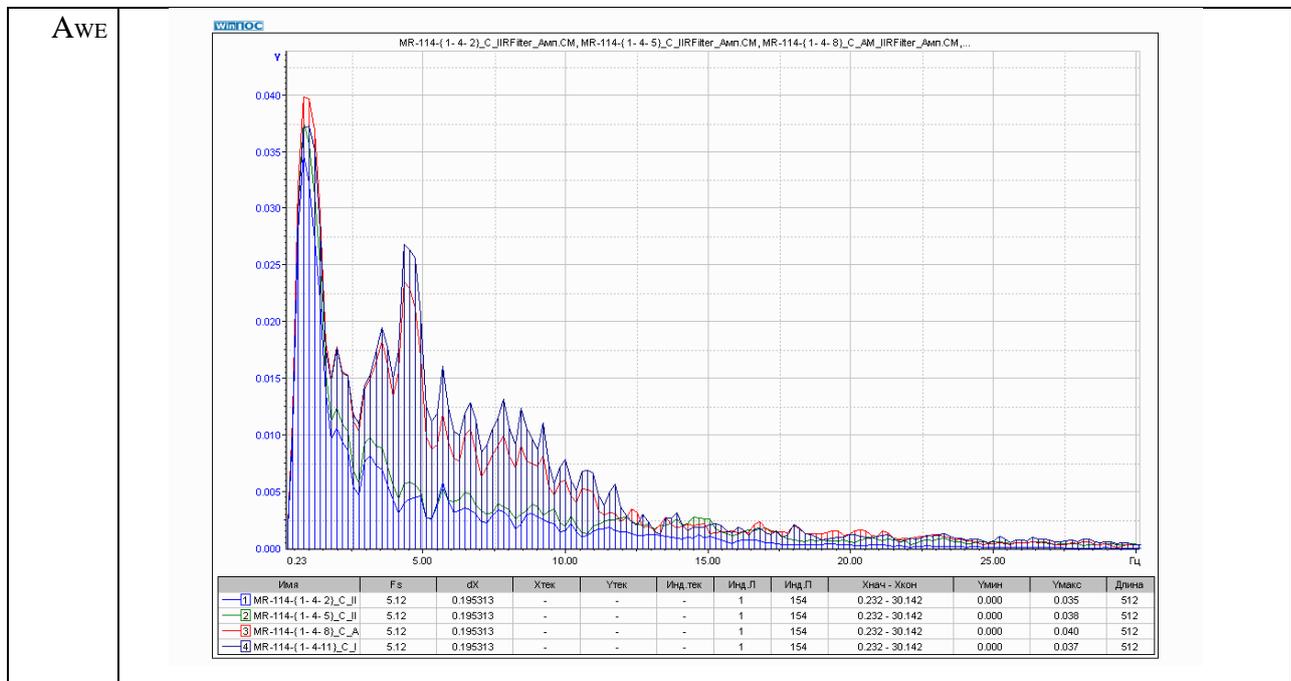


Рисунок 10 – Спектры ускорения горизонтальных колебаний в направлении E: 1 – на грунте, 2 – под РМО, 3 – над РМО и 4 – на чердачном перекрытии

Результаты обработки выполнены на основе интерпретации сейсмометрических данных, включая гармонический, корреляционный анализы, определение амплитудных спектров Фурье.

На рисунках 9, 10 приведены амплитудные спектры мощности относительных горизонтальных ускорений в направлениях N, E.

В спектре колебаний здания по направлению E (рис. 10) обозначился пик на частоте 4,30 Гц, в спектре колебаний здания по направлению N (рис. 9) преобладающий пик на частоте 5,66 Гц. Данные частоты находятся в диапазоне наиболее вероятной частоты собственных колебаний для данного типа здания.

Пиковые частоты (около ~ 1,1 Гц), наблюдаемые в спектрах ускорений, вероятно, являются микросейсами. При больших амплитудных движениях с более высоким отношением сигнал / шум, ожидается снижение низкочастотных амплитуд.

При построении передаточных функций пики на частотах 4,3 и 5,66 Гц также прослеживаются (рис. 11, 12)

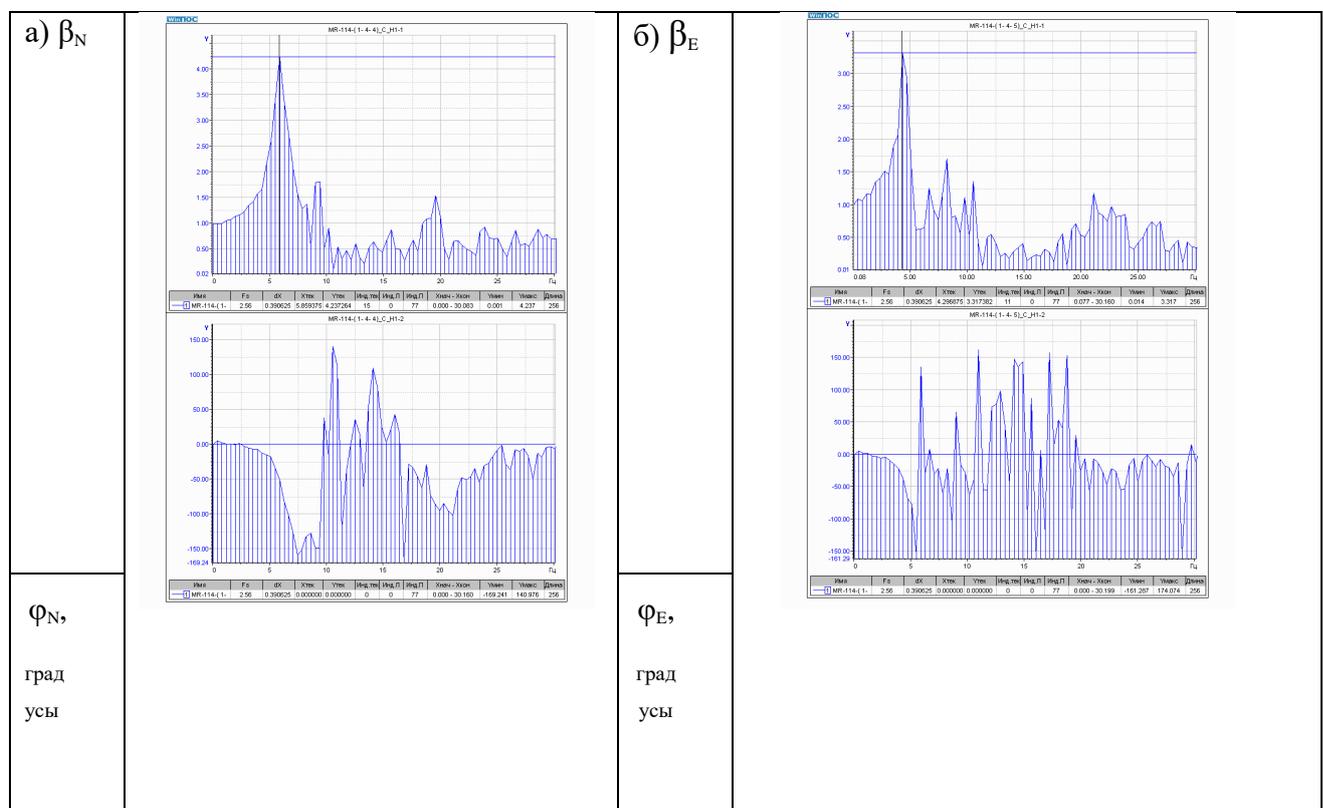


Рисунок 11 – Передаточные функции (модуль и фаза) горизонтальных колебаний с нижнего уровня на верхний уровень РМО в направлениях N (а) и E (б)

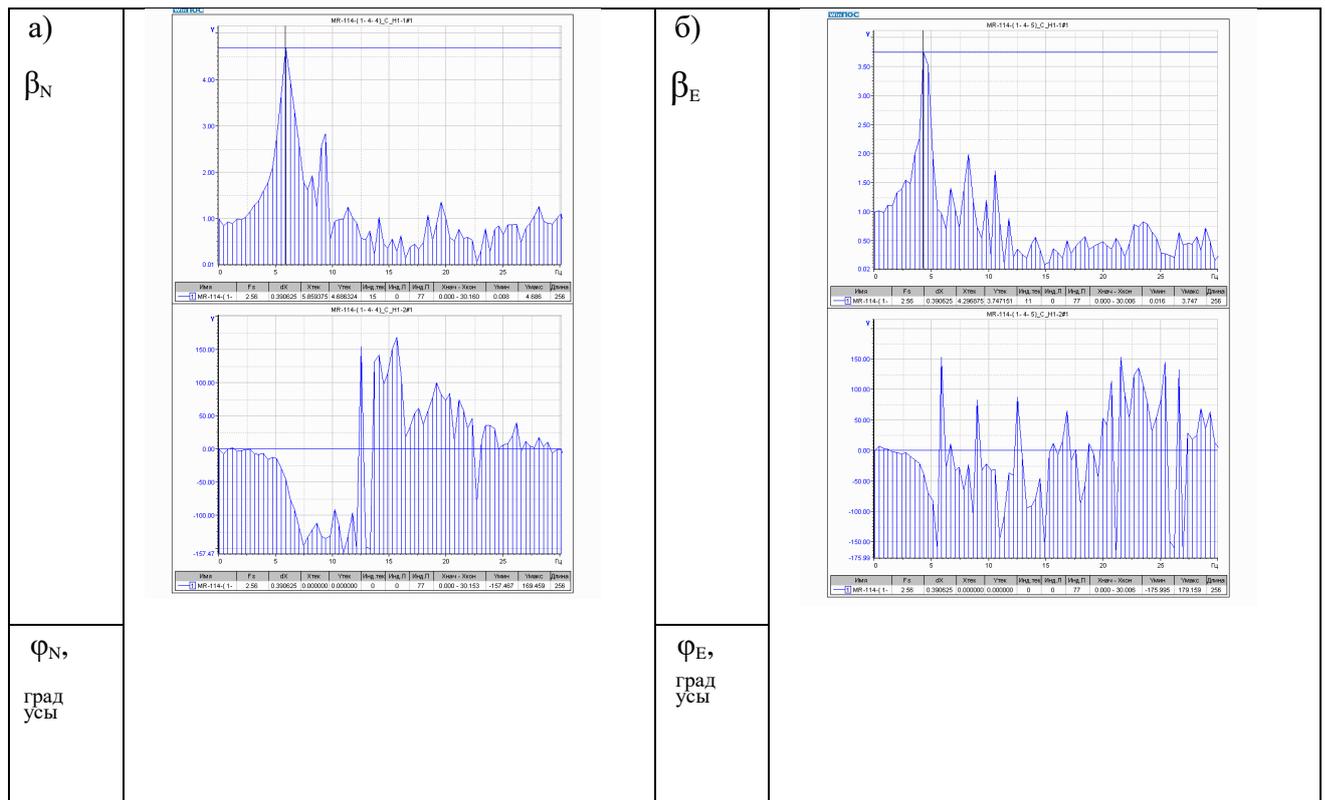


Рисунок 12 – Передаточные функции (модуль и фаза) горизонтальных колебаний для системы «фундамент – перекрытие чердака» в направлениях N (а) и E (б)

