



СЕЙСМОСТОЙКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ

ISSN 2618-9283

DOI 10.37153/2618-9283

EARTHQUAKE ENGINEERING. CONSTRUCTIONS SAFETY

03 2021

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL
www.seismoconstruction.ru



Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений **Научно-технический журнал**

«Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений» – сетевое научно-техническое рецензируемое издание, охватывающее весь спектр вопросов в области проектирования, строительства, эксплуатации объектов в сейсмически опасных районах России и стран СНГ.

Миссия журнала – развитие строительной науки в области сейсмостойкого строительства; публикация материалов и результатов фундаментальных исследований и достижений ученых, специалистов в области надежности и безопасности зданий и сооружений.

В журнале публикуются статьи по следующим научным специальностям и соответствующим им отраслям науки:

2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);

2.1.2 – Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки);

2.8.10 – Охрана труда, промышленная безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях (недропользование);

2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность (технические науки);

1.6.1 – Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика (геолого-минералогические науки);

1.6.7 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение (геолого-минералогические науки).

Включен в утвержденный ВАК Минобрнауки России Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук. В действующем Перечне от 21.04.2021 г. года под номером 2039.

С 24 мая 2021 года журнал входит в Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science. Журнал принимает к публикации: оригинальные статьи, обзоры, дискуссионные материалы, комментарии, рецензии, информационные материалы.

ISSN: 2618-9283 (online) DOI: 10.37153/2618-9283

Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77-72754 от 17.05.2018 года. Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Издатель – Российская Ассоциация по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС) (<http://raee.su>).

Учредитель – А.А. Бубис.

Сайт сетевого издания: <http://seismoconstruction.ru>

Адрес издательства и редакции: 109428, город Москва, ул. 2-я Институтская, дом 6, строение 37.

Телефон: 8-499-174-75-82; 8-499-174-70-65. E-mail: info@raee.su

Периодичность: 6 раз в год

Даты выхода в свет: 25 февраля, 25 апреля, 25 июня, 25 августа, 25 октября, 25 декабря.

Earthquake Engineering. Constructions Safety **Scientific and technical journal**

«Earthquake engineering. Constructions Safety» is a network scientific and technical peer-reviewed publication covering the entire range of issues in the field of design, construction, and operation of facilities in seismically dangerous areas of Russia and the CIS countries.

The mission of the journal is to develop the science of earthquake-resistant construction; to publish materials and results of fundamental research and achievements of scientists in the field of reliability and safety of buildings and structures.

The journal publishes articles on the following scientific specialties and related branches of science:

2.1.1 – Building structures, buildings and structures (technical sciences);

2.1.2 – Foundations, underground structures (technical sciences);

2.8.10 – Labor protection, industrial safety, safety in emergency situations (subsurface use);

2.4.9 – Nuclear power plants, fuel cycle, radiation safety (technical sciences);

1.6.1 – General and regional geology. Geotectonics and geodynamics science (geological and mineralogical sciences);

1.6.7 – Engineering geology, permafrost and soil science (geological and mineralogical sciences).

Included in the List of peer-reviewed scientific publications, where must be published basic scientific results of dissertations on competition of a scientific degree of candidate of Sciences, on competition of a scientific degree of the doctor of Sciences, approved by Supreme Attestation Commission (VAK) of the Ministry of education and science.

In the current List of 21.04.2021 listed under the 2039 position.

Since May 24, 2021 included in the Russian Science Citation Index (RSCI) on the Web of Science platform.

The journal accepts for publication: original articles, reviews, discussion materials, comments, reviews, informational materials.

ISSN: 2618-9283 (online) **DOI:** 10.37153/2618-9283

Certificate of registration EL № FS 77-72754 dated 17.05.2018. Registered by the Federal service for supervision of communications, information technologies and mass communications (Roskomnadzor).

Publisher: Russian Association for earthquake-resistant construction and protection from natural and manmade hazards (RAEE) (<http://raee.su>).

The Founder: A. A. Bubis.

Website of the online publication: <http://seismoconstruction.ru>

Address of the publishing house and editorial office: 109428, Moscow, ul. 2-ya Institut'skaya, house 6, building 37. Phone: 8-499-174-75-82; 8-499-174-70-65. E-mail: info@raee.su

Frequency: 6 times a year. **Release dates:** February 25, April 25, June 25, August 25, October 25, December 25.

Главный редактор

Ведяков И. И., доктор технических наук, профессор (Москва, Российская Федерация)

Заместитель главного редактора

Бубис А. А. (Москва, Российская Федерация)

Ответственный секретарь редколлегии

Смирнова Л. Н., кандидат технических наук (Москва, Российская Федерация)

Редакционная коллегия

Акулов Н.И., доктор геолого-минералогических наук (Иркутск, Российская Федерация)

Алешин А.С., доктор физико-математических наук (Москва, Российская Федерация)

Белаш Т.А., доктор технических наук, профессор (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Вада Акира, доктор, профессор (Токио, Япония)

Вознесенский Е.А., доктор геолого-минералогических наук, профессор (Москва, Российская Федерация)

Гусев Б.В., доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН (Москва, Российская Федерация)

Захаров В.С., доктор геолого-минералогических наук, профессор (Москва, Российская Федерация)

Ильичев В.А., доктор технических наук, профессор, Академик РААСН (Москва, Российская Федерация)

Клементе Паоло, доктор, профессор (Рим, Италия)

Кривцов Ю.В., доктор технических наук, профессор (Москва, Российская Федерация)

Лалин В.А., кандидат технических наук, профессор (Алматы, Республика Казахстан)

Немчинов Ю.И., доктор технических наук, профессор (Киев, Республика Украина)

Норузинежад Фарсанги Исан, доктор, профессор (Керман, Иран)

Павленко О.В., доктор физико-математических наук, (Москва, Российская Федерация)

Римшин В.И., доктор технических наук, профессор (Москва, Российская Федерация)

Севостьянов В.В., кандидат геолого-минералогических наук (Москва, Российская Федерация)

Семенов В.А., доктор технических наук, профессор (Москва, Российская Федерация)

Тонких Г.П., доктор технических наук, профессор (Москва, Российская Федерация)

Уздин А.М., доктор технических наук, профессор
(Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Хакимов Ш.А., кандидат технических наук, профессор (Ташкент,
Республика Узбекистан)

Хачиян Э.Е., доктор технических наук, профессор (Ереван, Республика
Армения)

Чеверев В.Г., доктор геолого-минералогических наук, профессор (Москва,
Российская Федерация)

Чимелларо Жан Паоло, адъюнкт-профессор (Турин, Италия)

Эмри И., доктор, профессор (Любляна, Республика Словения)

«*EARTHQUAKE ENGINEERING. CONSTRUCTIONS SAFETY*»

Editor-in-Chief

Vedyakov I.I., DSc, Professor, (Moscow, Russian Federation)

Deputy editor-in-Chief

Bubis A.A., (Moscow, Russian Federation)

Executive Secretary

Smirnova L.N., PhD (Moscow, Russian Federation)

Editorial board

Akulov N.I., DSc in Geology, Professor (Irkutsk, Russian Federation)

Aleshin A.S., DSc in Mathematics and Physics, Professor (Moscow, Russian Federation)

Belash T.A., DSc, Professor (Saint-Petersburg, Russian Federation)

Wada Akira, PhD, Professor Emeritus (Tokyo, Japan)

Voznesenskii E.A., DSc in Geology, Professor
(Moscow, Russian Federation)

Gusev B.V., DSc, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

Zakharov V.S., DSc in Geology, Professor (Moscow, Russian Federation)

Il'ichev V.A., DSc, Professor, Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russian Federation)

Clemente Paolo, PhD, Professor (Rome, Italy)

Krivtsov Yu.V., DSc, Professor (Moscow, Russian Federation)

Lapin V.A., PhD, Professor (Almaty, Republic of Kazakhstan)

Nemchinov Yu.I., DSc, Professor (Kiev, Ukraine)

Noroozinejad Farsangi Ehsan, PhD of Civil Engineering, Professor (Kerman, Iran)

Pavlenko O.V., DSc in Mathematics and Physics
(Moscow, Russian Federation)

Rimshin V.I., DSc, Professor (Moscow, Russian Federation)

Sevost'yanov V.V., PhD in Geology, Professor
(Moscow, Russian Federation)

Semenov V.A., DSc, Professor (Moscow, Russian Federation)

Tonkikh G.P., DSc, Professor (Moscow, Russian Federation)

Uzdin A.M., DSc, Professor (Saint-Petersburg, Russian Federation)

Khakimov Sh., PhD, Professor (Tashkent, Republic of Uzbekistan)

Khachiyan E.E., DSc, Professor (Yerevan, Republic of Armenia)

Cheverev V.G., DSc in Geology, Professor (Moscow, Russian Federation)

Cimellaro Gian Paolo, Associate Professor (Turin, Italy)

Emri Igor, PhD, Professor (Ljubljana, Republic of Slovenia)

СОДЕРЖАНИЕ

№ 3 – 2021

Сейсмическое районирование

Алешин А.С. 8
Антиврезонансные явления в сейсмическом микрорайонировании

Теоретические и экспериментальные исследования

Харланова С.В., Харланов В.Л. 19
Применение вейвлет-преобразования в фильтрации шума реальных акселерограмм землетрясений

Митрович Б. 61
Оценка устойчивости монолитных железобетонных несущих систем к прогрессирующему обрушению на основе принципа уровня допускаемых повреждений

Сейсмозащита и сейсмоизоляция зданий и сооружений

Габиров Ф.Г., Шокбаров Е.М., Габирова Л.Ф. 28
Использование утилизированных покрышек для сейсмозащиты сооружений

Белаш Т.А., Ерохина Е.Д. с 41
Повышение сейсмостойкости эксплуатируемых зданий с использованием специальных методов сейсмозащиты

Мониторинг и паспортизация зданий и сооружений

Лалин В.А., Алдахов Е.С., Алдахов С.Д., Али А.Б. 49
Вероятностная оценка величин надежности для каркасных зданий по результатам паспортизации с учетом тектонических разломов

Фото обложки номера: Як провалился в разлом во время землетрясения магнитудой 7.3 в Тибете (Провинция Амдо, район Матон). Фото snowliontours.com
Благодарим за предоставленную фотографию.

CONTENTS

№ 3 – 2021

<i>Seismic zoning</i>	
Aleshin A.S.	8
The antiresonance phenomena in seismic microzonation	
<i>Theoretical and Experimental Studies</i>	
Kharlanova S.V., Kharlanov V.L.	19
Application of the wavelet transform in filtering the noise of real earthquake accelerograms	
Mitrovic B.	61
Assessment of the resistance of monolithic reinforced concrete bearing systems to progressive collapse based on the principle of the level of permissible damage	
<i>Seismic protection and seismic isolation of buildings and structures</i>	
Gabibov F.G., Shokbarov E.M., Habibova L.F.	28
Use of recycled tires for earthquake protection of structures	
Belash T.A., Erokhina E.D.	
Increasing the seismic resistance of operated buildings using special seismic protection methods	41
<i>Monitoring and certification of seismic constructions</i>	
Lapin V.A., Aldakhov E.S., Aldakhov S.D., Ali A.B	49
Probabilistic estimation of reliability values for frame buildings based on the results of certification taking into account tectonic faults	

Cover photo of the issue: Yak fell into a fault during a 7.3 magnitude earthquake in Tibet (Amdo Province, Matoi District). Photo of snowliontours.com
We thank for the photo provided.