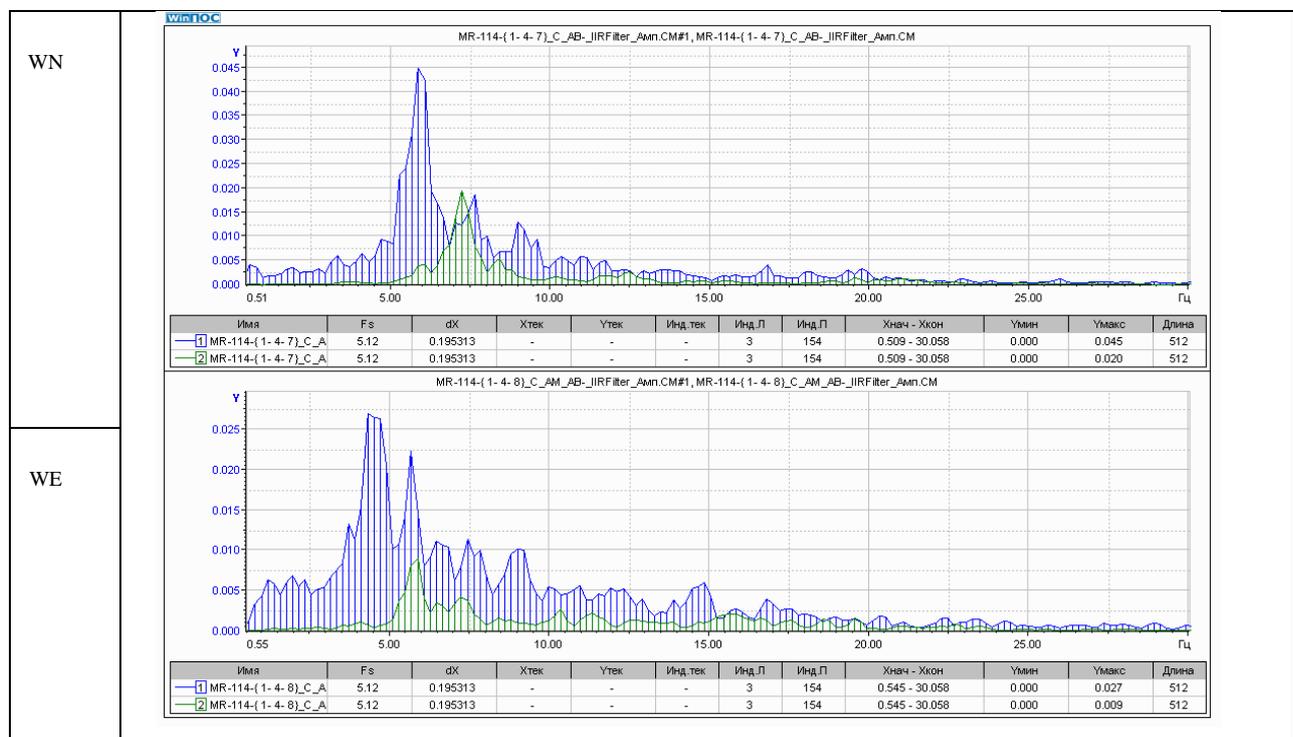


Рисунок 13 – Спектры ускорения горизонтальных колебаний верхнего уровня РМО по отношению к его нижнему уровню полученные по фрагменту записи длиной 9,7 сек:

- 1 – от начала основных колебаний (от  $T = 0,236$  сек);
- 2 – до начала основных колебаний (колебания от воздействия микросейсм).

На рисунке 13 приведены спектры ускорения горизонтальных колебаний верхнего уровня РМО по отношению к его нижнему уровню на разных фрагментах записи. На графиках видно, при основных колебательных воздействиях, происходит сдвиг частотного пика влево, по отношению к колебательным воздействиям, от микросейсм. Это говорит о том, что, несмотря на незначительную амплитуду колебаний, сейсмоизоляция включается в работу системы, при этом оценить эффективность работы на низких амплитудах колебаний, достаточно сложно.

### **Выводы**

1. Собственная частота здания, по результатам мониторинга, близка к 4,3Гц и находится в пределах ожидаемой величины.
2. Максимальные значения ускорений колебаний несущих конструкций здания незначительны по своей величине. Ускорения колебаний такого уровня не могут вызвать появление каких-либо повреждений в конструкциях здания, при этом такие воздействия помогают оценить и настроить работу инженерно-сейсмометрической станции.
3. Система сейсмометрического мониторинга позволяет своевременно предупреждать возникновение чрезвычайных ситуаций, оценивать техническое состояние зданий и сооружений по изменению их динамических параметров в результате сейсмических воздействий, собирать и анализировать данные по поведению здания в условиях реальных сейсмических воздействий.

### **Литература**

- 1 Медведев С.В., Карапетян Б.К., Быховский В.А. Сейсмические воздействия на здания и сооружения. Изд-во литературы по строительству. М., 1968.191с.
- 2 Поляков С.В. К оценке спектрального состава колебаний сооружений при землетрясениях по данным зарубежных исследований и норм. Сб. «Строительная механика и расчет сооружений» М., 1978. №2. С . 12-14.
- 3 Смирнов В.И. Применение инновационных технологий сейсмозащиты зданий в сейсмических районах // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2009. № 4. С. 16-21.
- 4 Смирнов В.И., Никитина В.А. Демпфирование как элемент сейсмозащиты сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2007. № 4. С. 44-47.
- 5 Чебров Д. В. [и др.]. Сильные землетрясения на Камчатке в 2016-2017 гг. // Сборник трудов Шестой научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». Петропавловск-Камчатский. 2017. С. 89-96.

### **References**

- 1 Medvedev S.V., Karapetian B.K., Bikhovski V.A. Seismicheskie vozdeistviia na zdaniia i sooruzheniia [Seismic impacts on buildings and constructions]. Publishing house of literature on construction]. Izd-vo literatury po stroitel'stvu. M., 1968. 191s.
- 2 Poliakov S.V. K otsenke spektral'nogo sostava kolebanií sooruzhenii pri zemletriaseniiakh po dannym zarubezhnikh issledovanií i norm [To assessment of a spectral distribution of fluctuations of constructions at earthquakes according to foreign researches and norms]. Sb. «Stroitel'naia mekhanika i raschet sooruzhenii» M., 1978. №2. S. 12-14.
- 3 Smirnov V.I. Primenenie innovatsionnykh tekhnologii seismozashchity zdanií v seismicheskikh raionakh [Application of Innovative Technologies of Seismoisolation of Buildings in Seismic Zone] // Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost sooruzhenii. 2009. № 4. S. 16-21.

4 Smirnov V.I., Nikitina V.A. Dempfirovanie kak element seizmozashchiti sooruzhenii [Seismoisoiation Structures Using Dampers] // Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost sooruzhenii. 2007. № 4. S. 44-47.

5 Chebrov D. V. [i dr.]. Sil'nye zemletriaseniia na Kamchatke v 2016-2017 gg.[ The strong earthquakes on Kamchatka in 2016-2017 's] // V sb. trudov Shestoi nauchno-tekhnicheskoii konferencii «Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii». Petropavlovsk-Kamchatskii. 2017. S. 89-96.

**УДК 624-042; 698.841**

**НОВЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЛИЩНО-ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ И ПРОБЛЕМЫ АКТУАЛИЗАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ НОРМ**

**NEW CONSTRUCTIVE SYSTEMS OF RESIDENTIAL AND CIVIL BUILDINGS AND PROBLEMS OF ACTUALIZATION OF SEISMIC NORMS**

**Хакимов Ш. А.**

к. т. н., с.н.с., заведующий отделом сейсмостойкого строительства АО «ToshuyjoyLITI», г. Ташкент, Республика Узбекистан

**Khakimov Sh.A.**

PhD (Candidate of Science in Technics), Senior scientist, Head of the Earthquake engineering department, JSC «ToshuyjoyLITI», Tashkent, Republic of Uzbekistan

**Аннотация:** В докладе рассматриваются вопросы применения новых конструктивных систем в сейсмических районах и пригодности требований сейсмических норм для их проектирования.

**Ключевые слова:** современные конструктивные системы, сейсмостойкое строительство, актуализация сейсмических норм

**Abstract:** The report examines the application of new design systems in seismic areas and the suitability of seismic standards for their design.

**Keywords:** modern design systems, earthquake-resistant construction, actualization of seismic norms

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-192-202**

Действующие нормы проектирования в сейсмических районах за последние 25-30 лет мало изменились. Однако существенные изменения претерпела строительная палитра конструктивных систем жилищно-гражданских зданий, применяемых в строительстве на сейсмоопасных территориях.

Ранее применяемые конструктивные системы, на проектирование которых распространялись требования норм, проходили экспериментальную проверку их несущей способности при динамических (типа сейсмических) нагрузках, а многие из них попадали в зону землетрясений расчетной интенсивности. И каждый раз после инженерного анализа последствий землетрясений нормы подвергались корректировке как в расчётных, так и конструктивных отношениях.

В настоящее время экспериментальные работы по оценке сейсмостойкости новых конструктивных систем на территории стран СНГ практически не проводятся, пожалуй, за исключением Казахстана, где КазНИИСА с использованием вибромашины типа В-3, устанавливаемой на крыше, проводят испытания на натурных зданиях с целью оценки

сейсмостойкости новых конструктивных систем. Хотя у этой методики натурных испытаний есть сторонники и противники, тем не менее это единственный сохранившийся способ на постсоветском пространстве, который может дать ответы по оценке сейсмостойкости новых систем.

Если рассматривать новые конструктивные типы жилых зданий, то вырисовывается такая картина: применяемые 25-30 лет тому назад конструктивные системы в настоящее время практически не находят применения. Их место заняли неисследованные системы, на проектирование которых действующие сейсмические нормы не имеют полноценных ни расчётных, ни конструктивных рекомендаций. К таким системам относятся: безригельные системы, системы с так называемыми скрытыми ригелями, здания с гибкими первыми этажами, каркасно-стеновые конструкции с различным процентом соотношения стен и колонн, рамно-связевые системы, в которых вместо диафрагм используются короткие пилоны, Т-образные колонны, псевдокомплексные кирпичные здания до 7-9 этажей под видом каркасных систем, крупнопанельные здания с разряжёнными шпонками и составным перекрытием из многопустотных железобетонных плит безопалубочного виброформования (без шпонок на продольных гранях и арматурных выпусков по торцам), монолитные плоскостеновые железобетонные дома с единственной в продольном направлении внутренней несущей стеной, конструктивные системы, несущие конструкции которых армированы композитной арматурой практически с нулевым удлинением после разрыва, многоэтажные дома из гипсокартона системы KNAUF, усиленного гнутыми тонколистовыми стальными профилями и т.д. Для указанных конструктивных систем в действующих сейсмических нормах стран СНГ, как правило, отсутствуют рекомендации по назначению значения коэффициентов редукции, этажности, упругопластических характеристик, а также конструктивные мероприятия, назначаемые без расчёта и др.

Таким образом, в первую очередь для проектирования новых конструктивных систем в действующих нормах следует актуализировать такие параметры, значение которых изменяются в зависимости от типа несущих конструкций здания. Это упругопластические характеристики системы, которые определяют значение коэффициента редукции. Это повреждаемость и уязвимость конструкций при землетрясениях, которые в какой-то мере диктуют такие параметры здания, как этажность, шаги и пролёты несущих конструкций. И наконец, мероприятия, назначаемые из конструктивных соображений, которые как правило, привязаны к конкретному конструктивному типу здания.

По сейсмическим нормам бывшего СССР на всех территориях были установлены для массового строительства жилищно-гражданских зданий одинаковые как по названию, так и по сути типовые конструктивные системы, в том числе кирпичные, каркасные и плоскостеновые конструктивные системы. Все эти конструктивные системы рассчитывались по одинаковой методике при одних и тех же значениях упругопластических параметров, этажности, шаги и пролёты несущих конструкций, а также мероприятия, назначаемые из конструктивных соображений, были практически одинаковыми. Все конструктивные типы зданий проходили тщательные экспериментальные исследования как в головных институтах, так и в периферийных. В периферийных институтах Республик, расположенных в сейсмоопасных территориях, проводились доисследования конструкций однотипных конструктивных систем, имеющих отличительные особенности, привязанные к местным условиям и технологиям их возведения.

Таким образом, для перечисленных новых конструктивных систем необходимо найти место в перечне конструктивных систем сейсмических норм, каким-то образом (расчётным или экспериментальным) ранжировать их по степени уязвимости и повреждаемости, определить, так называемый, уровень их природной сейсмостойкости по отношению к

известным конструктивным системам. Эти новые конструктивные системы необходимо наделять значениями коэффициента редукиции, учитывающего допускаемые повреждения конструкций.