Ковальчук Олег Александрович
7.04.1964-3.07.2021

С глубокой скорбью сообщаем, что 3 июля 2021 года ушёл из жизни директор Института фундаментального образования НИУ МГСУ, доцент, кандидат технических наук Олег Александрович Ковальчук. Вся жизнь Олега Александровича была связана со строительным образованием и наукой. В 1986 году он с отличием окончил факультет «Промышленное и гражданское строительство» (ПГС) Куйбышевского инженерно-строительного института, поступил в аспирантуру Московского инженерно-строительного института (МИСИ) им. В.В. Куйбышева, в течение многих лет возглавлял студенческую профсоюзную организацию университета, трудился в должностях заместителя декана факультета ПГС, заместителя проректора, а с 2009 года Олег Александрович руководил Институтом фундаментального образования МГСУ, успешно совмещая эту работу с преподаванием на разных кафедрах.

За свою научную и общественную деятельность Олег Александрович был награждён почётными грамотами Министерства образования и науки Российской Федерации, Московской городской организации Профсоюза работников народного образования Российской Федерации, медалями «За заслуги в строительном образовании и науке» I, II и III степеней, почётными званиями «Почётный работник высшего профессионального образования Российской Федерации» и «Почётный строитель России». Редколлегия журнала «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений» скорбит об утрате и выражает искренние соболезнования родным и близким.

Светлая память об Олеге Александровиче Ковальчуке навсегда останется в наших сердцах.



Севостьянов Василий Всеволодович
19.01.1949-3.07.2021

3 июля 2021 г. после продолжительной болезни скончался Севостьянов Василий Всеволодович.

Василий Всеволодович в 1972 г. окончил геологический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова и с 1972 по 2005 г. работал в ПНИИИСе Госстроя России в должностях от младшего научного сотрудника до заместителя директора института; в 1978 г. защитил диссертацию «Строение лессовых пород, его формирование и инженерно-геологическое значение» на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. В 2005 г. перешел на работу в ИГЭ РАН, где возглавил лабораторию инженерной геофизики и сейсмического микрорайонирования в должности ее заведующего. Область его научных интересов заключалась в разработке теоретических и методических основ оценки свойств горных пород геофизическими методами, в изучении взаимосвязи между геофизическими характеристиками и геотехническими свойствами пород; в исследовании физических основ сейсмического микрорайонирования и усовершенствовании методики его выполнения в сложных природных условиях для объектов различного назначения. Всего им лично и в соавторстве опубликовано более 120 печатных работ в зарубежных и отечественных рецензируемых научных журналах.

В.В. Севостьянов являлся известным специалистом в области инженерной сейсмологии, пользовался авторитетом и уважением сотрудников и специалистов, имел звания «Ветерана Труда» и «Почетный строитель России».

Светлая память о Василии Всеволодовиче останется в сердцах всех, кто его знал.

Скорбим вместе с Вами

УДК 550.34

DOI [10.37153/2618-9283-2021-3-8-18](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-8-18)

Сейсмическое районирование

Антирезонансные явления в сейсмическом микрорайонировании

Алешин А.С.¹

¹Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. Москва, Российская Федерация

Аннотация: Интерференция падающих и отраженных сейсмических волн в грунтовом массиве вблизи дневной поверхности является причиной возникновения резонансных эффектов. В практике сейсмического микрорайонирования (СМР) особое значение имеет резонансное увеличение суммарной сейсмической интенсивности. Вместе с тем при наличии инверсных слоев в толще грунта интерференция приводит к уменьшению интенсивности суммарного сейсмического воздействия, что естественно назвать антирезонансом. В статье рассмотрены условия возникновения антирезонанса и оценены пределы его эффективности. Особо отмечены природные и техногенные причины проявления антирезонанса и возможности использования его для уменьшения интенсивности сейсмических воздействий.

Ключевые слова: антирезонансный эффект, инверсный слой, техногенное и природное изменение свойств грунтового массива

Для цитирования: Алешин А.С. Антирезонансные явления в сейсмическом микрорайонировании // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2021. № 3. С. 8-18.

DOI: [10.37153/2618-9283-2021-3-8-18](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-8-18)

Seismic zoning

The antiresonance phenomena in seismic microzonation

Aleshin Alexander S.¹

¹Schmidt Institute of Physics of the Earth, The Russian Academy of Sciences (IPE RAS).
Moscow, Russian Federation

Abstract: The interference of incident and reflected seismic waves in the ground massif near the day surface is the cause of resonant effects. In the practice of seismic microzonation (SMZ), a resonant increase in the total seismic intensity is of particular importance. At the same time, the presence of inverse layers in the ground layers interference leads to a decrease in the intensity of the total seismic impact, what is naturally named antiresonance. The article considers the conditions for the occurrence of antiresonance and evaluates the limits of its effectiveness. The natural and man-made causes of antiresonance and the possibility of using it to reduce the intensity of seismic impacts are particularly noted.

Keywords: antiresonance effect, inverse layer, technogenic and natural changes in the properties of the soil mass

@ А.С.Алешин, 2021

For citation: Aleshin A.S. The antiresonance phenomena in seismic microzonation. *Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Constructions safety*. 2021, no. 3, pp. 8-18. (In Russian)

DOI: [10.37153/2618-9283-2021-3-8-18](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-8-18)

Введение

Резонансные явления играют существенную роль в сейсмическом микрорайонировании. В одной из предыдущих статей было показано, что вклад резонансных явлений в суммарное приращение сейсмической интенсивности в экстремальных условиях имеет наибольшее значение среди прочих факторов инженерно-геологической обстановки [1]. Вместе с тем при обработке данных СМР в ряде случаев было отмечено уменьшение амплитуды сейсмических колебаний после прохождения слоистой толщи [2]. Это явление естественно обозначить термином «антирезонанс». Антирезонанс в механических системах подробно рассмотрен в ряде работ [3,4]. По-видимому, с явлением антирезонанса можно связать уменьшение сейсмических колебаний с использованием систем виброизоляции [5,6]. Однако опубликованных работ по учету антирезонансных явлений в сейсмическом микрорайонировании (СМР) нами не встречено. Данная статья посвящена более внимательному рассмотрению этой проблемы.

Методика исследований

Исследование антирезонансных явлений в данной статье основано на компьютерном моделировании. В самом общем виде модель сейсмогрунтовых условий определяется набором параметров – скоростью поперечных волн, плотностью, мощностью, константами поглощения и нелинейности каждого слоя, входящего в грунтовую толщу определенной суммарной мощности.

Грунт, как правило, представляет собой слоистую среду, свойства слоев которой различаются порой довольно заметно. Потому свойства слоистой сейсмической среды принято характеризовать величинами средних плотностей и средних скоростей поперечных волн, определяемых по формулам: $\rho_{ср.} = \sum \rho_i h_i / \sum h_i$; $V_{ср.} = \sum h_i / \sum (h_i / V_i)$ и средней сейсмической жесткостью $R_{ср.} = \rho_{ср.} \cdot V_{ср.}$.

В работе [7] было показано, что использование сейсмической жесткости в качестве характеристики свойств грунта более адекватно, чем значения средних (для 30-метровой толщи) скоростей $V_{s,30}$, соответствует результатам моделирования и, следовательно, должно быть положено в основу грунтовой классификации.

Предлагается все разнообразие локальных сейсмогрунтовых условий на исследуемой территории разделить на некоторое количество типовых моделей. Наиболее частым случаем, встречающимся в природе, является модель с постоянными значениями скоростей и плотностей в каждом слое, причем скорость и плотность слоев увеличивается с глубиной. Такой тип грунтового разреза естественно назвать «нормальным». Причиной роста сейсмической жесткости в литологически однородных слоях с глубиной является консолидация пород Земли под влиянием процессов метаморфизма и геостатического нагружения.

В противоположность такому «нормальному» закону изменения сейсмической жесткости с глубиной в ряде случаев существуют так называемые инверсные разрезы, в которых сейсмическая жесткость в нижележащих слоях характеризуется более низкими значениями, чем в вышележащих слоях.

Пример нормального и инверсного сейсмических разрезов приведен на рис. 1.

При моделировании задач СМР используются различные расчетные методики, позволяющие получать спектральные характеристики грунтовых толщ, и акселерограммы на свободной поверхности или во внутренних точках слоистой слабо поглощающей среды при падении на ее подошву под произвольным углом из нижнего полупространства продольной или поперечной упругой плоской волны. При заданных параметрах каждого слоя (скорости упругих волн, плотности и мощности слоя) скорости смещений и напряжения при переходе через границы раздела слоев могут быть выражены системой линейных уравнений, которая может быть представлена в матричном виде.

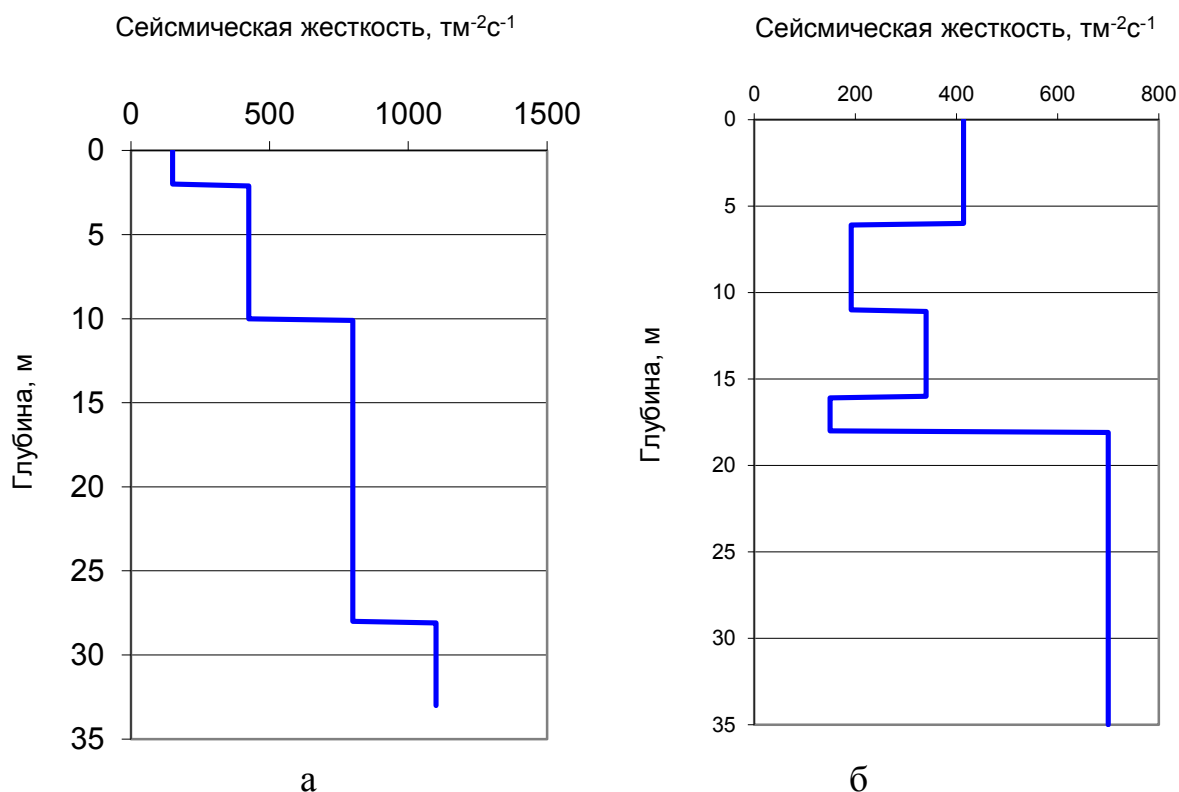


Рисунок 1 – Пример нормального (а) и инверсного (б) сейсмических разрезов

Figure 1 – Example of normal (a) and inverse (b) seismic sections

Из компьютерных программ, выполняющих расчеты отклика слоистой упругой среды на сейсмические воздействия на основе матричного метода наибольшее распространение получила программа *NERA* [8], предназначенная для расчета влияния слоистой грунтовой толщи на динамические характеристики сейсмических колебаний, источник которых находится в полупространстве, на поверхности грунта или в любом из слоев грунтовой толщи. Моделировалось одномерное (вертикальное) распространение волн в предположении, что слои грунтовой толщи залегают горизонтально. Расчеты могут проводиться как в линейном приближении, т.е. в предположении пропорциональности напряжений и деформаций, так и в нелинейном приближении на основе модели, учитывающей механизм нелинейного поведения грунтов при сильных сейсмических воздействиях. Входное воздействие задается в цифровом виде акселерограммой. Шаг квантования по времени Δt может изменяться, в соответствии с чем меняется длительность обрабатываемого процесса. Таким образом, общая длительность входной сейсмограммы может меняться в весьма широких пределах. Заданное сейсмическое

воздействие можно масштабировать по амплитуде. Скоростной разрез задается системой плоскопараллельных слоев, для каждого из которых задается значение мощности, плотности ρ и скорости V_s . Для каждого слоя задается также тип грунта – песчаный, глинистый, гравелистый или скальный. Соответственно с типом грунта в программе автоматически назначается специфическое поглощение и кривая нелинейной связи между напряжением и деформацией. На этом ввод исходных данных заканчивается. Вычислительная процедура программы *NERA* устроена на базе программы электронных таблиц *Excel*.

Важным методическим приемом компьютерного моделирования является возбуждение колебаний в модели с использованием короткого импульса длительностью один отсчет по времени. Практически столбик значений акселерограммы заменяется столбиком нулевых значений с единственным ненулевым значением, равным PGA, соответствующего сейсмического события. При моделировании линейных процессов это значение не должно превышать некоего порога, например, $0,1g$. Преимуществом такого способа возбуждения является то, что в спектре входного воздействия присутствуют «все» частоты: при частоте квантования по времени $0,02$ с все частоты ниже 50 Гц. С другой стороны возбуждение стандартным коротким импульсом позволяет получить частотную характеристику, свободную от особенностей спектра возбуждающего импульса и целиком определяемую параметрами грунтового массива.

Выходные данные *NERA* включают выдачу следующих сведений: импульсной реакции системы в виде спектральных характеристик или соответствующих акселерограмм. Помимо этих «стандартных» выходных данных имеется возможность получать коэффициенты динамичности – спектры реакции, нормированные на значения при «нулевом» периоде (или на высоких частотах сейсмического диапазона).

Для оценки интенсивности резонансных эффектов особое значение приобретает правильный выбор нулевой, реперной точки, относительно которой можно оценивать знак и степень проявления резонансов. С этой целью необходимо установить возможные эффекты для модели, в которой резонансные эффекты должны заведомо отсутствовать. Модель, соответствующая указанным условиям представлена слоем на полупространстве с совпадающими параметрами. Спектральная характеристика «безрезонансной» модели b приведена на рис.2. Вариации параметров «безрезонансной» модели показали, что разброс значений максимума коэффициента динамичности b лежит в пределах $1,8 - 2,0$. Относительно терминологии условимся считать, что резонанс имеет место при $b > 2,0$, а антирезонансу соответствует $b < 1,8$.

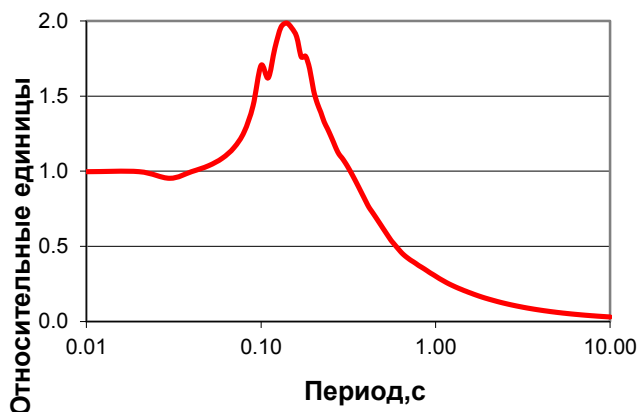


Рисунок 2 – Коэффициент динамичности модели «без резонанса»

Figure 2 – Dynamic coefficient of the "no resonance" model

Результаты моделирования

Рассмотрение результатов моделирования начнем с рассмотрения двух примеров – нормальной и инверсной моделей, приведенных на рис.3 и рис.4. Как видно из приведенных рисунков, максимумы коэффициентов нормального и инверсного сейсмических разрезов заметно различаются: для нормального $b = 2,7$, а для инверсного – $b < 1,7$. Таким образом, в последнем случае мы имеем дело с антирезонансом. Однако наличие инверсного разреза отнюдь не гарантирует наличие антирезонансных явлений, что показывает следующий пример, приведенный на рис.5.

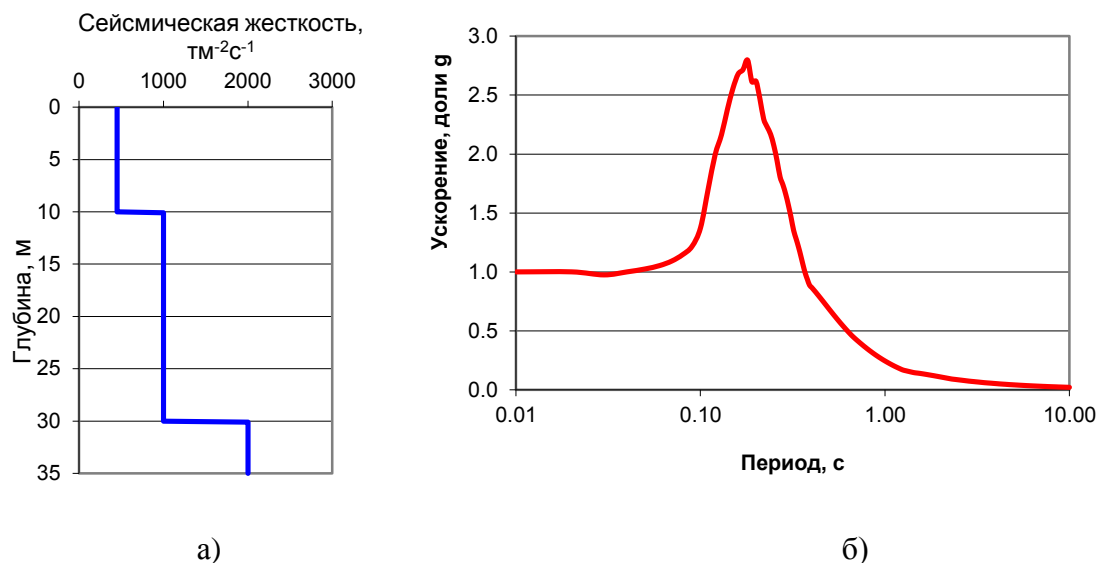


Рисунок 3 – Нормальный сейсмический разрез (а) и его коэффициент динамичности (б)

Figure 3 – The normal seismic section (a) and its dynamic coefficient (b)

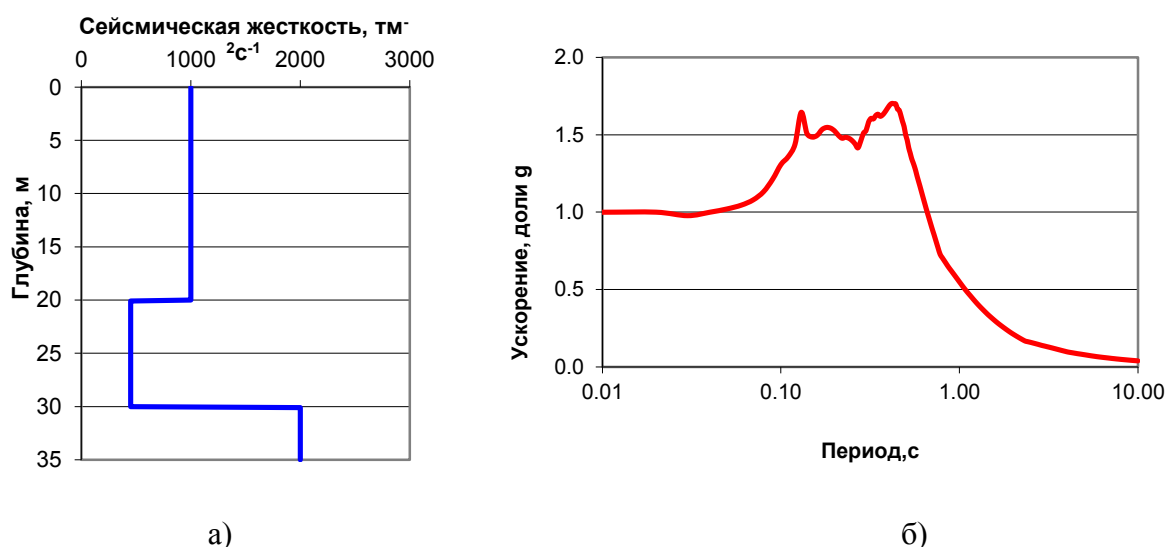


Рисунок 4 – Инверсный сейсмический разрез (а) и его коэффициент динамичности (б)

Figure 4 – The inverse seismic section (a) and its dynamic coefficient (b)

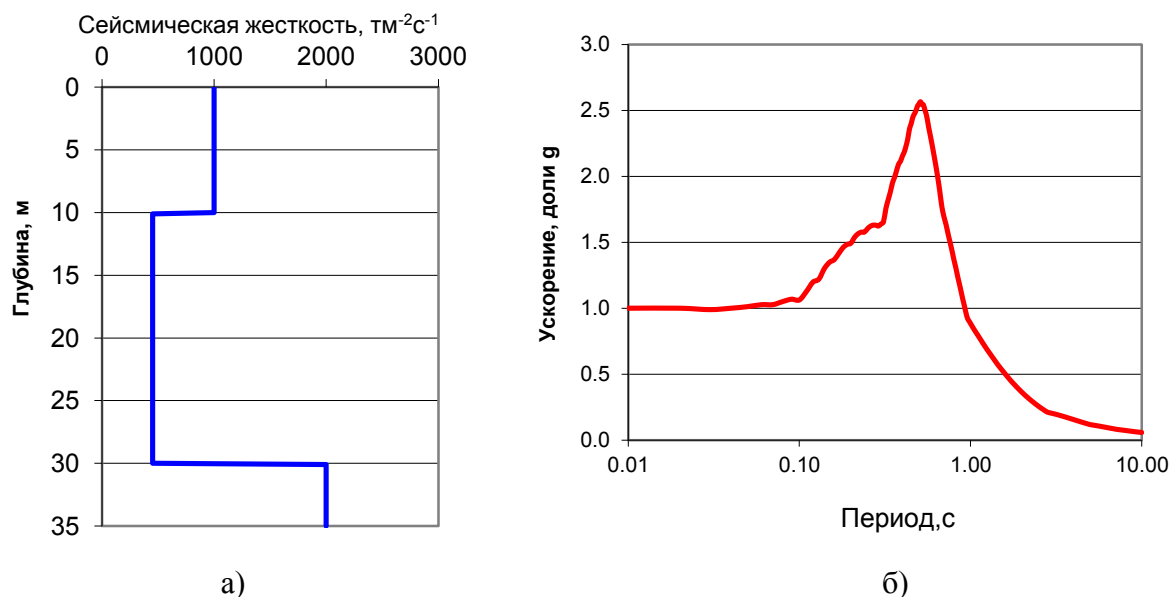


Рисунок 5 – Отсутствие антирезонанса (б) при наличии инверсного разреза (а)

Figure 5 – Absence of antiresonance (b) in the presence of an inverse section (a)

Серия модельных экспериментов показала, что резонанс возможен при выполнении следующих условий: $h_2 \geq h_1$; $R_2 \geq R_1$, где индексы 1 и 2 относятся соответственно к верхнему и нижнему слою. В противном случае, в той или иной мере имеют место условия существования антирезонанса. Рисунки 6-7 иллюстрируют выполнение указанных условий. Сначала рассмотрим «пограничный» вариант: $h_1=h_2=15$ м и $R_1=R_2$, что должно соответствовать наличию резонанса. Что это, действительно, так, показывает рис.6. Максимум коэффициента динамичности пусть незначительного, но превышает значение 2,0.