При невозможности установления корректных значений коэффициентов редукиции по отношению к новым конструктивным системам, их должны проектировать на основании специальных технических условий (СТУ).

Не берусь судить, хорошо это было или плохо, но однозначно – был какой-то хороший порядок. И надо указать, что недостаточно хорошо экспериментально изученные новые конструктивные системы, поспешно внедрённые в строительство, негативно проявлялись при реальных землетрясениях. В целом, конструктивные системы массового типа, технические решения и рекомендации их проектирования базировались на результатах экспериментов, достаточно хорошо переносили реальные землетрясения, в том числе и расчётные.

В настоящее время практически все страны СНГ имеют свои национальные нормы: хорошо это или не очень? Наверно хорошо в том смысле, что каждая Республика как-бы отражает в своих национальных нормах особенности, свойственные стране. Это в основном касается параметров сейсмической опасности, менталитета, экономических и других возможностей. Однако следует указать, в конструктивном отношении все конструктивные системы во всех нормах сохранили в основном привычные нам всем формулировки названий, но практически во всех сейсмоопасных Республиках начали возводить здания с применением конструктивных систем с одними и теми же названиями, но существенно отличающимся содержанием. Например, здания с привычным названием каркасной системы, возводимые сегодня в России, Узбекистане, Казахстане, Грузии и др., очень серьёзно отличаются друг от друга и от традиционных в конструктивном отношении. Многие из них привязаны к новым современным технологиям сборного и монолитного домостроения. По-хорошему, они должны иметь иные названия, отражающие специфику их конструктивных решений. И следует отметить, что, практически, ни в одном нормативном документе стран СНГ не отражаются эти специфические свойства конструктивных систем с одноимённым названием, но разных по сути.

Если мы возьмёмся сравнивать значения, например, упругопластических параметров одноименных конструктивных систем, их этажность и др., приведённых в разных национальных нормах, то не получим тождественных значений. В таблице 1 приведены значения параметра, учитывающего допускаемые значения относительной неупругой деформации системы, норм разных времён некоторых стран СНГ. Из его анализа следует, что однотипные конструктивные системы наделены разными значениями указанного параметра, что в конечном итоге приводит к различной величине расчётной сейсмической нагрузки. Правильно ли это? Надо найти ответ.

## Значения коэффициентов редукции

Таблица 1

Тип несущей конструкции	Нормы страны				
	Казахстан	Украина	Россия	Армения	Узбекистан
Панельные здания	0,2	0,25-0,35	0,25	0,5-0,55	0,17-0,54 (для разных элементов)
Железобетонные каркасы	0,25	0,25-0,45	0,3-0,4	0,4-0,45	
Кирпичные здания	0,4	0,4-0,45	0,4	0,6	
Металлические каркасы	0,3	0,25-0,3	0,22-0,25	0,3-0,35	

Заметим, что и названия коэффициента, учитывающего допустимые значения упругопластических параметров здания, в нормах стран СНГ разные:

Украина:  $K_1$  – коэффициент, учитывающий неупругие деформации и локальные повреждения здания;

Казахстан:  $K_2$  – коэффициент редукции, учитывающий конструктивные решения здания;

Армения:  $K_1$  – коэффициент, учитывающий допустимые повреждения конструкций при землетрясениях;

Россия:  $K_1$  – коэффициент, учитывающий допустимые повреждения зданий и сооружений;

Узбекистан:  $r$  – коэффициент редукции, зависящий от допустимой относительной неупругой деформации элемента (заметьте, не здания в целом)  $\mu$  и периода собственных колебаний здания  $T_1$ .

Если мы возьмём значения допустимых поэтажных перекосов здания, то и их значения разнятся между собой для одних и тех же конструктивных систем по нормам стран СНГ.

Аналогичная картина по требованиям к этажности зданий, что показано в таблице 2.

## Предельная этажность зданий различных конструктивных систем по нормам стран СНГ

Таблица 2

Нормы страны	Конструктивная система								
	Панельные			Рамные каркасы			Связевые каркасы		
	Баллы								
	7	8	9	7	8	9	7	8	9
Казахстан	16	12	9	9	7	5	20	16	12
Украина	20	16	10	7	5	3	16	12	9

Россия	16	14	12	7	5	3	16	12	9
Армения	16	14	12	16	14	12	16	14	12
Узбекистан	20	16	12	12	9	6	16	12	9

Это мы рассмотрели данные для зданий, конструктивные системы которых имели под собой основание в виде обширных экспериментальных исследований. Если мы обратимся к сейсмическим нормам Узбекистана, то значения упругопластических характеристик как для здания в целом, так и отдельных элементов, то следует указать, что все они получены из результатов прямых экспериментальных исследований известных нам конструктивных систем. Поскольку упругопластические свойства системы очень чувствительны к типу конструктивной системы, тогда для новых типов зданий необходимо будет выполнять целый цикл испытаний для получения истинных значений или близких к ним для новых типов конструктивных систем зданий.

В условиях полного отсутствия экспериментальных данных из-за того, что в настоящее время практически во всех странах СНГ не проводятся обширные экспериментальные работы, получить достоверные данные лишь по результатам расчётов, модельного проектирования не представляется возможным. В этой ситуации в первое время значения коэффициентов редукиции можно будет назначать в составе специальных технических условий, основываясь, например, на экспертном ранжировании уязвимости новых систем и расчётной оценки периодов их основного тона.

Таблица уязвимости (прочности) каркасных систем (гармонизированная со шкалой EMS-98)

Таблица 3

Конструктивный тип здания	Этаж-ность*	Вероятный класс уязвимости							
		A1	A2	B	C	D	E	F1	F2
Жесткие здания с гибкими нижними этажами	8		————	—					
Системы с неполным монолитным железобетонным каркасом	7-8		—	—					
Монолитные железобетонные безригельные каркасные системы	7-8		—	—					
Монолитные железобетонные каркасные здания с кирпичным заполнением, участвующем в восприятии сейсмических нагрузок. Вариант 1	8			————	-				
Монолитные железобетонные каркасные здания с заполнение кирпичной кладкой не участвующей в восприятии сейсмических нагрузок с ригелями в двух направлениях	6			—	————	-			
Монолитные железобетонные каркасные здания с кирпичным заполнением, участвующем в восприятии сейсмических нагрузок. Вариант 2	8			—	————	-			
Рамно-связевые каркасные здания из монолитного железобетона	9-10			————	————	—			
Связевые каркасные системы из монолитного железобетона	9-10			————	————	—			
Каркасно-стеновые безригельные системы из монолитного железобетона	7-9			—	————	————			

**Примечания:**

1. Классы уязвимости А, В, С, D, E, F расположены в порядке их увеличения по уровню сейсмостойкости и двум подклассам уязвимости А2 и F2, где А2 – «абсолютная уязвимость» (хуже, чем класс А), а F2 – «гарантированная надёжность» (лучше, чем F)
2. Вариант 1 в строке 4 означает, что возведение каркаса опережает возведение кирпичного заполнения, участвующего в работе.
3. Вариант 2 в строке 6 означает, что кирпичное заполнение стен, участвующих в работе, опережает возведение монолитного каркаса.

Практически все перечисленные конструктивные системы каркасных зданий, перечисленные в таблице 3, не попадали под воздействие сильных землетрясений на территории Республика Центрально Азии. Дефицит их сейсмостойкости определяется как разность между уровнем сейсмостойкости сооружения и величиной возможного сейсмического воздействия на площадке строительства.

Надёжность строительных конструкций зданий при сейсмическом воздействии достигается совместным применением расчёта и основных положений по проектированию, включающих объёмно-планировочные решения и конструктивные элементы. Ни один из этих двух элементов проектирования не является достаточным для разработки проекта сейсмостойкого объекта и ни один не достаточен для суждения об его сейсмостойкости.

Для получения объективных оценок данных о сейсмостойкости зданий их оценка, обобщённая и многофакторная, учитывает значительное количество неопределённостей, в том числе прогноз времени, места, интенсивности, спектра, длительности землетрясения, а также диссипативные способности сооружения, склонность к прогрессивному разрушению и др.

Немаловажным при этом является учёта эмпирических данных о поведении различных сооружений при землетрясениях, конструктивных особенностей, общее понимание механизмов сейсмических разрушений.

Влияние отдельного фактора на общую сейсмостойкость здания зависит от многих параметров. Сложность количественной оценки всех этих факторов позволяет представить каждый из них в виде произведения,

$$S = \sum_{i=1}^4 a_i S_i ,$$

где

$a_i$  - удельный вес данного фактора по его влиянию на общую сейсмостойкость конструкции;

$S_i$  - выраженная в долях единицы степень соответствия данного фактора для рассматриваемого объекта в реальном случае по сравнению с случаем, когда данный фактор полностью соответствует требованиям действующих регламентов или нормативных документов, или имеет наивысшую оценку сейсмостойкости (равную единице).

Здесь и далее не приводятся процедуры расчётов значения  $S$  для рассматриваемых конструктивных типов зданий.

Многие рассматриваемые типы конструктивных систем были идентифицированы с аналогичными типами в зарубежных странах, которые подвергались землетрясениям расчётной интенсивности. Эти данные были использованы при анализе конструктивных систем, возведённых в городах Узбекистана, и их ранжировании по уязвимости или несущей способности.

Таким образом на основании анализа последствий мировых землетрясений, расчётных методов оценки сейсмостойкости с использованием факторов, определяющих сейсмостойкость строительных конструкций зданий и сооружений  $S_i$  была составлена в первом приближении таблица уязвимости (прочности) рассматриваемых типов зданий, гармонизированная со шкалой EMS-98.

Данные таблицы 3 могут быть откорректированы после проведения, например, натурных исследований несущей способности новых типов зданий с использованием сейсмометрических методов.

В действующие сейсмические нормы Узбекистана предлагается ввести рекомендации по проектированию новых конструктивных типов гражданских зданий, в том числе безригельных каркасов, жёстких зданий с гибкими первыми этажами, каркасно-стеновых систем и др.

Безригельные псевдорамные являются самыми уязвимыми при землетрясениях. Недостатки безригельных каркасов проявляются в том, что отсутствие ригелей не позволяет обеспечить жёсткие узлы соединения с колонной, что приводит к увеличению (в 4 раза) пролётных моментов в плитах, при сейсмических воздействиях колонны значительно перегружаются, система имеет большие перемещения. Всё это является причиной высокой повреждаемости безригельных систем при землетрясениях. Колонны при образовании трещин в зоне примыкания плит могут начать работать по консольной схеме на всю высоту здания, а не как рама, что весьма опасно. Опасно и то, что многие проектировщики довольно вольно оперируют вводимой в расчёт шириной ригеля безригельной системы. Иногда ригель принимают шириной 100, 200, 300 см и более. В таких случаях расчёт даёт удовлетворительные результаты по несущей способности системы.

В основу концепции и технических решений необходимо заложить возможность разгрузки стоек и зоны опирания плит от воздействия горизонтальных и вертикальных сейсмических нагрузок. Для этого предлагается проектировать, как правило, связевые безригельные системы, в которых горизонтальные сейсмические нагрузки расчётами 100% воспринимаются связями в виде диафрагм жёсткости, ядер жёсткости и др. Кроме этого, по осям колонн в ортогональных направлениях необходимо организовать зоны усиленного армирования, включая применение жёсткой арматуры. По периметру зданий по осям крайних колонн следует устраивать ригели. В качестве ядер жёсткости могут быть использованы лестнично-лифтовые клетки в тех случаях, когда они не создают большие эксцентриситеты между центрами масс и жёсткостей. В зданиях высотой более 2 этажей сечения стоек (колонн) должно быть не менее 50x50 см, а при сейсмичности 9 и более баллов иметь в сечении стоек первого этажа жёсткую арматуру.