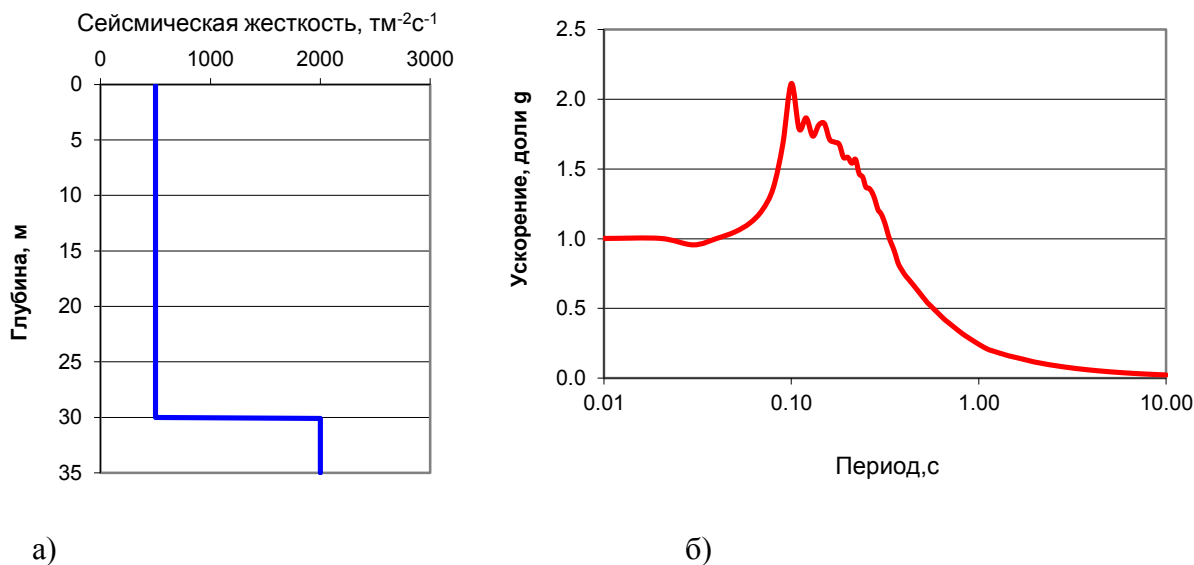


Рисунок 6 – Сейсмический разрез (а) и его коэффициент динамичности (б) при $h_1 = h_2$ и $R_1=R_2$

Figure 6 – Seismic cross-section (a) and its dynamic coefficient (b) by $h_1 = h_2$; $R_1=R_2$

С другой стороны, любое нарушение указанных условий должно вызывать признаки антирезонанса. Вид коэффициента динамичности при незначительном изменении сейсмической жесткости слоев показан на рис.7. Как видно из рис.7, максимум коэффициента динамичности $b = 1.7$, что соответствует условию антирезонанса.

В заключение этого раздела отметим, что все приведенные примеры моделирования явления антирезонанса показывают, что максимальный эффект, оцениваемый максимумом коэффициента динамичности, не выходит за пределы значений $b \geq 1.6$.

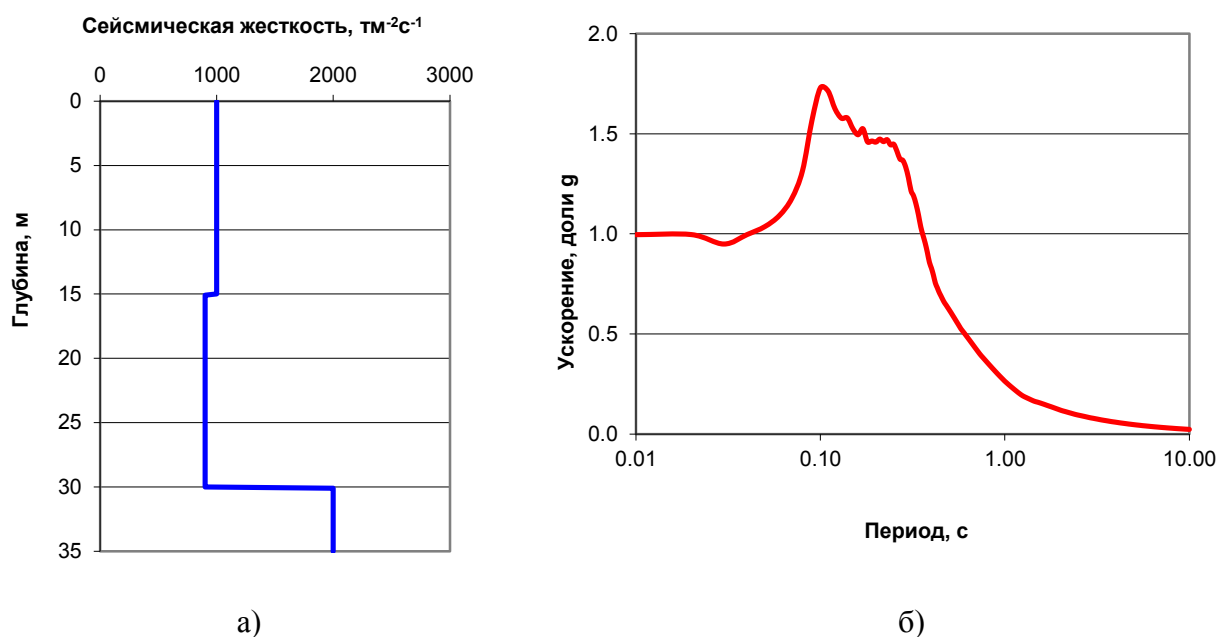


Рисунок 7 – Сейсмический разрез на площадке г. Сочи (а) и его коэффициент динамичности (б)

Figure 7 – Seismic cross-section on the site of Sochi (a) and its dynamic coefficient (b)

Область возможного применения

В этом разделе мы рассмотрим две возможности практического применения обнаруженного эффекта. Одна из них связана с природными причинами возникновения антирезонансных свойств в грунтовой толще. Выше было показано, что антирезонанс имеет место в случае, когда в грунтовом массиве встречаются инверсные слои. Возникает вопрос, насколько типичным является такое строение грунтовой толщи? Может быть оно настолько редко, что и учитывать его не стоит? При ответе на этот вопрос следует учесть, что традиционно наиболее распространенным методом сейсморазведочного изучения свойств грунтов является метод преломленных волн, что даже закреплено в соответствующих нормативных документах [9,10]. При этом надо иметь в виду, что методика с использованием преломленных волн принципиально непригодна для выделения инверсных слоев. Как альтернатива методу преломленных волн предлагается использование при инженерных изысканиях для целей сейсмического микрорайонирования скважинных методов – сейсмического каротажа и вертикального сейсмического профилирования. Целый ряд успешных реализаций данных предложений указывают на существенную роль инверсных слоев при изучении сейсмических свойств

грунтовой толщи. В качестве примера приведем на рис. 8 данные инженерных изысканий на площадке строительства одной из московских высоток.

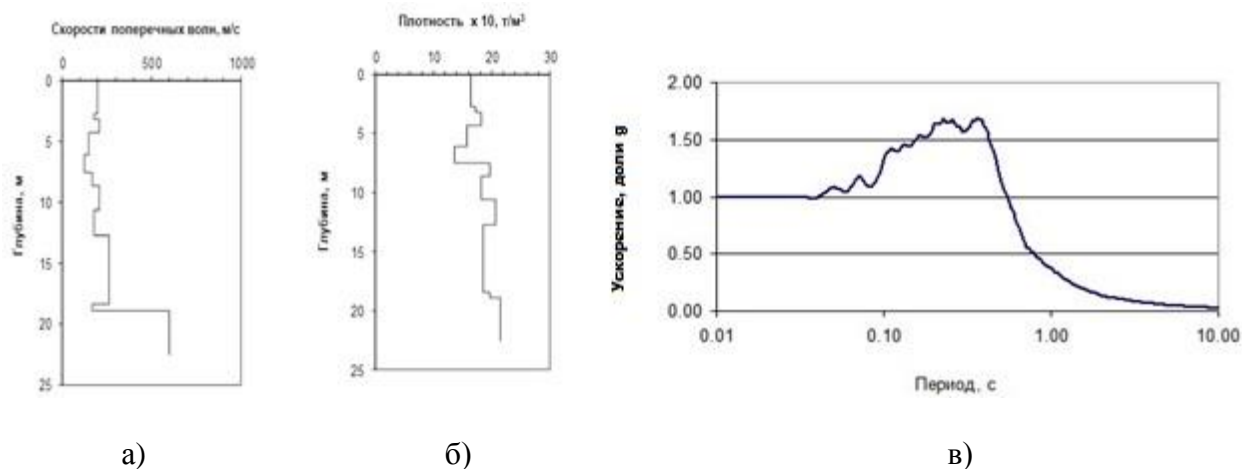


Рисунок 8 – Скоростной (а) и плотностной (б) разрезы грунта и его коэффициент динамичности (в)

Figure 8 – Velocity (f) and density (b) sections and its dynamic coefficient (c)

Очевидно, что максимум коэффициента динамичности оценивается величиной около 1,6.

Наличие инверсных слоев в грунтовом массиве может быть вызвано целым рядом причин. Например, достаточно мощный слой текучих илов в пойме реки, как это имеет место в Калининграде, или слой песков, перекрытый слоем гравийно-галечниковых пород, в Сочи. Во всех этих случаях имеет место проявление антирезонанса. Причем, казалось бы, относительно небольшое изменение параметров сейсмических моделей приводит к значительному изменению параметров сейсмических воздействий за счет исключения возможности проявления резонансов. Проиллюстрируем сказанное модельным примером, показанным на рис.9. Здесь приведены результаты инженерных изысканий, целью которых было выбрать расположение школьного здания в районе г. Сочи. Модели грунтов **M1** и **M2**, по которым рассчитывались спектры реакции, были основаны на данных скважин, пробуренных на сравнительно небольшом удалении друг от друга. Параметры моделей 30-метровой толщи грунтового массива, различающиеся только толщиной слоя галечников (что характерно для дельтовых отложений р. Мзымта), подстилаемого мощным слоем песков, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры сейсмических моделей грунтов в районе г. Сочи

Table 1 – Parameters of seismic models of soils in the area of Sochi

Описание слоя	Плотность, т/м ³	Скорость Vs, м/с	Мощность h, м	
			M1	M2
Галечники	2,1	350	16	8
Пески	1,9	230	14	22
Аргиллиты	2,5	800	∞	

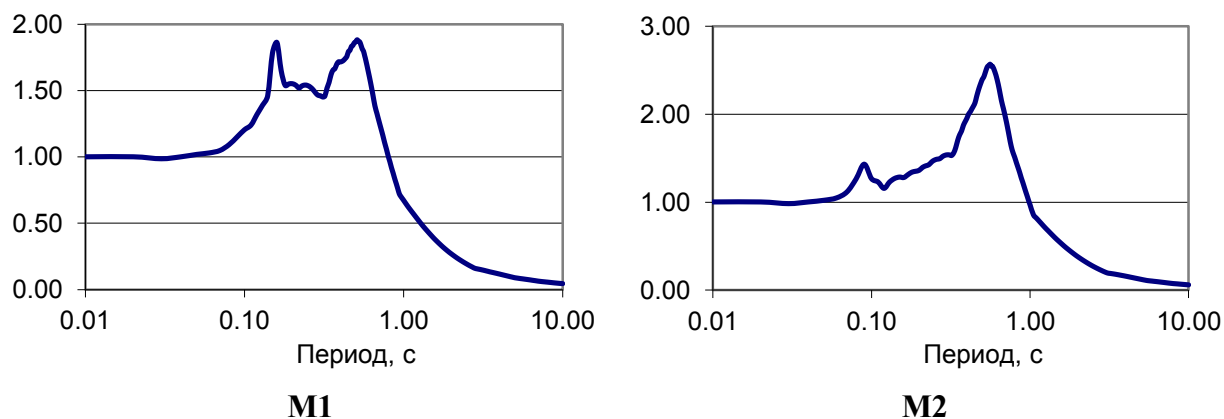


Рисунок 9 – Коэффициенты динамичности моделей грунта г. Сочи

Figure 9 – The dynamic coefficients of ground models of Sochi city

Можно привести другие примеры грунтовых условий, при которых возможно проявление антирезонансных эффектов. Например, участки распространения траптовых отложений или места распространения многолетнемерзлых пород. И в том и другом случае вышележащие слои отличаются от подстилающих их слоев и характеризуются более высокими значениями сейсмической жесткости, что является предпосылкой возникновения антирезонансных эффектов. Частично сказанное подтверждают результаты геокриологических наблюдений в скважинах, пробуренных в толще мерзлых пород на побережье Карского моря [11]. Однако в какой мере отмеченные сейсмогеологические условия сказываются на результатах сейсмического микрорайонирования до постановки и проведения целенаправленных экспериментов на указанных объектах полностью оценить достаточно трудно.

Другая область применения антирезонансных эффектов связана с возможностью техногенного изменения свойств грунтового массива. Такая возможность может быть реализована различными техническими способами. Один из них – это усиление грунтов основания сооружения с помощью внедрения щебеночных или бетонных свай. Особенно эффективно в случае значительной мощности (свыше 30 м) дисперсных грунтов с невысокой сейсмической жесткостью. Поскольку сейсмическая жесткость материала свай превышает сейсмическую жесткость грунтового массива, средняя сейсмическая жесткость усиленного грунта будет заметно выше аналогичной характеристики неизмененного грунта. Глубина погружения свай определяется в соответствии с выведенным выше условием: $h > 30-h$, что должно обеспечить выполнение условий возникновения антирезонанса и тем самым понизить уровень сейсмических воздействий. Такой способ был, в частности, использован при сооружении мостового перехода через Керченский пролив в районе косы Тузла.

Другой технический способ повышения сейсмической жесткости грунтового массива может быть связан с технологией способа «Геокомпозит», при котором в природный грунтовый массив под давлением закачивается цементный раствор. Образующиеся при инжектировании включения раствора в процессе нагнетания распространяются в стороны от инжектора на определенные расстояния и расширяются за счет увеличения объема поступающего раствора, что приводит к формированию вокруг инжектора при твердении раствора жесткого армирующего каркаса [12].

Практическая проверка высказанных здесь предложений может составить содержание последующих работ по сейсмическому микрорайонированию на площадках

строительства зданий и сооружений, основания которых расположены на территориях распространения слабых грунтов.

Заключение

Резонансные явления в грунтовой толще при проведении СМР зачастую являются причиной повышения интенсивности сейсмических воздействий. В данной работе установлены причины противоположного явления снижения интенсивности сейсмических воздействий вследствие интерференционных сейсмических процессов в грунтовой массе, что названо антирезонансом. Установлен критерий этого явления – наличие в грунтовой массе инверсных слоев достаточной мощности. Приведены примеры антирезонанса в практике СМР и определены границы эффекта. Вместе с тем, указано на возможность искусственного создания антирезонансного эффекта с помощью техногенного изменения свойств грунтовой массы.

Литература

1. Алешин А.С. О динамическом диапазоне сейсмического микрорайонирования // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. №3. С.10-16.
2. Алешин А.С. О спектральных характеристиках грунтовой толщ // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. №5. С.16-23.
3. Вибрации в технике. Т.1. Москва: Машиностроение. 1978. 352 с.
4. Ольсон Г. Динамические аналогии. М.: Государственное издательство иностранной литературы. 1947. 224 с.
5. Савинов О.А. Сейсмоизоляция сооружений (концепция, принципы устройства, особенности расчета) // Динамические проблемы строительной техники. СПб.1993. С. 155-178.
6. Айзенберг Я.М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. М.: Стройиздат. 1976.
7. Алешин А.С. О достоинствах и недостатках классификации грунтов NEHRP // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2021. №1. С.49-66.
8. Bardet J.P. and Tobita T. NERA. A Computer Program for Nonlinear Earthquake Site Response Analyses of Layered Soil Deposits. University of Southern California. Department of Civil Engineering, April, 2001, p. 44.
9. Республиканские строительные нормы. РСН- 66-87. М.: Стройиздат. 1987.
10. Республиканские строительные нормы. РСН- 65-87. М.: Стройиздат. 1987.
11. Царев А.М., Садуртдинов М.Р., Скворцов А.Г. и др. Использование волновых геофизических методов для изучения геокриологических условий на стационаре «Марре-Сале» // Десятая полярная конференция «Современные тенденции природных процессов в полярных областях Земли и перспективы российских полярных исследований», 6-8 октября 2014, Сочи, Россия, с.94-95.
12. Осипов В.И., Филимонов С.Д. Уплотнение и армирование слабых грунтов методом «Геокомпозит» // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2002. №5. С.15-21.

References

1. Aleshin A.S. About Dynamic range of SMZ. Earthquake engineering. Constructions safety. 2019, no.3, pp.16-22. (In Russian).
2. Aleshin A.S. On the spectral characteristics of the soil massif. Earthquake engineering. Constructions safety. 2018, no.5, pp.16-22. (In Russian).

3. The vibration in technic. Handbook.V.1, Mashinostroenie publishing house, 1978, 352 p. (In Russian).
4. Olson H. Dynamic analogies. Publishing house of foreign literature. 1947, 224 p. (In Russian).
5. Savinov O.A. Seismic isolation of structures (concept, principles of device, calculation features). Dynamic problems of construction techniques. SPb. 1993, pp.155-176. (In Russian).
6. Eisenberg J.M. Structures with switching-off connections for seismic areas. М.: Stroizdat, 1976. (In Russian).
7. Aleshin A.S. About the advantages and disadvantages of NEHRP soil classification// Earthquake engineering. Constructions safety. 2021, no.1, pp. 49-66. (In Russian).
8. Bardet J.P. and Tobita T. NERA. A Computer Program for Nonlinear Earthquake Site Response Analyses of Layered Soil Deposits. University of Southern California. Department of Civil Engineering, April, 2001, p. 44.
9. Republican building codes. RSN-66-87. М.: Stroizdat, 1987. (In Russian).
10. Republican building codes. RSN-65-87. М.: Stroizdat, 1987. (In Russian).
11. Tsarev A. M., Sadurtdinov M.R., Skvortsov A. G. at al. The use of wave geophysical methods for studying geocryological conditions at the Marre-Sale stationary station. Tenth Polar Conference "Modern trends of natural processes in the Polar Regions of the Earth and Prospects for Russian Polar Research", 6-8 october 2014, Sochi, Russia, pp.94-95. (In Russian).
12. Osipov V.I., Filimonov S.D. Compaction and reinforcement of weak soils by the "Geocomposite" method. Bases, foundations and soil mechanics. 2002, no.5, pp. 15-21. (In Russian).

Данные об авторе/Information about author

Алешин Александр Степанович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник. Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. Москва, Российская Федерация
asa@ifz.ru

Aleshin Alexander S., DSc, chief researcher, The Schmidt Institute of Physics of the Earth, The Russian Academy of Sciences (IPE RAS). Moscow, Russian Federation
asa@ifz.ru

Поступила в редакцию / Received – 03.06.2021

Поступила после рецензирования и доработки / Revised – 16.06.2021

Принята к публикации / Accepted – 18.06.2021

УДК 624.042.8

DOI [10.37153/2618-9283-2021-3-19-27](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-19-27)

Теоретические и экспериментальные исследования

Применение вейвлет-преобразования в фильтрации шума реальных акселерограмм землетрясений

Харланова С.В.¹, Харланов В.Л.²

^{1,2} ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет».
Российская Федерация, Волгоград

Аннотация: При детерминированном анализе строительных конструкций в качестве исходных данных применяют реальные акселерограммы. Очень часто в открытом доступе есть только инструментальные записи акселерограмм, не очищенные от шума. Такие акселерограммы нельзя применять непосредственно при анализе строительных конструкций. Для корректировки инструментальных записей акселерографов применяются различные широкополосные фильтры. В данной статье рассматривается возможность применения фильтров, основанных на вейвлет-преобразовании.

Рассмотрена методика алгоритма фильтрации от шума исходных данных. В качестве эффективности данного алгоритма фильтрации проведен сравнительный анализ коэффициента динамичности и энергетических критериев импульса и Ариаса для откорректированной и инструментальной акселерограмм.

Ключевые слова: акселерограммы землетрясения, вейвлет-преобразование, коэффициент динамичности, энергетический критерий

Для цитирования: Харланова С.В., Харланов В.Л. Применение вейвлет-преобразования в фильтрации шума реальных акселерограмм землетрясений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2021. № 3. С. 19-27.

DOI: [10.37153/2618-9283-2021-3-19-27](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-19-27)

Theoretical and experimental studies

Application of the wavelet transform in filtering the noise of real earthquake accelerograms

Kharlanova Svetlana V.¹, Kharlanov Vladimir L.²

^{1,2} Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

Abstract: In the deterministic analysis of building structures, real accelerograms are used as input data. Very often, only instrumental recordings of accelerograms that are not cleared of noise are publicly available. Such accelerograms cannot be used directly in the analysis of building structures. Various broadband filters are used to adjust the instrumental recordings of accelerographs. This article discusses the possibility of applying filters based on the wavelet transform.

@ Харланова С.В., Харланов В.Л., 2021

The technique of the algorithm of filtering from the noise of the source data is considered. As an efficiency of this filtering algorithm, a comparative analysis of the dynamic coefficient and the energy criteria of the pulse and Arias for the corrected and instrumental accelerograms is carried out.