В Узбекистане здания с гибким первым этажом практически не возводились. В настоящее время объём их строительства всё больше развивается. Поэтому этот тип зданий, как наиболее уязвимый при землетрясениях, нуждается в своём совершенствовании. Главная причина разрушения зданий с гибкими первыми этажами – это потеря устойчивости стойками из-за значительных их перемещений.

Из-за огромной разницы жёсткостей первого этажа и верхних этажей самым опасным участком становится сечение колонны на границе перехода их в заделках в фундамент и ригель. При землетрясении происходит смятие бетона колонны почти одновременно по концам заделки. Происходит раздробление бетона в зоне заделки и при больших перемещениях потеря устойчивости колонн и их полное разрушение.

Одним из путей совершенствования систем с гибким первым этажом является выравнивание жёсткостей первого и вышележащих этажей. Реализовать эту задачу без дополнительных затрат и без ущерба гибкости планировки первого этажа практически невозможно. Можно рекомендовать для детальной последующей разработки следующие приёмы повышения сейсмостойкости жёстких зданий с гибкими первыми этажами:

- перевод жёстких верхних этажей в гибкую систему;
- введение элементов повышения жёсткости первого гибкого этажа.

Повышение жёсткости гибкого этажа может осуществляться, например, путём принятия следующих конструктивных решений:

- сечения колонн первого этажа должны быть не менее 50x50 см для зданий до 9 этажей;
- введение в сечение железобетонной колонны первого этажа жёсткой арматуры; при этом минимум 70% прочности сечения колонны должна обеспечивать жёсткая арматура;
- введение дополнительных элементов жёсткости в конструкции первого гибкого этажа в виде диафрагм жёсткости в крайних продольных и поперечных шагах каркаса. При этом жёсткие элементы могут быть предусмотрены и за пределами здания в виде пристроек, как в поперечном, так и в продольном направлениях.

Для целей повышения жёсткости гибкого этажа могут быть использованы конструкции лестнично-лифтовой шахты;

- не допускаются безригельные конструкции перекрытий. При этом ригели должны присутствовать в двух ортогональных направлениях. Рекомендуется ригель в зоне соединения с колонной первого этажа также усилить дополнительно жёсткой арматурой. Это позволит избежать смятие колонны в зоне соединения колонн с ригелем;
- рекомендуется перекрытия выполнять, как правило, в монолитном варианте. Допускается использование в качестве перекрытия железобетонных плит пустотного настила безопалубочного виброформования. При этом они используются в качестве оставляемой опалубки для монолитного перекрытия.

Для обсуждения в таблице 4 приводятся требования к предельной этажности новых типов конструктивных систем жилищно-гражданских зданий.

Таблица 4

Габаритные параметры из железобетонных и металлических конструктивных систем						
№ п/п	Несущие конструкции	(Высота здания, м) и число этажей при сейсмичности площадки				
		7	8	9	>9	9*
1	2	3	4	5	6	7
1	Одноэтажные каркасы					
1.1	Металлические (стальные) каркасы	ТНСП	ТНСП	ТНСП	11	7,5
1.2	Железобетонные каркасы	ТНСП	ТНСП	15	11	7,5
2	Многоэтажные каркасы					
2.1	Металлические (стальные) каркасы:					
	а) рамно-связевые, связевые	(70)20	(56)16	(42)12	(19)5	(12)3
	б) рамные;	(42)12	(33)9	(24)7	(12)3	(8)2
2.2	Монолитные железобетонные каркасы, в т.ч. сборные перекрытия:					
2.2.1	рамный с ригелями в ортогональных направлениях без диафрагм;	(24)7	(19)5	(12)3	(8)2	-
2.2.2	связевой или рамно-связевой;	(56)16	(42)12	(33)9	(15)4	(12)3
2.2.3	безригельный (без диафрагм);	-	-	-	-	-
2.2.4	безригельный связевой с диафрагмами, ядрами жесткости и ригелями по периметру здания;	(33)9	(24)7	(19)5	-	-
2.2.5	рамный с жесткой арматурой;	(42)12	(33)9	(24)7	(12)3	
2.2.6	каркасно-каменные;	(38)10	(24)7	(19)5	(8)2	
2.2.7	рамный с диафрагмами из штучной кладки;	(33)9	(21)6	(15)4	(12)3	
2.2.8	жесткие здания с «гибким» первым этажом;	(24)7	(19)5	(12)3	-	
2.2.9	каркасно-стеновые;	По техническим условиям				
2.2.10	конструктивные системы с элементами сейсмоизоляции;	По техническим условиям				
2.2.11	конструктивные системы с элементами сейсмогашения;	По техническим условиям				
2.2.12	сборные и сборно-монолитные железобетонные каркасные системы (за исключением сборных перекрытий);	По техническим условиям				
2.2.13	каркасные системы с неполным каркасом	-	-	-	-	-
2.2.5	рамный с жесткой арматурой;	(42)12	(33)9	(24)7	(12)3	
2.2.6	каркасно-каменные;	(38)10	(24)7	(19)5	(8)2	
2.2.7	рамный с диафрагмами из штучной кладки.	(33)9	(21)6	(15)4	(12)3	

**Примечание:** допускается применение указанных в таблице конструктивных систем более повышенной этажности, запроектированных по специальным техническим условиям.

В странах дальнего зарубежья, расположенных на сейсмоопасных территориях, таких как Япония, США, Китай, Македония, Италия, Новая Зеландия и др., экспериментальным исследованиям новых конструктивных систем, материалов, конструкций уделяется огромное

внимание. В этих и других странах не сворачиваются экспериментальные исследования, а наоборот, получают дальнейшее развитие и совершенствование.

В заключение хотелось бы обратиться к уважаемым коллегам: учёным и проектировщикам, с просьбой высказаться по затронутой, как нам кажется, важной проблеме в отношении проектирования с обеспеченной сейсмической безопасностью жилищно-гражданских зданий с применением упомянутых и других новых конструктивных систем, материалов и конструкций, которые в настоящее время поспешно внедряются на сейсмоопасных территориях стран СНГ, в условиях отсутствия подтверждения их сейсмической безопасности, наряду с расчётными, экспериментальными исследованиями.

### **Литература**

1. КМК 2.01.03-96 «Строительство в сейсмических районах» / Госархитектстрой РУз, Ташкент, 1996. 65 с.
2. 2. Хакимов Ш.А. Сейсмобезопасность конструктивных систем современных жилищно-гражданских зданий Центрально-азиатского региона / Ш.А. Хакимов // Геориск. 2017. №1. С. 54-60.

### **References**

1. КМК 2.01.03-96 «Construction in earthquakeprone areas». Gosarkhitektstroy of the RUz. – Tashkent, 1996. – 65 p.
2. Khakimov, Sh. A. (2017). Seismic safety of modern residential buildings structural systems of Central-Asian region // GeoRisk, №1. P. 54-60.

## ТРАНСФЕР ТЕХНОЛОГИИ, НОУ-ХАУ И ТОРГОВАЯ МАРКА - МОЙ ОПЫТ

### TRANSFER TECHNOLOGY, KNOW-HOW AND TRADEMARKS - MY EXPERIENCE

#### Петрашкович Зоран

инженер-строитель, Система ДЦ90, Центр сейсмического инжиниринга, [www.dc90.co.rs](http://www.dc90.co.rs), email: dc90@eunet.rs

**Аннотация.** Внедрение идей индивидуального инноватора идет по пути развития производственной технологии и ее размещения на рынке при активном участии в этом процессе самого инноватора. Он становится предпринимателем, который должен осваивать новые для него области знаний, которые являются гарантией его присутствия на рынке. Незначительному числу инноваторов посчастливится продать свое детище посредством регистрации патента или ноу-хау и посвятить себя творческому созиданию, где он максимально проявляет свою компетентность и креативность. Продолжается процесс создания новых инноваций. Оба варианта имеют право на существование, если гарантируют стабильное развитие. В этом докладе хочу рассказать о своем опыте новаторства.

Ключевые слова: трансфер технологии, ноу-хау, торговая марка, рынок, коммерческая тайна, стабильное развитие, мораль, интеллектуальная собственность, архитектурное наследие, устройства, безопасность объектов, землетрясение

**Abstract.** The idea of one innovator becomes selling product or service by the development of technology of production and development market strategy. That can be done by innovator. Then he becomes an entrepreneur and must learn other skills necessary for survival on the market. A smaller number of innovators, selling their work, Patent or KNOW-HOW. Other are dedicated to their innovative creativity, i.e. activities for which they may be the most competent and beneficial. The innovators continue to create new innovations. Both methods of creativity are good, if they allow sustainability and duration. This work shows my specific experience.

Keywords: technology transfer, Know-How, trademark, market, trade secret, sustainability

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-203-211**

#### ВВЕДЕНИЕ

Первая патентная заявка была сделана в 1989 году (регистрационный номер П48040). В общей сложности пятнадцать наших патентов, прошедших регистрацию, пять патентов, находящихся в стадии подготовки к регистрации, зарегистрированная торговая марка стали прогрессивной базой концепции новаторской строительной технологии из области повышения сейсмической надежности. В настоящий момент мы занимаемся деятельностью по передаче технологий посредством подписания договора о ноу-хау, исследовательскими проектами, а также переговорами с тремя компаниями из Европы, Российской Федерации, Азии. Опыт работы по внедрению технологии на четырех континентах результативно позиционировал наших интеллектуальных продуктов на рынке в целях обеспечения стабильного развития. В результате реализации вышеуказанных договоров ожидаем гарантированную устойчивость

исследовательского процесса и возможность массовой эксплуатации инноваций и использования технологий. Непосредственно сам процесс передачи новаторских технологий ДЦ 90 подразумевает изготовление каталога решений, автоматизированное производство амортизаторов и устройств, доставку лаборатории полевых испытаний динамических характеристик и тестирование качества и работы амортизаторов в лаборатории, обеспечение программных продуктов для автоматизации проектирования, и, наконец, важнейший компонент ноу-хау – обучение, подготовка персонала и передача секретов технологического производства. Хочется отметить намерения мультинациональных компаний по сбору многолетних знаний и опыта инноваторов посредством заказных исследований в области. Чтобы это избежать, компания Система ДЦ 90 интегрально объединила и защитила свой практический опыт и знания зарегистрированной торговой маркой (**Trademarks 7545, 15.01.2018. SISTEMDC90**) и тем самым определила как свою уникальность, так и уникальность объекта предложения ноу-хау, фото1.



*Фото 1. Вид торговой марки, зарегистрированной Департаментом интеллектуальной собственности Сербии*

В Российской Федерации пояс повышенного риска от сейсмической опасности простирается по южной границе до Дальнего Востока. Это можно видеть на фото 2. Трансфер технологии и ноу-хау ДЦ90 на русском рынке в перспективе будет проводиться в тесном сотрудничестве с высококвалифицированными экспертами и консультантами из РФ.



Сл.2. Карта сейсмического риска на территории России и прилегающих территориях.

**2.О СОТРУДНИЧЕСТВЕ И ДЕЛОВОМ ПАРТНЕРСТВЕ** в области представления современных инновационных технологий строительства компании Система ДЦ 90 на территории Российской Федерации с целью привлечения инвесторов.

### **КОНСУЛЬТАНТ-ЭКСПЕРТ и СЕРТИФИКАТ**

Сертификат подтверждает, что общество с ограниченной ответственностью «Предприятие по исследованию, консалтингу, инжинирингу и передаче технологии СИСТЕМА ДЦ 90ОО, Ритопек» (организационно-правовая форма и полное наименование организации на сербском языке), «СИСТЕМА ДЦ 90 ДОО Белград - Гроцка» (сокращенное наименование на сербском языке) является производителем технологии SistemDC90® для сейсмоусиления зданий и сооружений.