Keywords: earthquake accelerograms, wavelet transform, dynamism coefficient, energy criterion

For citation: Kharlanova S. V., Kharlanov V. L. Application of the wavelet transform in filtering the noise of real earthquake accelerograms. *Seismostoitkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Constructions safety*. 2021, no. 3, pp. 19-27. (In Russian)

DOI: [10.37153/2618-9283-2021-3-19-27](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-19-27)

Акселерограммы землетрясений можно рассматривать как одномерный дискретный сигнал, измеряемый в точках t со случайным шумом (погрешностью). Как правило, шум представляет собой погрешность измерительной аппаратуры. В этом случае получают так называемые «некорректные» записи землетрясений. Землетрясения, зафиксированные станциями Северной Америки, Канады, Японии выдают откорректированные записи. Станции Южной Америки выдают очень часто только неоткорректированные записи землетрясений. Для получения корректных записей необходимо исходный зарегистрированный сигнал пропустить через фильтр. В основном при решении этой проблемы применяют широкополосные фильтры. Относительно новым направлением в фильтрации исходных сигналов является вейвлет-преобразование.

В основе вейвлет-преобразования лежит разделение исходного сигнала на аппроксимирующие коэффициенты, представляющие сглаженный сигнал, и детализирующие коэффициенты, представляющие собой колебания [1,2]. Информация о шумовой составляющей исходного сигнала обычно содержится в детализирующих коэффициентах, поэтому именно они обрабатываются при очистке от шумов.

Пусть исходный сигнал представим в виде

$$y_i = f(t_i) + \xi_i, \quad 0 \leq i \leq N_t - 1, \quad (1)$$

где y_i – наблюдаемое значение одномерного дискретного сигнала, $f(t)$ – некоторая функция (сигнал), измеряемая в точках t_i со случайным шумом ξ_i .

Для очищения сигнала от шума исходный сигнал пропускают через 2 фильтра низкочастотный (g) и высокочастотный (h). В итоге получают 2 последовательности коэффициентов: $A_1 = \{a_{j,i}\}$ – коэффициенты аппроксимации уровня разложения 1, $D_1 = \{d_{j,i}\}$ – коэффициенты детализации уровня разложения 1. Далее коэффициенты A_1 подвергают опять разложению на $A_2 = \{a_{j+1,i}\}$ – коэффициенты аппроксимации уровня разложения 2 и $D_2 = \{d_{j+1,i}\}$ – коэффициенты детализации уровня разложения 2. Повторяя процедуру J раз, исходный сигнал схематично можно представить в виде:

$$y_i = A_1 + D_1 = A_2 + D_2 + D_1 = \dots = A_J + D_{J-1} + D_{J-2} + \dots + D_1.$$

Искомые коэффициенты $a_{j,i}$, $d_{j,i}$ находят по формулам [3]:

$$\begin{aligned} a_{j+1,i} &= \sum_n h_n a_{j,n+2i} \\ d_{j+1,i} &= \sum_n g_n a_{j,n+2i} \end{aligned} \quad (2)$$

где $a_{j,i} = y_i$, $g_n = (-1)^i \cdot h_{2M-1-i}$, $i = \overline{0, N-1}$, $2M$ – определяет число коэффициентов h_i . В качестве фильтра h применим коэффициенты вейвлета – Добеши D^8 , обладающего свойством ортогональности [4]:

$$h_0 \approx 0,2304, h_1 \approx 0,7148, h_2 \approx 0,6309, h_3 \approx -0,028, h_4 \approx -0,187, h_5 \approx 0,0308, h_6 \approx 0,0329, h_7 \approx -0,0106.$$

Формулы (2) представляют собой прямое дискретное вейвлет-преобразование исходного сигнала.

При восстановлении исходного сигнала применяют обратное дискретное вейвлет-преобразование по формуле:

$$a_{j+1,n} = \sum_i h_{n-2i} \cdot a_{j+1,i} + \sum_i g_{n-2i} \cdot d_{j+1,i} \quad (3)$$

При реализации алгоритмов прямого и обратного вейвлет-преобразования число N коэффициентов $a_{j,i}$ должно быть кратным 2. Если это условие не выполняется, то исходная последовательность сигналов дополняется нулями до требуемой длины.

При прямом вейвлет-преобразовании количество коэффициентов $a_{j,i}$ и $d_{j,i}$ при переходе от уровня j к уровню $j + 1$ уменьшается в 2 раза, а при обратном вейвлет-преобразовании количество коэффициентов $a_{j,i}$ и $d_{j,i}$ при переходе от уровня j к уровню $j - 1$ увеличивается в 2 раза.

В матричном виде один шаг прямого вейвлет-преобразования выглядит следующим образом:

$$M_j \cdot A_j = V_j, \quad (4)$$

где

$$M_j = \begin{pmatrix} h_0 & h_1 & h_2 & h_3 & h_4 & h_5 & h_6 & h_7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_0 & h_1 & h_2 & h_3 & h_4 & h_5 & h_6 & h_7 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_0 & h_1 & h_2 & h_3 & h_4 & h_5 & h_6 & h_7 \\ h_6 & h_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_0 & h_1 & h_2 & h_3 & h_4 & h_5 \\ h_4 & h_5 & h_6 & h_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_0 & h_1 & h_2 & h_3 \\ h_2 & h_3 & h_4 & h_5 & h_6 & h_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_0 & h_1 \\ g_0 & g_1 & g_2 & g_3 & g_4 & g_5 & g_6 & g_7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & g_0 & g_1 & g_2 & g_3 & g_4 & g_5 & g_6 & g_7 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & g_0 & g_1 & g_2 & g_3 & g_4 & g_5 & g_6 & g_7 \\ g_6 & g_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & g_0 & g_1 & g_2 & g_3 & g_4 & g_5 \\ g_4 & g_5 & g_6 & g_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & g_0 & g_1 & g_2 & g_3 \\ g_2 & g_3 & g_4 & g_5 & g_6 & g_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & g_0 & g_1 \end{pmatrix}, \quad A_j = \begin{pmatrix} a_{j,0} \\ a_{j,1} \\ \dots \\ a_{j,N_j/2-3} \\ a_{j,N_j/2-2} \\ a_{j,N_j/2-1} \\ a_{j,N_j/2} \\ a_{j,N_j/2+1} \\ a_{j,N_j/2+2} \\ \dots \\ a_{j,N_j-4} \\ a_{j,N_j-3} \\ a_{j,N_j-2} \\ a_{j,N_j-1} \end{pmatrix}, \quad V_j = \begin{pmatrix} a_{j+1,0} \\ a_{j+1,1} \\ \dots \\ a_{j+1,N_j/2-4} \\ a_{j+1,N_j/2-3} \\ a_{j+1,N_j/2-2} \\ a_{j+1,N_j/2-1} \\ d_{j+1,0} \\ d_{j+1,1} \\ \dots \\ d_{j+1,N_j/2-4} \\ d_{j+1,N_j/2-3} \\ d_{j+1,N_j/2-2} \\ d_{j+1,N_j/2-1} \end{pmatrix},$$

N_j – длина сигнала на j -м уровне разложения.

При обратном вейвлет-преобразовании $A_j = M_j^{-1} \cdot V_j = M_j^T \cdot V_j$.

Алгоритм фильтрации зашумленных данных выглядит следующим образом [3]:

- 1) находят коэффициенты $a_{j,i}$ и $d_{j,i}$, вычисленные по формулам (2);
- 2) к найденным коэффициентам детализации $d_{j,i}$ применяют алгоритм с так называемой «жесткой» пороговой функцией вида

$$H(\lambda) = \begin{cases} d_{j,i}, & \text{если } |d_{j,i}| \geq \lambda \\ 0, & \text{если } |d_{j,i}| < \lambda \end{cases} \quad (5)$$

- 3) восстанавливают сигнал путем взятия обратного вейвлет-преобразования от коэффициентов $a_{j,i}$ и $d_{j,i}$, найденных в пунктах 1 и 2.

В качестве параметра λ взят универсальный порог вида [5]

$$\lambda_j = \sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \ln N_j}, \quad \sigma = \frac{\text{median}(d_{1,k})}{0.6547}, \quad (6)$$

где N_j – количество детализирующих коэффициентов на j -м уровне разложения. Следовательно, чем выше уровень разложения j , тем меньше порог λ_j .

Максимальный уровень разложения J находится по формуле $J = \frac{\ln N}{\ln 2}$, где N – длина исходного сигнала. Опытным путем было установлено, что достаточно брать $J = 5$, т.к. увеличение глубины разложения не сильно влияет на фильтрацию исходного сигнала от шума [2].

В качестве примера рассмотрим 2 инструментальных записи землетрясения: первую – в направлении С – Ю, зарегистрированную станцией Газли в 1976 году, вторую – в направлении З – В, зарегистрированную станцией Бухарест в 1996 году. На рис. 1 приведены соответствующие записи землетрясений.

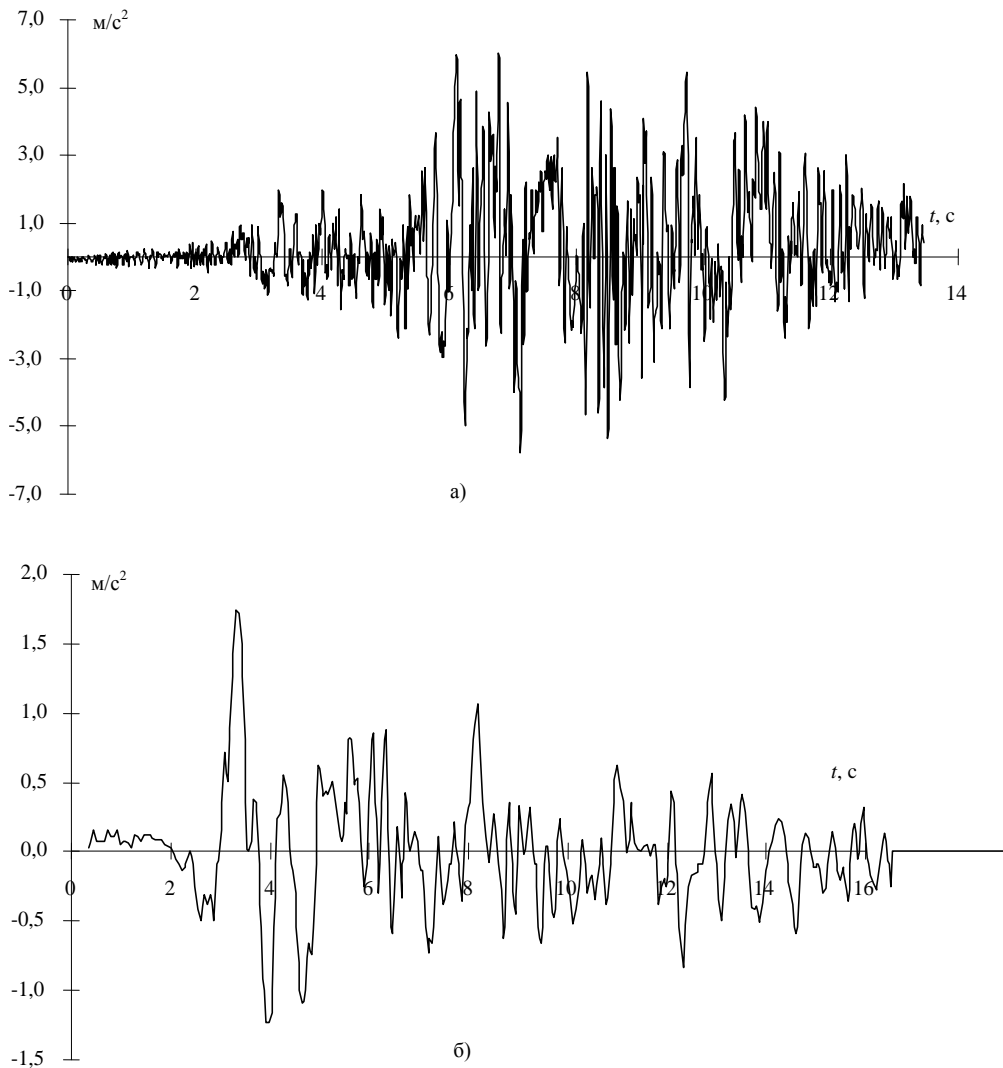


Рисунок 1 – Инструментальные записи землетрясений, зарегистрированные станциями:
а) Газли, б) Бухареста

Figure 1 – Instrumental earthquake records recorded by stations: a) Gazli, b) Bucharest

Применяя вышеизложенный алгоритм фильтрации исходных данных от шума, были получены откорректированные записи землетрясений. Кроме того, перед началом фильтрации предусмотрена очистка исходных данных от тренда, т.е. приведение к нулевому среднему.