В качестве официального представителя технологии SistemDC90® на территории Российской Федерации выбран Консультант-эксперт по договору о научно-техническом сотрудничестве и деловом партнерстве в области взаимодействия и координации действий по внедрению, эффективному применению и накоплению практического опыта при сейсмоусилении строительных конструкций с применением технологии SistemDC90® на территории Российской Федерации. Технология SistemDC90® представляет собой систему проектирования, расчета и изготовления специальных элементов повышенного гистерезисного демпфирования, обеспечивающих защиту несущих конструкций, зданий и сооружений от возможных перегрузок при действии землетрясений и локализацию нелинейных деформаций (повреждений). Технология защищена патентами на изобретение («System of Seismic Strengthening of Structure»): Австралия, патент No.AU2003254327A1 от 23.11.2004, США, патент No.10/555,131 от 31.10.2005 и др.

**3.ПРОЦЕСС ПЕРЕДАЧИ** современных инновационных технологий строительства СИСТЕМА ДЦ90 включает в себя следующее (А-Г):

#### **А. КОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ДЦ90**

1. Общие положения (пять основных элементов СИСТЕМЫ ДЦ90).
2. Проектирование: нелинейный динамический числовой анализ для данных сейсмических записей.
3. Методика проектирования, итераций, настройки моделей и приборов, амортизаторов землетрясений.
4. Автоматизация проектирования, (компьютерная программа, программное обеспечение)
5. Детали, узлы

#### **Б. УСТРОЙСТВА И ТЕХНОЛОГИЯ «СИСТЕМА ДЦ90»**

1. Поставка технологии для производства оборудования (Роботная сварка), приборов, амортизаторов землетрясений или
2. Поставка амортизаторов и приборов.

#### **В. ПОСТАВКА ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

1. Вибратор ДЦ90 (искусственное землетрясение)
2. Испытательное оборудование до +500 кН, частота 10 Хц
3. Система для сбора цифровых тестовых данных, (измерения ускорения и смещения)

Г.НОУ-ХАУ

1. Инструктаж,
2. Обучение персонала,

Кто может быть приобретателем технологии ДЦ90 для ограниченного территориального рынка?

1. Государственное учреждение или
2. Частная компания, которая занимается строительством / восстановлением в сейсмических районах/ сохранением исторических зданий и имеет опыт работы в этой области.

Предлагаем следующую модель.

#### 4. ДОГОВОР « ЭКСПЕРТНЫЙ КОНСУЛЬТАНТ» ПО ПЕРЕДАЧЕ СОВРЕМЕННЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА СИСТЕМА ДЦ90

КОНСУЛЬТАНТ-ЭКСПЕРТ и Система ДЦ90 Белград (Исследование клиентов, организация встреч и презентаций, консультаций). В частности, (ЭКСПЕРТНЫЙ КОНСУЛЬТАНТ по передаче Современных инновационных технологий строительства СИСТЕМА ДЦ90) может принимать участие в научно-технических и производственных мероприятиях различного формата (в совещаниях, конференциях, семинарах, тренингах и т.п.) в качестве научного и делового сотрудничества с Исследовательским центром **SistemDC90 Co. Ltd.** на территории Российской Федерации, в предоставлении научно-технических и производственных консультаций потенциальным заказчикам по внедрению технологии, и ведении с ними деловой переписки с целью привлечения инвестиций и инвесторов.

Программа обучения

ТЕХНОЛОГИЯ ДЦ90 и ноу-хау, (повышенная безопасность, особенно в районах землетрясения).

#### А. КЛАДОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

1. ВОССТАНОВЛЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ КЛАДОЧНЫХ СИСТЕМ ЗДАНИЙ, ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЦ90.
2. СТРОИТЕЛЬСТВО НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ ИЗ КЛАДКИ

#### В. МОДЕРНИЗАЦИЯ ЗДАНИЯ

#### С. КАРКАСНЫЕ СИСТЕМЫ

1. БЕЗБАЛОЧНИ КАРКАС.
2. ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ СБОРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ (ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫЕ)

3. БОЛЬШИЕ ПРОЛЕТНЫЕ ЗДАНИЯ ОТ 6 ДО 12 М.

4. КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА И ДЦ 90

#### Д. ИНТЕГРИРОВАННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

#### Е. ИСПЫТАНИЯ И ЭКСПЕРТИЗА ОБЪЕКТОВ, ОБОРУДОВАНИЯ И УСТРОЙСТВ ДЦ 90

Представления **СОВРЕМЕННЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА КОМПАНИИ SISTEMDC90 Co. Ltd** на территории Российской Федерации с целью привлечения инвесторов, (продажа KNOWHOW Система ДЦ 90)

1. Строго сохраняя секреты бизнеса DC90

2. Строго охраняемая информация об интеллектуальной собственности DC90 и KNOWHOW Система DC90.

## **5. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**Ноу-хау ДЦ90** (от англ. *knowhow*— «знаю как») или **секрет производства** — это сведения любого характера (изобретения, оригинальные технологии, знания, умения и т. п.), которые охраняются режимом **коммерческой тайны** и могут быть предметом купли-продажи или использоваться для достижения конкурентного преимущества над другими субъектами предпринимательской деятельности.

**Коммерческая тайна ДЦ90** — режим конфиденциальности информации, позволяющий её обладателю при существующих или возможных обстоятельствах увеличить доходы, избежать неоправданных расходов, сохранить положение на рынке товаров, работ, услуг или получить иную коммерческую выгоду. Под режимом конфиденциальности информации понимается ведение и поддержание особых мер по защите информации.

**Интеллектуальная собственность ДЦ90** — в широком понимании термин означает закреплённое законом временное исключительное право, а также личные неимущественные права авторов на результат интеллектуальной деятельности или средства индивидуализации. Законодательство, которое определяет права на интеллектуальную собственность, устанавливает монополию авторов на определённые формы использования результатов своей интеллектуальной, творческой деятельности, которые, таким образом, могут использоваться другими лицами лишь с разрешения первых.

**Моральное право** - в соответствии со статьей Всеобщей декларации прав человека, «каждый человек имеет право на защиту своих моральных и материальных интересов, являющихся результатом научных, литературных или художественных трудов, автором которых он является». Хотя взаимосвязь интеллектуальной собственности и прав человека сложна, существуют связанные с моралью аргументы в пользу интеллектуальной собственности.

### **Законодательство России в сфере интеллектуальной собственности**

В России с 1 января 2008 года вступила в силу 4 часть Гражданского Кодекса (в соответствии с федеральным законом от 18.12.2006 № 231-ФЗ), далее ГК РФ, раздел VII «Права на результаты интеллектуальной деятельности и средства индивидуализации», который определяет интеллектуальную собственность как список результатов интеллектуальной деятельности и средств индивидуализации, которым предоставляется правовая охрана. Таким образом, согласно ГК РФ интеллектуальной собственностью являются: **НОУ ХАУ ДЦ90**



Фото 3.и 4. Инновационный центр ДЦ90 у Болечу-Белград (фото слева) и устройство квазидинамического тестирования силами до 5000 Кн.



Фото5. Ассортимент амортизаторов и устройств ДЦ90.

Для 310 объектов было изготовлено 3440 единиц оборудования.

## РАЗМЕЩЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ДЦ 90

Демпферы, коннекторы, анкеры и другие элементы Системы ДЦ 90 могут монтироваться на стенные конструкции различными способами:

- внутри стеной фасадной конструкции.
- снаружи стеной фасадной конструкции.



Фото 6. Примеры монтажа элементов Системы ДЦ 90.



Фото 7. Размещение элементов Системы ДЦ 90.

Проведенные ранее исследования и практическое применение технологии доказали свою эффективность и являются качественной базой для начала массового использования. Система ДЦ90 готова предложить заинтересованным фирмам трансфер технологии и рада поделиться опытом, полученным в результате реализации проектов на четырех континентах, на важных объектах Канады, Северной Африки, Азии и Европы.

## 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инновации и изобретения, по словам нашего гениального соотечественника Николы Теслы, считаются вершиной творческого созидания. В настоящее время, при существующих рыночных условиях, любой инноватор должен обладать дополнительными знаниями и навыками, для того чтобы гарантировать как можно дольше непрерывность процесса своей креативной интеллектуальной деятельности, а при этом не теряя драйв непрерывного поиска и создания новых разработок и достижений.

Университеты и факультеты обеспечивают широкий простор для творческого созидания, которое основывается на использовании патентов и новаторских идей. Сами патенты в результате этого утверждают свои позиции и продвигаются в профессиональной среде. Поэтому академические круги должны открыть свои двери новаторству и сделать ясный акцент на значении института патента как самого весомого способа творческого созидания. Необходимо ясно разграничить сегменты теории, практики и патента. Важно, чтобы новаторская работа не служила только для обогащения самого автора, но и для того, чтобы обеспечить индустрии, база которой инноваторство, возможность эффективного и быстрого развития и условиях конкуренции на глобальном мировом рынке.

На тему интеллектуального новаторства много написано античными философами, наряду с ними, и почти нашим современником, Николой Теслой.

## Литература

1. G.Z. Nayak, O.C. Zeinkiewicz: "Elastoplastic Stress Analysis", *Int. J. Num. Meth. Engng.* 5, (1972), Page 113-135.
2. D. Šumarac and Z. Petrašković: "Hysteretic behavior of rectangular tube (box) sections based on Preisach model", *Archive of Applied Mechanics: Volume 82, Issue 10* (2012), Page 1663-1673.
3. F. Preisach, "Über die magnetischenachwirkung", *Z. Phys.* 94, (1935), Page 277-302.
4. M. Sekulović, "O nelinearjnumeričkoj analizikonstrukcija", *Savremeniprobleminelinearnej analize, Građevinskaknjiga, Beograd*, (1992).
5. D. Šumarac, "Histerezisnopošaňanjeelasto-plastičnihmaterijala", *Savremeniprobleminelinearnej analize, Građevinskaknjiga, Beograd*, (1992).
6. P. Skuber, D. Beg, "Low-Cycle Fatigue of Steel Frames under Seismic Loading", *Steel Structures*, (2003).
7. C.A. L Calado, "Steel Beam to Column Connections Under low-Cycle Fatigue Experimental and Numerical Research", *Proc. Of XI Word Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico*, (1996).
8. A.A A. Umanski, "Konstrukterskipriručnik", *Građevinskaknjiga Beograd*, (1980).
9. J. Dufailly, and J. Lemaitre, "Modeling Very Low Cycle Fatigue", *Int. J. Damage Mechanics*, 4, pp. 153-170, (1995).
10. S.S Manson, "Behaviour of Materials under Conditions of Thermal Stresses", *N.A.C.A.. Tech. Note, 2933.*, (1954).
11. L.F. Coffin, "A Study of the Effects of Cyclic Thermal Stresses in a Ductile Metal", *Transactions of the A.S.M.E.*, 931, pp.76. (1954).
12. D. Šumarac, and D. Krajčinović, "Uvod u mehanikuloma", *Naucnaknjiga, Beograd*. (1990).
13. Z Petraškovic, "Seismic Strengthening and protection of objects", *Monograph System DC 90, Innovation Centre Belgrade for Earthquake Engineering, Belgrade*, (2005).
14. Z.Petraskovic, D Šumarac, M. Anđelković, S. Miladinović, M. Trajković, "Retrofitting Нискоцикличнизаморкодједнооксијалногнапрезањадампера- апсорберасеизмичкеенергијеСистема ДЦ 90 - ЗоранПетрашковићСтрана 102 Damaged Masonry Structures by Technology DC 90", *Structural integrity and life (IVK), Belgrade, Vol. 2*, (2005), Page 59-71.
15. Patent in USA No.10/555,131 from 31.10.2005, patent in Australia No. AU 2003254327A1 FROM 2004.11.23.
16. Z. Petrašković, S. Miladinović, D. Šumarac, "Technology of seismic strengthening of masonry structures by applying vertical ties and diagonals with seismic energy absorber System dc 90", *International conference on earthquake engineering, Parallell Session, Topic: Retrofit of structures*, p T6-9, August-september (2005).
17. D Šumarac, Z.Petraskovic, M. Maksimović, S. Miladinoić, I.Džuklevski, N. Trišović, "Seismic Retrofit of masonry structures applying vertical braces with dampers Sistem DC 90 and newly designed wall buildings", *Internacionalninaučniskup, ŽabljakCrna Gora*, (2006), Page 373-381.
18. Lj. Taskov, L. Krstevska, "The earthquake response", *Institute IZIIS, Skoplje, Makedonia*, (2005), Page 13-33.