Для возможности применения вейвлет-преобразования в качестве средства очистки исходных акселерограмм от шума проведено сравнение с традиционными методами фильтрации.

На рисунке 2 представлены спектры реакций линейных осцилляторов для инструментальной акселерограммы, откорректированной, пропущенной через эллиптический фильтр и акселерограммы, полученной в результате вейвлет-преобразования.

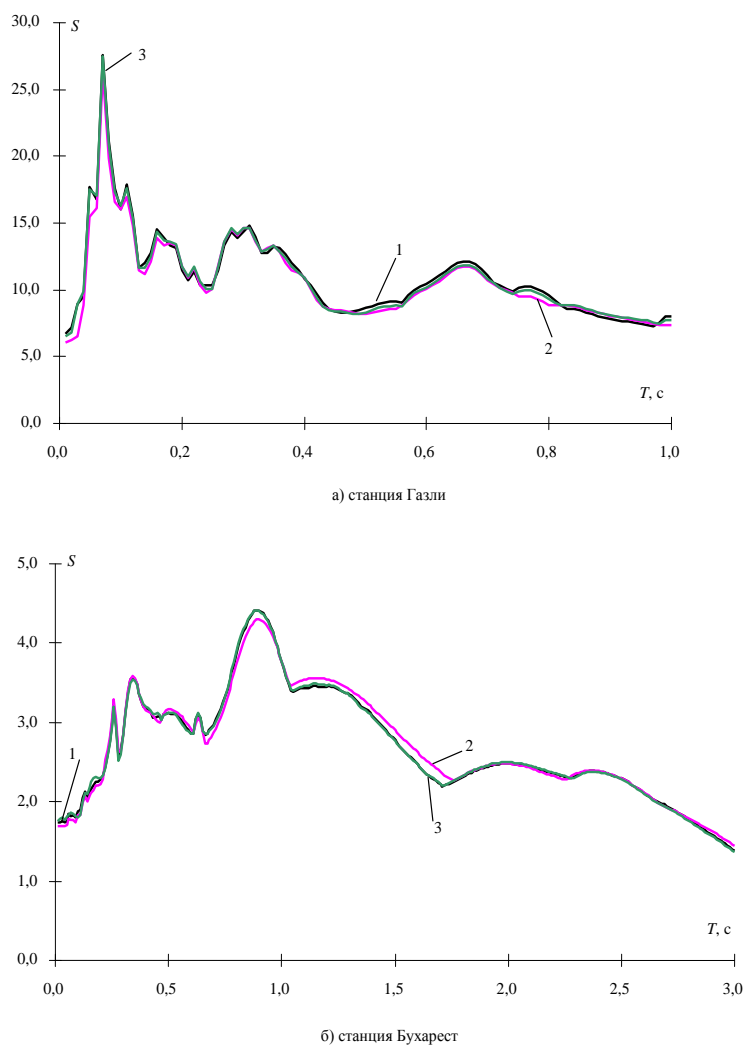


Рисунок 2 – Спектры реакций линейных осцилляторов: 1 – инструментальной акселерограммы, 2 – акселерограммы, пропущенной через эллиптический фильтр, 3 – акселерограммы, полученной с помощью вейвлет-преобразования

Figure 2 – The reaction spectra of linear oscillators: 1 – instrumental accelerogram, 2 – accelerogram passed through an elliptic filter, 3 – accelerogram obtained using the wavelet transform.

Анализ рис. 2 показывает, что спектры откорректированных акселерограмм с помощью эллиптического фильтра и с помощью вейвлет-преобразования практически идентичны.

Для проверки сохранения энергии инструментальной и отфильтрованной акселерограмм применили энергетические критерии: критерий импульса (CAV) и критерий Ариаса.

Энергетический критерий CAV, вычисляется по формуле [6]

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

критерий Ариаса [7]:

$$I_A = \int_0^t \ddot{y}_o(t)^2 dt, \quad (8)$$

где $\ddot{y}_o(t)$ — акселерограмма свободной поверхности.

В таблице 1 приведен расчет энергетического критерия SAV, а в таблице 2 – критерия Ариаса для откорректированных и инструментальной акселерограмм.

Таблица 1
Table 1

Станция	Инструментальная акселерограмма	Акселерограмма, пропущенная через эллиптический фильтр	Акселерограмма, полученная с помощью вейвлет-преобразования
Газли	14,129	13,277	14,411
Бухарест	4,619	4,482	4,619

Таблица 2
Table 2

Станция	Инструментальная акселерограмма	Акселерограмма, пропущенная через эллиптический фильтр	Акселерограмма, полученная с помощью вейвлет-преобразования
Газли	31,666	27,415	30,472
Бухарест	2,622	2,588	2,621

Из таблиц 1 и 2 следует, что фильтрация акселерограммы от шума с помощью вейвлет-преобразования не уменьшает энергетические критерии.

Все расчеты выполнены с использованием открытой среды программирования Lazarus по авторской методике.

Выводы

1. Рассмотрен алгоритм фильтрации записей землетрясений от шума с помощью вейвлет-преобразования с глубиной разложения $J = 5$.
2. Данный алгоритм фильтрации практически не изменяет коэффициент динамичности для инструментальной и отфильтрованной акселерограмм.
3. Рассмотренный алгоритм фильтрации не уменьшает энергетические критерии отфильтрованных акселерограмм.
4. Недостатком данного алгоритма является необходимая длина исходных данных, кратная 2. При невыполнении этого условия требуемая длина данных заполняется нулями или отсекается до необходимой длины.

Литература

1. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: Основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. 1996. № 11. Т. 166. С. 1145-1170.
2. Московский С.Б., Сергеев А.Н., Лалина Н.А. Очистка сигнала от шумов с использованием вейвлет преобразования // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. 2015. № 2 (15). <https://7universum.com/ru/tech>

3. Воскобойников Ю.Е. Вейвлет-фильтрации сигналов и изображений (с примерами в пакете Mathcad): монография. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин). 2015. 188 с.
4. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2001. 464 с.
5. Donoho D.L., Johnstone I.M. Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage. *Biometrika*. 1994, V.81, no. 3, pp. 425-455.
6. EPRI TR- 100082. Standardization of the Cumulative Absolute Velocity, Palo Alto, California: Electric Power Research Institute, prepared by Yankee Atomic Electric Company, December 1991.
7. Arias A. A measure of earthquake intensity. *Seismic design for nuclear power points* (ed. R.J. Hansen). MIT Press. Cambridge, Massachusetts, 1970, pp. 438-483.

References

1. Astaf'eva N. M. Veivlet-analiz: Osnovy teorii i primery primeneniia. *Uspehi fizicheskikh nauk*. 1996, vol. 166, no. 11, pp. 1145-1170. (In Russian)
2. Moskovskii S.B. Ochistka signala ot шумов s ispolzovaniem veivlet preobrazovaniya. Moskovskii S.B., Sergeev A.N., Lalina N.A. *Universum: Tehnicheskie nauki: elektron. nauchn. zhurn.* 2015. No 2 (15). <https://7universum.com/ru/tech> (In Russian)
3. Voskoboinikov Yu. E. Veivlet-filtratsii signalov i izobrazhenii (s primerami v pakete Mathcad): monografiya . Yu. E. Voskobojnikov. Novosib. gos. arhitektur.-stroit. un-t (Sibstrin). Novosibirsk: NGHASU (Sibstrin), 2015, 188 p. (In Russian)
4. Dobeshi I. Desiat' lektzii po veivletam. Izhevsk: NITs «Regulyarnaia i haoticheskaia dinamika». 2001, 464 p. (In Russian)
5. Donoho D.L. Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage. D.L. Donoho, I.M. Johnstone. *Biometrika*. 1994, vol.81, no. 3, pp. 425-455.
6. EPRI TR- 100082. Standardization of the Cumulative Absolute Velocity, Palo Alto, California: Electric Power Research Institute, prepared by Yankee Atomic Electric Company, December 1991.
7. Arias A. A measure of earthquake intensity. *Seismic design for nuclear power points* (ed. R.J. Hansen). MIT Press. Cambridge, Massachusetts, 1970, pp. 438-483.

Сведения об авторах / Information about the authors

Харланова Светлана Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика и информатика», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет». Волгоград, Российская Федерация

Харланов Владимир Леонтьевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции, основания и надежность сооружений», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет». Волгоград, Российская Федерация

Kharlanova Svetlana V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics and Informatics, Volgograd State Technical University. Volgograd, Russian Federation

Kharlanov Vladimir L., Doctor of technical Sciences, Professor of the Department «Building constructions, bases and reliability of structures» Department, Volgograd state technical University. Volgograd, Russian Federation

Поступила в редакцию / Received – 17.05.2021

Поступила после рецензирования и доработки / Revised – 28.05.2021

Принята к публикации / Accepted – 11.06.2021

УДК 624.042

DOI [10.37153/2618-9283-2021-3-28-40](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-28-40)

Сейсмозащита и сейсмоизоляция зданий и сооружений

Использование утилизированных покрышек для сейсмозащиты сооружений

Габиров Ф.Г.¹, Шокбаров Е.М.², Габирова Л.Ф.³

¹ Азербайджанский научно-исследовательский институт строительства и архитектуры.
Баку, Республика Азербайджан

² Казахский научно-исследовательский институт строительства и архитектуры.
Алматы, Республика Казахстан

³ Компания «HALLIBURTON». США

Аннотация: В статье приведены примеры конструкций сейсмостойких фундаментов, разработанных как авторами данной статьи, так и другими инженерами за более чем 30 лет, в которых использованы утилизированные металлокордные покрышки. Приводятся конструкции динамических гасителей динамических колебаний, в которых емкости для сыпучих наполнителей выполнены из утилизированных покрышек. Утилизированные покрышки также эффективно используются при создании сейсмозащитных экранов, а также армирующих элементов и сейсмоизоляционных слоев сейсмостойких грунтовых плотин. Во всех вышеуказанных технических решениях сейсмостойкость зданий и сооружений достигается за счет уникальных геометрических и физико-химико-механических свойств утилизированных резиновых покрышек с металлическим кордом.

Ключевые слова: фундамент, экран, грунтовая плотина, покрышка, амортизатор, армирующий элемент, сейсмостойкая конструкция, гаситель колебаний

Для цитирования: Габиров Ф.Г., Шокбаров Е.М., Габирова Л.Ф. Использование утилизированных покрышек для сейсмозащиты сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2021. № 3. С. 28-40.