19. D. Šumarac, Z. Petraskovic, M. Maksimović, S. Miladinoić, J. Petrašković, "Structure Retrofit for residential house of Finlands Ambassador in Algier", *Internacionalninaučniskup, ŽabljakCrna Gora*, (2006), Page 367-373.
20. Z. Petraskovic, Ž. Petrašković, "From the anty-seismic dc 90 damper invention to its implementation all over four continents", *Internacionalninaučniskup, ŽabljakCrna Gora*, (2008), Page 433-439.
21. Зоран Петрашкович, ИСТОРИЧЕСКИЕ ЗДАНИЯ И ПЯТЬ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ДЦ 90, XII Российская национальная конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с международным участием) 12 – 16 сентября 2017 года Место проведения: Республика Крым, г.Ялта,
22. Зоран Петрашковић, Жарко Петрашковић, Светлана Јанковић-Миладиновић, Милица Јовић, ТРАНСФЕР ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗА ПОВЕЋАЊЕ СИГУРНОСТИ ОБЈЕКТА НА ЗЕМЉОТРЕСНА ДЕЈСТВА, 5. Научно-стручни скуп "ТЕХНОЛОШКЕ ИНОВАЦИЈЕ – ГЕНЕРАТОР ПРИВРЕДНОГ РАЗВОЈА", Бања лука, 11. Новембар 2016. Године
23. Zoran Petrašković, STRUCTURAL PROTECTION SYSTEMS DC90, 16th European Conference on Earthquake Engineering (16ECEE) Thessaloniki, Greece, in June 18-21, 2018.
24. Zoran Petrašković, ТЕХНОЛОГИИ ДИНАМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КЛАДОЧНЫХ СТРУКТУР В УСЛОВИЯХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ - РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ, МОЙ ОПЫТ, Euro-Asian Forum «SEISMO – 2018», 4 октября 2018 года, ИФЗ РАН, Россия, Москва.
25. Zoran Petrašković, Žarko Petrašković, KINEMATIČKI SISTEM PROFESORA KURZANOV АДОЛЬФ МИХАЙЛОВИЧ КОНТРОЛИСАН СПЕЦИЈАЛНИМ УРЕДЈАЈИМА, ПЕТО НАУЧНО-СТРУЧНО МЕЃУНАРОДНО САВЕТОВАЊЕ ЗЕМЉОТРЕСНО ИНЖЕНЈЕРСТВО I ИНЖЕНЈЕРСКА SEIZMOLOGIJA, Kraljevo, 13.-15. jun 2018.

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В СЕЙСМООПАСНЫХ РАЙОНАХ**

**Кривцов Юрий Владимирович**

академик РАН, д.т.н., профессор. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»

**Аннотация.** В докладе отражены основные направления развития обеспечения пожарной безопасности строительных конструкций при строительстве объектов в районах с сейсмичностью более 6 баллов. Показано, что обеспечение пожарной безопасности зданий и сооружений в сейсмоопасных районах, напрямую зависит от свойств применяемых для обеспечения требуемых пределов огнестойкости огнезащитных составов. Теоретические исследования Научно-экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко позволили разработать линейку огнезащитных составов, способных обеспечить требуемые пределы огнестойкости строительных конструкций после приложения к ним сейсмических нагрузок, которые прошли огневые и сейсмические испытания и внедрены в серийное производство на одном из предприятий ведущего российского холдинга НПО «Ассоциация КрилаК».

**Ключевые слова:** огнезащита, сейсмостойкость, пожарная сеймика, пожарная безопасность

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-212-213**

Обязательное нормирование таких характеристик пожарной опасности строительных конструкций и материалов, как пределы огнестойкости и классы пожарной опасности, их подтверждение в аккредитованных испытательных лабораториях для дальнейшего применения в строительстве – это внедрённая и отработанная практика, используемая при проектировании и строительстве зданий и сооружений. Основные её положения чётко изложены в Федеральном законе от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Одновременно с этим, объекты строительства в зонах с сейсмичностью 6 и более баллов должны быть спроектированы с учётом сейсмостойкости зданий и сооружений, которая должна быть подтверждена путём проведения соответствующих испытаний строительных конструкций, узлов сопряжения или фрагментов зданий в аккредитованных лабораториях. Требования по сейсмической безопасности изложены в Своде правил СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах».

Научное экспертное бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, понимая важность проблемы обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, в том числе и после сейсмических воздействий, поставило цель разработать линейку огнезащитных составов, способных обеспечить требуемые пределы огнестойкости строительных конструкций после приложения к ним сейсмических нагрузок.

Основным аспектом технического задания на разработку огнезащитных составов для стальных конструкций были:

- безусловное обеспечение основных рабочих характеристик составов, таких

как огнезащитная эффективность (ГОСТ Р 53295-2009 «Средства огнезащитные для стальных конструкций. Метод определения огнезащитной эффективности»);

- повышенные прочностные и адгезионные характеристики огнезащитных покрытий, позволяющие сохранить целостность и структурную неизменяемость после сейсмических воздействий;

- максимальное сохранение огнезащитной эффективности покрытий, прошедших сейсмические испытания в составе строительных конструкций при различных температурных режимах испытаний (стандартный температурный режим, углеводородный и целлюлозный температурные режимы).

Разработанные институтом рецептуры были внедрены в серийное производство на одном из предприятий ведущего российского холдинга НПО «Ассоциация КрилаК», осуществляющего комплексный подход к решению проблем пожарной безопасности. Выпускаемые продукты: огнезащитная краска «Джокер М» и конструктивный огнезащитный состав «Монокот<sup>TM</sup> КрилаК» прошли процедуру обязательного подтверждения соответствия (обязательная сертификация), прошли сейсмические испытания. Дополнительно для огнезащитных покрытий на основе данных составов институтом были проведены оценки огнезащитной эффективности после сейсмических воздействий интенсивностью 9 баллов. По результатам испытаний снижение огнезащитной эффективности покрытий на основе огнезащитных составов «Джокер М» и «Монокот<sup>TM</sup> КрилаК» выявлено не было.

Экспериментальные данные, полученные при проведении этих и других подобных испытаний послужили основой для разработки институтом Стандарта организации по методам испытаний на соответствие требованиям пожарной безопасности строительных конструкций со средствами огнезащиты и систем противопожарной защиты, применяемых в районах с сейсмичностью более 6 баллов.

## **СЕЙСМОИЗОЛЯЦИЯ ЗДАНИЙ И МОСТОВ В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ SEISMIC ISOLATION OF BUILDINGS AND BRIDGES IN THE KYRGYZ REPUBLIC**

### **Апсеметов М.Ч.**

кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры «Автомобильные и железные дороги, мосты и тоннели» Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры имени Н. Исанова. г. Бишкек, Кыргызская Республика [muhtar.ap@mail.ru](mailto:muhtar.ap@mail.ru)

### **Айдаралиев А.Е.**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автомобильные и железные дороги, мосты и тоннели» Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры имени Н. Исанова. г. Бишкек, Кыргызская Республика

### **Осмонканов Н.А.**

старший преподаватель кафедры «Автомобильные и железные дороги, мосты и тоннели» Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры имени Н. Исанова. г. Бишкек, Кыргызская Республика

### **Apsemetov M.Ch.**

Candidate of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobile and Railway Roads, Bridges and Tunnels Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov. Bishkek, Kyrgyz Republic

### **Aidaraliev A.E.**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile and Railway Roads, Bridges and Tunnels Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov. Bishkek, Kyrgyz Republic

### **Osmonkanov N.A.,**

Senior Lecturer at the Department of Automobile and Railway Roads, Bridges and Tunnels Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov. Bishkek, Kyrgyz Republic

**Аннотация.** В докладе рассматривается опыт применения сейсмоизолирующих опор в гражданском и транспортном строительстве в Кыргызской Республике. Рассмотрены преимущества и недостатки этих конструкций.

**Abstract.** The paper considers the experience of using seismic insulating supports in civil and transport construction in the Kyrgyz Republic. The advantages and disadvantages of these designs are considered.

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-214-217**

Началом становления и развития строительной науки в Кыргызской Республике считается период Советской власти после Октябрьской революции 1917 года.

В 1927 г. в Москве основывается Государственный институт сооружений (ГИС), который в 1932 г. реорганизуется в Центральный научно-исследовательский институт промышленных сооружений (ЦНИИПС), который затем в 50-х годах делится на ряд специализированных НИИ. Ведущими учеными, стоящими у истоков совершенствования расчетов строительных конструкций, становятся А.Ф. Лолейт, К.В. Сахновский, Н.С. Стрелецкий, П.Л. Пастернак, А.А. Гвоздев, Ю.М. Иванов, Л.И. Онищик, а в сейсмостойкое строительство огромный вклад внесли такие ученые как И.Л. Корчинский, С.В. Поляков, Я.М. Айзенберг, Л.Ш. Килимник, Т.Ж. Жунусов, А.М. Уздин, Г.С. Шестоперов и многие другие /1,2/.

В середине 30-х годов встал вопрос о создании единых норм антисейсмического строительства вместо временных технических условий, действовавших в отдельных республиках. В качестве таких норм в 1939 г. вышла инструкция Наркомстроя по расчету и проектированию сооружений в сейсмических районах.

В 50-80 годах прошлого века основные НИИ в области строительства находились в ведении Госстроя СССР, такие как, например, Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций им. В.А. Кучеренко (ЦНИИСК), НИИ бетона и железобетона (НИИЖБ), НИИ оснований и подземных сооружений (НИИОПС) и т.д.

В области сейсмостойкого строительства большую роль выполняли и специалисты союзных республик Украины, Грузии, Казахстана, Узбекистана, Кыргызстана, Таджикистана и других республик, территории которых находятся в сейсмических районах.

Развитие науки сейсмостойкого строительства в Кыргызстане неразрывно связано с социалистическими преобразованиями за годы Советской власти. В дореволюционном Кыргызстане не было ни одного высшего учебного заведения и ни одного научно-исследовательского учреждения /3/.

Успешному развитию сейсмостойкого строительства в Кыргызстане способствовало открытие следующих учреждений и учебных заведений: строительного техникума (1930), института культурного строительства (1930), Фрунзенского политехнического института (ФПИ, 1954), института сейсмологии АН Кыргызской ССР (1975), НИИ строительства и архитектуры Госстроя Кыргызской ССР (НИИСА), Кыргызского архитектурно-строительного института (КАСИ, 1992), ныне Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры (КГУСТА, 1998).

В 1969 г. в составе ФПИ была создана Проблемная научно-исследовательская лаборатория сейсмостойкого строительства – ПНИЛСС. Возглавляли эту лабораторию следующие ученые: М.М. Сердюков, Ю.А. Коваль, Б.Г. Пак, А.М. Медетбеков, В.П. Чуднецов, А.Х. Абдужабаров, И. Жакыпбеков, Л.Л. Солдатова, М.И. Исмаилов и др.

Под руководством В.П.Чуднецова и Л.Л.Солдатовой разработаны и внедрены в строительство зданий в г. Фрунзе (ныне Бишкек) сейсмоизолирующие скользящие опоры: в 1981 г. построены трехэтажные кирпичные дома по ул. Мессароша; в 1983 г. – экспериментальный пятиэтажный крупнопанельный дом в микрорайоне Аламедин; в 1985 г. – экспериментальный девятиэтажный крупнопанельный дом 105 серии по улице Иваницына (Т.Ж.Жунусов, Л.Ш.Килимник, М.К.Абдыбалиев и др.); а с 1987 г. – массовое строительство девятиэтажных крупнопанельных домов в 12 микрорайоне. Под руководством В.П.Чуднецова разработаны и внедрены на строительстве мостов

сейсмозолирующие опорные части в Чуйской и Ошской областях республики, которые снижают сейсмические воздействия на мосты (З.Г. Хучбаров, М.Ч. Апсеметов).

В Кыргызской Республике действуют строительные нормы строительства в сейсмических районах СНиП КР 20.02:2018, разработанные взамен главы строительных норм б. СССР СНиП II-7-81\* и некоторыми включениями элементов ЕВРОкода, ориентированные на более высокий уровень обеспечения сохранности зданий при сильных землетрясениях /4/.

Опыт последних сильных и разрушительных землетрясений (Армения, 1988; США, 1989 и 1994; Северный Иран, 1990; Россия, 1995; Япония, 1995; Турция, 1992 и 1999; Греция, 1999; Тайвань 1999 и другие) обуславливает необходимость совершенствования действующих и разработку новых методов обеспечения необходимого уровня надежной защиты сооружений. В настоящее время одним из надежных методов защиты зданий и сооружений является сейсмоизоляция их при сейсмических воздействиях.

Сейсмоизолирующими конструкциями могут быть упругие опорные части, специальные скользящие опорные части, опоры и фундаменты с сейсмоизолирующими скользящими поясами. Они расположены в уровне фундамента зданий или в уровне подферменной плиты и в самой опорной части мостов, которые снижают сейсмические

воздействия на вышележащие конструкции. Решению этой задачи способствует тот факт, что в строительстве начинают использоваться синтетические полимерные материалы: резины, фторопласты, полиуретаны и др. В практике мостостроения широко используются резинометаллические опорные части пролетных строений. При создании скользящих поверхностей в опорных частях и в фундаментах мостов нашел применение полимерный материал фторопласт-4, обладающий рядом уникальных свойств /5/.

Идея сейсмоизоляции сооружений от их оснований зародилась еще в древности. Первые сейсмоизолирующие элементы, обнаруженные при археологических раскопках в Средней Азии, относятся к X веку. В основание стен монументальных сооружений укладывались камышитовые подушки, которые, очевидно, предназначались для выполнения роли амортизаторов во время землетрясения. Аналогичные устройства из мягких прокладок, относящиеся к более позднему периоду найдены и в других местах /6/.

Методам сейсмоизоляции зданий и сооружений были посвящены Международная конференция, состоявшаяся в 1982 г. в Малайзии, ряд докладов на седьмой и восьмой Международных конференциях по сейсмостойкому строительству (состоявшихся в 1980 г. в Турции и в 1984 г. в США соответственно), а также на национальных конференциях разных стран. К настоящему времени в ряде стран мира, например, в Новой Зеландии, Франции, Японии, США, России, Казахстане, Кыргызстане и др. построены здания и сооружения сейсмоизоляцией. В нашей республике мост с сейсмоизолирующими опорными частями был спроектирован в 1975 году проектным институтом «Кыргыздортранспроект» и построен по предложению В.П.Чуднецова. Например, два моста в Италии со скользящими поясами без ущерба перенесли сильные землетрясения в 1976 и 1980 годах.

В докладе рассматриваются существующие здания и мосты с сейсмоизоляцией, которые эксплуатируются в Кыргызской Республике. Обосновываются недостатки и

преимущества этих сейсмоизолирующих конструкций с учетом эксплуатации зданий и мостов в настоящее время. Предлагаются конструкции сейсмоизолирующих опор для повышения надежности работ зданий и мостов при сейсмических воздействиях.

#### **Литература**

1. Савелов И.Г. Очерки истории строительной науки и техники с древнейших времен до наших дней [Текст] / И.Г.Савелов, Е.И.Милехина, И.И. Савелова. Бишкек: 2003. С.258-259.
2. Апсеметов М.Ч. Развитие сейсмостойкого строительства в Кыргызстане, Вестник КГУСТА, №2 (56), Бишкек, 2017. С. 149-153.
3. Савелов И.Г. Очерки истории архитектуры и строительства Кыргызстане. [Текст] / И.Г. Савелов, Е.И. Милехина, И.И. Савелова. Бишкек: Илим, 2001. С. 183-184.
4. СНиП КР 20-02:2018 Сейсмостойкое строительство. Бишкек: 2018. С. 100.
5. Эггерт Х., Гроде Ю., Каушке В. Опорные части в строительстве. Пер. с нем. М.: Транспорт, 1978. 359с.
6. Бачинский Н.М. Антисейсмика в архитектурных памятниках Средней Азии. М.: Наука, 1949. 47 с.
7. Чуднецов В.П. Здания с сейсмоизолирующим скользящим поясом и упругими ограничителями перемещений / В.П. Чуднецов, Л.Л. Солдатова // Сейсм. ст-во: реф. сб. ЦНИИС. Сер. 14. М., 1979. Вып. 5. С. 1–3.

## **РАСЧЕТ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НОВОГО ПАССАЖИРСКОГО ТЕРМИНАЛА МЕЖДУНАРОДНОГО АЭРОПОРТА «СИМФЕРОПОЛЬ» ИМ. И.К. АЙВАЗОВСКОГО**

**Симбиркин В.Н.**

канд. техн. наук, главный инженер ООО «ЕВРОСОФТ» [info@eurosoft.ru](mailto:info@eurosoft.ru)

**Панасенко Ю.В.**

инженер, руководитель группы ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»

**Курнавин В.В.**

инженер, зам. зав. лаб. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»

### **DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-218-219**

В докладе представлены некоторые особенности проверочного расчета строительных конструкций нового здания аэровокзального комплекса международного аэропорта «Симферополь» имени И.К. Айвазовского», введенного в эксплуатацию 16 апреля 2018 г.

Сооружение пассажирского терминала аэропорта «Симферополь» представляет собой четырехэтажное здание с размерами в плане, равными 126м x 252м, и наибольшей высотой 35,4 м.

Конструктивная схема здания образована внутренним железобетонным каркасом и металлическими конструкциями покрытия. Главный фасад и фасад со стороны летного поля представляют собой криволинейный витраж с остеклением, в верхней части фасады имеют заполнение непрозрачными металлическими кассетами. Кровля здания, так же, как и основные фасады, имеет криволинейную форму.

Конструкция здания разделена на несколько блоков деформационными (в т.ч. антисейсмическими) швами. В металлоконструкциях покрытия деформационные швы выполнены только в продольном направлении. В поперечном направлении покрытие выполнено неразрезным, без деления на деформационные швы.

Проверочный расчет несущих строительных конструкций здания выполнен в российском программном комплексе STARK ES (разработчик - ООО «ЕВРОСОФТ, Москва). Общий вид расчетной модели здания показан на рисунке 1.

Согласно действующим строительным нормам [1], при проектировании в сейсмических районах широкого класса зданий и сооружений (в том числе, аэровокзальных комплексов) требуется произвести нелинейный динамический анализ напряженно-деформированного состояния их конструкций при сейсмическом воздействии уровня МРЗ. Расчет следует выполнять, «как правило, во временной области с применением инструментальных или синтезированных акселерограмм сейсмического движения грунта» [1]. Применяемые для расчета акселерограммы были подготовлены при помощи программы «Одиссей». Расчет был проведен с учетом возможности развития в элементах конструкций «неупругих деформаций и локальных хрупких разрушений» [1].

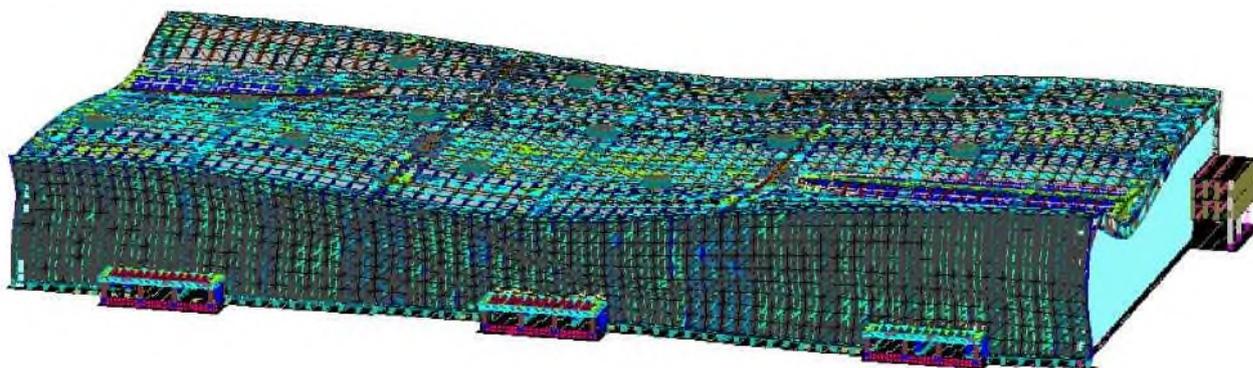


Рисунок 1. Конечно-элементная модель здания терминала

Алгоритм нелинейного динамического расчета, реализованный в программном комплексе STARK ES, подробно описан в статье [2]. Решение поставленной задачи было получено с использованием метода разложения динамической реакции конструкции по формам ее собственных колебаний. При решении задачи определения необходимых собственных форм был произведен учет вклада в динамическую реакцию отброшенных и найденных форм собственных колебаний.

На основании результатов проверочного расчета был представлен ряд рекомендаций по уточнению расчетного напряженно-деформированного состояния несущих металлических конструкций покрытия здания терминала, что в конечном итоге позволило обеспечить требуемую сейсмостойкость объекта в соответствии с [1].

#### Литература

1. СП 14.1330.2014. Строительство в сейсмических районах. СНиП II-7-81\*. М.: Минстрой России. 2014. 125 с.
2. Симбиркин В.Н., Панасенко Ю.В. Упрощенный нелинейный динамический расчет сооружений при сейсмических воздействиях // Строительная механика и расчет сооружений. 2017. № 5 (274). С. 32-36.

## **НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СО СТОХАСТИЧЕСКИМИ И ОРГАНИЗОВАННЫМИ ТРЕЩИНАМИ**

**Митасов Валерий Михайлович**

д-р техн. наук, профессор Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

**Стаценко Наталья Валерьевна**

аспирант каф. ЖБК Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-220-220**

Доклад посвящен вопросу трещинообразования в железобетонных балочных конструкциях без предварительного напряжения. На основании энергетической теории сопротивления железобетона, в рамках которой ранее была решена задача образования стохастической трещины, приведены результаты экспериментальных исследований о ее поведении в процессе затухания колебаний.

Выдвинуты гипотезы «о почти мгновенном образовании первой трещины, о динамическом характере продвижения трещины и об особенностях стабилизации колебаний конструкции с трещиной».

Для исключения или существенного снижения динамики образования стохастической трещины предложена организация нормальных трещин в ходе изготовления конструкций из железобетона и проведены физические эксперименты с железобетонными балками и пустотными плитами с заранее организованными трещинами.

В процессе эксперимента измерения проводили с использованием бесконтактной системы анализа деформированного состояния VIC-3D, лазерного виброметра (Remote Sensing Vibrometer) RSV-150, высокоскоростной видеокамеры PHOTRON FASTCAM SA 2 со скоростью съемки 4000 кадров в секунду, измерительно-вычислительного комплекса МІС-300.

Подтвержден динамический характер образования стохастической трещины, организация трещин при изготовлении конструкций положительно сказалась на параметрах второй группы предельных состояний, фактически выполняет роль внутреннего регулятора НДС.

УДК 699.841

## **ОСОБЕННОСТИ НОВЫХ НОРМ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ В ОБЛАСТИ СЕЙСМОСТОЙКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

### **PARTICULARS OF NEW CODES OF KYRGYZ REPUBLIC IN THE FIELD OF EARTHQUAKE ENGINEERING**

#### **Абдыбалиев М.К.**

генеральный директор ОАО «Промпроект», Бишкек, Кыргызская Республика, [maratprom@mail.ru](mailto:maratprom@mail.ru),

#### **Сыдыков А.Ж.**

директор Государственного института сейсмостойкого строительства и инженерного проектирования Госстроя КР, Бишкек, Кыргызская Республика, [askatbek@mail.ru](mailto:askatbek@mail.ru),

#### **Бегалиев У.Т.**

ректор Международного университета инновационных технологий, президент Международной ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству, Бишкек, Кыргызская Республика, [utbegaliev@mail.ru](mailto:utbegaliev@mail.ru),

#### **Ицков И.Е.**

зав. лабораторией сейсмостойкости зданий повышенной этажности, АО «КазНИИССА», Алматы, Республика Казахстан, [kazniissa@mail.ru](mailto:kazniissa@mail.ru).

#### **Abdybaliev M.K.**

General Director of OJSC «Promproject». Bishkek, Kyrgyz Republic, [maratprom@mail.ru](mailto:maratprom@mail.ru)

#### **Sydykov A.Zh.**

Director of State Institute on Earthquake Engineering and Design under Gosstroy of KR, Bishkek, Kyrgyz Republic, [askatbek@mail.ru](mailto:askatbek@mail.ru)

#### **Begaliev U.T.**

Rector of International University of Innovation Technologies, President of International Association of Experts on Earthquake Engineering, Bishkek, Kyrgyz Republic, [utbegaliev@mail.ru](mailto:utbegaliev@mail.ru)

#### **Itskov I.E.**

Head of laboratory on seismic resistance of tall buildings, JSC «KazNISSA», Almaty, Republic of Kazakhstan, [kazniissa@mail.ru](mailto:kazniissa@mail.ru).

**Аннотация.** Рассмотрены три новых нормативных документа Кыргызской Республики, регламентирующих общие правила проектирования и строительства в сейсмических районах, оценку сейсмостойкости зданий существующей застройки и требования к застройке зон влияния Ысык-Атинского разлома, расположенного на территории города Бишкек.

**Ключевые слова:** сейсмические нормы, проектирование, оценка сейсмостойкости, здания, сейсмостойкое строительство

**Abstract.** The peculiarities of the three new codes of the Kyrgyz Republic on earthquake engineering, assessment of the seismic resistance of existing buildings and design in the zones of influence of the Ysykata fault located in the territory of Bishkek are given.

**Keywords:** seismic codes, design, assessment of the seismic resistance, buildings, earthquake engineering.

**DOI 10.37153/2686-0045-2019-13-221-225**

## **Введение**

В 2018 году по заказу Госстроя Кыргызской Республики были разработаны и введены в действие три нормативных документа в области сейсмостойкого строительства:

- СН КР 20-02:2018 «Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования»
- СН КР 22-01:2018 «Оценка сейсмостойкости зданий существующей застройки»;
- СН КР 31-02:2018 «Проектирование и застройка территорий города Бишкек и сел, примыкающих к Ысык-Атинскому разлому».

Разработчиками новых норм Кыргызской Республики выступили Государственный институт сейсмостойкого строительства и инженерного проектирования Госстроя КР, Международная ассоциация экспертов по сейсмостойкому строительству (МАЭСС), действующими членами которой являются Институт сейсмологии НАН КР (ИС НАН КР), АО «КазНИИСА», КГУСТА им. Н. Исанова, ОАО «Промпроект», МУИТ.

## **Особенности определения сейсмической опасности района и площадки строительства**

Для определения сейсмической опасности районов строительства в СН КР 20-02:2018 включены следующие карты, разработанные и утвержденные Институтом сейсмологии Национальной академии наук КР (д.г.-м.н., проф. Абдрахматов К.Е., к.г.-м.н. Омуралиев М.О., к.г.-м.н. Омуралиева А.М., Захожая И.Г.):

- карта распределения максимальной локальной магнитуды  $M_{LN}$  активных разломов и их сегментов, генерирующих землетрясения Кыргызстана,
- карта пиковых ускорений в скальных грунтах для горизонтальной составляющей сейсмических колебаний на территории Кыргызстана,
- карта интенсивности сотрясений земной поверхности в баллах при вероятных максимальных землетрясениях на территории Кыргызстана.

Указанные выше карты дополнены списком населенных пунктов Кыргызской Республики с указанием сейсмической опасности их территорий в баллах и пиковых ускорениях,

Расчетное значение горизонтального пикового ускорения грунта на площадке строительства  $a_g$ , с учетом ее фактических грунтовых и топографических условий, определяется с помощью выражения:

$$a_g = a_{gR} \cdot S(a_{gR}) \cdot S_T, \quad (1)$$

где  $a_{gR}$  – референтное значение горизонтального пикового ускорения грунта в долях  $g$  на рассматриваемой площадке строительства при грунтах типа IA (скальные грунты), определяемое по карте пиковых ускорений или по списку населенных пунктов;

$S(a_{gR})$  – коэффициент, характеризующий влияние фактических грунтовых условий площадки строительства на интенсивность сейсмических воздействий, определяемый по таблице 1;

$S_T$  – коэффициент, учитывающий топографические эффекты усиления горизонтальных сейсмических воздействий на площадке строительства.

**Таблица 1 – Значения коэффициента  $S(a_{gR})$**

<b>Типы грунтовых условий по сейсмическим свойствам (средние значения скоростей распространения волн <math>v_{s,10}</math> и <math>v_{s,30}</math>, м/с)</b>	<b>Значение коэффициента <math>S(a_{gR})</math> в зависимости от величины <math>a_{gR}</math></b>
IA ( $v_{s,30} \geq 800$ )	1,0
IB ( $v_{s,10} \geq 350$ ; $550 \leq v_{s,30} < 800$ )	$1,0 \leq (1,4 - a_{gR}/g) \leq 1,2$
II ( $230 \leq v_{s,10} < 350$ ; $270 \leq v_{s,30} < 550$ )	$1,1 \leq (2,0 - 2,5 \cdot a_{gR}/g) \leq 1,6$
III ( $v_{s,10} < 230$ ; $v_{s,30} < 270$ )	$1,3 \leq (2,5 - 3,0 \cdot a_{gR}/g) \leq 2,4$

Сейсмические воздействия на площадке строительства характеризуются спектрами реакций в ускорениях. Формы спектров реакций идентичны формам спектров, принятым в нормах Республики Казахстан.

### **Особенности определения расчетных сейсмических нагрузок на здания**

Расчетные сейсмические нагрузки на здания определяются линейно-спектральным методом с учетом:

- спектров, расчетных реакций, характеризующих вертикальные и горизонтальные компоненты сейсмических воздействий;
- классов ответственности здания по функциональному назначению и этажности;
- классификации здания по регулярности в плане и по высоте.

Конструктивные схемы зданий классифицированы по регулярности на три типа – регулярные, умеренно регулярные и чрезмерно регулярные. Принятая классификация зданий по регулярности основывается на совокупности признаков, количественно характеризующих конструктивные системы:

- по особенностям конфигураций в плане и/или по высоте;
- по сбалансированности распределения масс и жесткостей в плане;
- по особенностям распределения масс и жесткостей по высоте;
- по способности перекрытий выполнять функции горизонтальных диафрагм жесткости.

Различия между регулярными, умеренно нерегулярными и чрезмерно нерегулярными конструктивными схемами зданий имеют значение для аспектов проектирования, связанных с определением эффектов расчетных сейсмических воздействий в несущих конструкциях и с выбором значений случайных эксцентриситетов между номинальными и расчетными положениями масс в расчетных моделях зданий.

### **Особенности застройки зоны влияния Ысык-Атинского разлома**

Под зоной влияния Ысык-Атинского разлома понимается территория г. Бишкек, имеющая ширину 3000 м и примыкающая к магистральной линии Ысык-Атинского разлома с двух сторон (по 1500 м с северной и южной сторон).

Территория, примыкающая к разлому, в зависимости от степени пригодности к строительству подразделяется на 5 зон.

В соответствии с положениями СН КР 31-02:2018 «Проектирование и застройка территорий города Бишкек и сел, примыкающих к Ысык-Атинскому разлому», сейсмическую опасность площадок строительства следует определять с использованием

карты расположения магистральной линии Ысык-Атинского разлома, разработанной и утвержденной Институтом сейсмологии НАН КР от 29.11.2018г. (д.г.-м.н., проф. Абдрахматов К.Е., к.г.-м.н. Омуралиев М.О., к.г.-м.н. Омуралиева А.М., Захожая И.Г.).

На карте расположения магистральной линии Ысык-Атинского разлома потенциальная сейсмическая опасность территории, прилегающей к разлому, характеризуется изолиниями со значениями горизонтальных пиковых ускорений 290, 350, 392,4 и 490,5 см/с<sup>2</sup>. Показатели сейсмической интенсивности  $a_{gR}$ , приведенные на карте, относятся к скальным грунтам (тип грунтовых условий IA по СН КР 20-02:2018).

### **Особенности оценки сейсмостойкости зданий существующей застройки**

В соответствии с положениями СН КР 22-01:2018, аналогичными положениям норм Казахстана, оценку сейсмостойкости зданий существующей застройки следует выполнять с учетом фактического состояния их конструкций, выявляемого по результатам анализа проектно-технической документации и материалам детального обследования

Соответствие зданий существующей застройки расчетным требованиям норм по оценке сейсмостойкости устанавливается с помощью коэффициента  $r_s$ , определяемого по формуле:

$$r_s = \frac{C}{D}, \quad (2)$$

где  $C$  – показатель, характеризующий фактическую расчетную несущую способность рассматриваемой конструктивной системы или её элементов;

$D$  – показатель, характеризующий требуемую по действующим нормам расчетную несущую способность рассматриваемой конструктивной системы или её элементов.

В качестве показателей  $C$  и  $D$  могут приниматься:

- величины поэтажных сейсмических нагрузок на здание;
- величины поперечной силы в основании здания или в уровне рассматриваемого этажа;
- величины усилия от сейсмических нагрузок в сечениях конструкций.

Здания существующей застройки следует считать сейсмостойкими, если их конструктивные решения соответствуют обязательным конструктивным требованиям действующих норм, а коэффициент  $r_s$  имеет значение, превышающие указанные в СН КР 22-01:2018. Например, если коэффициент  $r_s$  имеет значение равное 0,8 для образовательных учреждений, 0,5 для жилых и общественных зданий, то обследованные здания считаются сейсмобезопасными.

### **Заключение**

За последние годы в Кыргызской Республике существенно изменены требования строительных норм, регламентирующих правила проектирования в сейсмических районах и оценку сейсмостойкости зданий существующей застройки.

### **Список литературы**

1. Абдрахматов К.Е., Омуралиев М.О., Омуралиева А.М. Новая карта общего сейсмического районирования Кыргызстана для повышения сейсмической безопасности. Вестник Международной ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству, №1/2018(2), Бишкек. 2018.С.13-16.

2. Бржев С., Бегалиев У.Т. Состояние проектирования и конструирования сейсмоусиления зданий в Кыргызской Республике. Наука и инновационные технологии, №1/2019(10), Бишкек. 2019. С.3-19. DOI: 10.33942/sit01

3. Ицков И.Е. Расчетные положения новых норм Республики Казахстан СП РК 2.03-30-2017 «Строительство в сейсмических зонах». Вестник Международной ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству, №1/2018(2), Бишкек. 2018. С.78-81.

4. СН КР 20-02:2018 «Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования», введенные в действие с 01.03.2019 г. приказом Госстроя КР от 31.12.2018 г. №32.

5. СН КР 22-01:2018 «Оценка сейсмостойкости зданий существующей застройки», введенные в действие с 01.03.2019 г. приказом Госстроя КР от 31.12.2018 г. №31.

6. СН КР 31-02:2018 «Проектирование и застройка территорий города Бишкек и сел, примыкающих к Ысык-Атинскому разлому», введенные в действие с 01.03.2019 г. приказом Госстроя КР от 31.12.2018г. №33.

7. Уранова С.К. и др., КНИИПСС (1996). Проектирование зданий и сооружений в сейсмических районах. Бишкек. Кыргызская Республика.