DOI: [10.37153/2618-9283-2021-3-28-40](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-28-40)

Seismic protection and seismic isolation of buildings and structures

Use of recycled tires for earthquake protection of structures

Gabibov F.G.¹, Shokbarov E.M.², Habibova L.F.³

¹ Azerbaijan Research Institute of Construction and Architecture. Baku, Republic of Azerbaijan

² Kazakh Scientific Research Institute of Construction and Architecture. Almaty, Republic of Kazakhstan

³ HALLIBURTON Company. USA

Abstract: The article presents numerous structures of earthquake-resistant foundations that have been developed by the authors and other engineers over the past more than 30 years, in which recycled metal-cord tires are used. The designs of dynamic dampers of dynamic vibrations, in which the containers for bulk fillers are made of recycled tires, are presented. Recycled tires are @ Ф.Г. Габиров, Е.М. Шокбаров, Л.Ф. Габирова, 2021

also effectively used in the creation of earthquake shields, as well as reinforcing elements and seismic insulation

layers of earthquake-resistant ground dams. In all the above-mentioned technical solutions, the earthquake resistance of buildings and structures is achieved due to the unique geometric and physico-chemical-mechanical properties of recycled rubber tires with a metal cord.

Keywords: foundation, screen, ground dam, tire, shock absorber, reinforcing element, earthquake-resistant structure, vibration dampener

For citation: Gabibov F.G., Shokbarov E.M., Habibova L.F. Use of recycled tires for earthquake protection of structures. *Seismostoiikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* = *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2021, no. 3, pp. 28-40. (In Russian)

DOI: [10.37153/2618-9283-2021-3-28-18](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-28-18)

1. Введение

В настоящее время весьма актуальной является проблема повторного использования разнообразных промышленных и бытовых отходов при разработке различных конструкций инженерной защиты сооружений от опасных сейсмических воздействий. Такой подход позволяет решать не только инженерные проблемы в сейсмоопасных районах, но и насущные инженерно-экологические задачи.

Основным, наиболее массовым видом отходов общественного потребления являются утилизированные автомобильные покрышки. В мире на производство автомобильных покрышек расходуется половина производимых синтетических и натуральных каучуков (более 15 млн. тонн в год), и в конечном итоге все производимые покрышки через определенное время попадают в отходы. Время эксплуатации автомобильных шин меньше, чем время эксплуатации большинства резиновых изделий.

Объем образования утилизированных автомобильных покрышек огромен, например, в США их образуется до 18 млн. тонн, в Японии 750 тыс. тонн в год. Доля утилизированных покрышек с металлокордом в настоящее время превышает 50% от их общего количества.

Очень интересны разработки, связанные с использованием утилизированных покрышек при проектировании сейсмозащиты сооружений и территорий. В этих случаях используются трудно перерабатываемые утилизированные покрышки с металлокордом.

2. Первые известные конструкции фундаментов, выполненных с использованием утилизированных покрышек, с вибро- и сейсмоизоляционными характеристиками

Первые конструкции сейсмо- и вибростойких фундаментов из утилизированных покрышек были разработаны более 30 лет назад в Азербайджанском научно-исследовательском институте строительства и архитектуры инженером Ф.Г. Габибовым.

Конструкция сейсмостойкого фундамента (1989 г.) для зданий жесткой конструкционной схемы, состоит из основных свай, объединенных поверху высоким ростверком с помощью шарниров, и дополнительных свай, выполняющих роль упругих ограничителей колебаний. Оголовки свай располагаются в полости жестко прикрепленных одной из торцевых сторон к нижней части ростверка утилизированных металлокордных покрышек.

При попадании конструкции здания в зону резонансных колебаний возрастает амплитуда и в работу включаются дополнительные сваи. Конструкция за короткий промежуток времени за счет наличия прочных резиноармированных стаканов и отсутствия зазора между элементами ограничителей амортизационно меняет свою жесткость и автоматически выходит из резонансного режима [1].

Конструкция вибросейсмоизолированного фундамента с использованием утилизированных покрышек (1992 г.) включает заполненную сыпучим материалом оболочку и башмак, размещенный в оболочке с зазором относительно ее боковых стенок и частично заглубленный в сыпучий материал. Боковая поверхность башмака в зоне его заглубления в сыпучий материал выполнена скошенной под углом, не превышающим угла внутреннего трения сыпучего материала. Оболочка выполнена из утилизированной покрышки, имеющей на внутренней поверхности щель, причем диаметр башмака равен внутреннему диаметру оболочки [2].

Передаваемая от башмака нагрузка, благодаря его скошенной боковой поверхности, через сыпучий материал передается на фланцы и на боковую поверхность оболочки-покрышки, что приводит к гашению динамических нагрузок.

В способе возведения арочного фундамента (1989 г.) в траншею 1 с полукруглой поверхностью устанавливается кондуктор 2, выполненный из распиленной пополам утилизированной покрышки от большегрузных автомобилей (см. рис.1). Сверху кондуктор 2 покрывается гибким полотнищем 4, выполненным из протекторной обрезки утилизированной покрышки. Полотнище 4 закрепляется на упорах 3, роль которых выполняют концы кондуктора 2. Грунт 5 обратно засыпается на гибкое полотнище 4 с уплотнением, а образовавшаяся полость внутри кондуктора 2 заполняется бетоном.

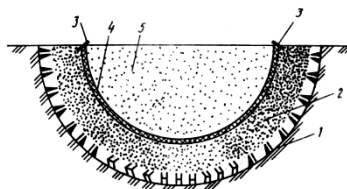


Рисунок 1 – Арочный фундамент

Figure 1 – Arched foundation

Эффективность указанного способа заключается в удешевлении и упрощении производства работ путем выполнения несъемного кондуктора из отходов, специфические свойства которых также обеспечивают гидроизоляцию и сейсмоизоляцию арочного фундамента [3].

Монолитный ленточный фундамент повышенной гибкости (1992 г.) состоит из укладываемых в предварительно подготовленную полуцилиндрическую траншею утилизированных покрышек, разрезанных пополам, в которые установлена арматура и заливается бетон. Боковины полупокрышек образуют разрезы в теле фундамента, которые заполнены прокладками из резиноармированного упругого материала.

Полученный ленточный фундамент обладает повышенной упругой гибкостью при сейсмических воздействиях. Также достигается гидроизоляция фундамента [4].

Контактное взаимодействие фундамента с полукруглой поверхностью с упругим основанием можно описать двумя наиболее употребляемыми моделями Э. Винклера и В.З. Власова.

Пусть известно дифференциальное уравнение для описания деформирования упругой системы

$$DL_1w = L_2F, \quad (1)$$

где D – параметр жесткости; L_1 и L_2 – линейные дифференциальные операторы, вид которых определяется принимаемой теорией расчета упругой системы; $w(\alpha_1, \alpha_2)$ – компонента

перемещения срединной поверхности или нейтральной оси; $F(\alpha_1, \alpha_2)$ – внешняя нагрузка; α_1, α_2 – безмерные координаты.

При взаимодействии системы с упругим основанием внешняя нагрузка F в i -й области контакта Ω определяется формулой

$$F = Q - \bar{p}, \quad (2)$$

где Q – заданная внешняя нагрузка; \bar{p} – реактивная нагрузка в i -ой области Ω_i , выражение для которой зависит от модели основания

$$p = L_3 w; \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (3)$$

N – число областей контакта, вне зоны контакта $F = Q$.

Для упругих оснований, описываемых моделями Э. Винклера и В.З. Власова, соответственно имеем

$$\bar{p} = C_i w_1, \quad (4)$$

$$L_3 = C_{1i} - C_{2i} \frac{\partial^2}{\partial \alpha_2^2}. \quad (5)$$

Здесь C_{ki} – коэффициент постели упругого основания.

Общее решение уравнения (1) ищем в виде

$$w = w_1 + w_2, \quad (6)$$

где w_1 – известное решение однородного уравнения,

$$DL_1 w_1 = 0 \quad (7)$$

для свободной от нагрузки упругой системы, а w_2 – решение неоднородного уравнения

$$DL_1 w_2 = L_1, \quad (8)$$

определяемое характером нагружения системы и моделью для описания контактного взаимодействия.

В 1992 г. В.Г. Соколовым и И.В. Соколовым был предложен амортизатор сейсмических воздействий, включающий упругий элемент, выполненный из утилизированной автопокрышки, заполненной упругим наполнителем (резиновая крошка, каучук и другие упругие материалы, связанные клеем), закрепленной на ободе колеса [5].

В 1992 г. А.И. Коваленко и др. предложили конструкцию сейсмостойкого фундамента, содержащего верхний и нижний опорные пояса, опорный скользящий элемент и упругий ограничитель перемещений. Фундамент снабжен упругими амортизаторами из половинчатых утилизированных автопокрышек, заполненных галькой. Опорный скользящий элемент снабжен стальными пластинками, опирающимися на упругие амортизаторы. Упругие ограничители перемещений выполнены из утилизированных покрышек, заполненных промытой в отработанном техническом масле галькой. Зазор между поясами заполнен раствором. Нижний опорный пояс может быть расположен на цокольном фундаменте из бутобетонной кладки. Деформационная щель под верхним опорным поясом заполнена прокладками «туфобетонным изолятором» [6].

А.В. Черкунова и др. в 1990 г. предложили конструкцию сейсмостойкого здания, содержащего нижний этаж, фундаментную и опорную плиты, установленные с зазором, в котором размещено сейсмоизолирующее устройство. Плита установлена на грунтовое основание. Сейсмоизолирующее устройство выполнено из утилизированных покрышек с наполнителем, установленных рядами друг к другу, соединенных по длине каждого ряда посредством стяжек и между собой в смежных рядах посредством горизонтальных соединительных элементов. В качестве заполнителя используются обрезки утилизированных покрышек в виде бортовых колец и протекторных частей [7].

3. Дальнейшее развитие конструкций сейсмостойких фундаментов и устройств с использованием утилизированных покрышек

Ю.И. Безруков и О.Ю. Безруков в 1994 г. предложили конструкцию фундамента для сейсмостойкого здания, включающего верхний и нижний элементы, разделенные горизонтальным швом, заполненным сыпучим материалом, который помещен с уплотнением в емкости из одинаковых утилизированных покрышек, имеющих вырезы на внутренней стороне, края которых скреплены кольцевым бандажом. Покрышки помещены в стакан фундамента с зазором, который заполнен сыпучим материалом без уплотнения. Такое конструктивное решение позволяет вязко погасить сейсмические силы, возвратить здание в исходное положение по окончании землетрясения и исключить жесткое соударение отдельных элементов конструкций [8].

М.Е. Семькин в 2000 г. сконструировал сейсмостойкий фундамент, содержащий монолитную плиту, уложенную на утилизированные автомобильные или тракторные утилизированные покрышки, заполненные грунтом на 50-80%, на которые в один или два ряда уложен слой линолеума или рубероида. Если требуется устройство подполья, то в указанной зоне покрышки не укладываются [9].

В.М. Левагин в 2002 г. предложил противоударное сейсмическое устройство, которое содержит цилиндр, прикрепленный к опорному фланцу. В цилиндре установлен поршень, имеющий нижнюю и верхнюю заглушки из толстой листовой стали. Внутри поршень усилен ребрами жесткости из стальных пластин. Верхняя заглушка расположена в полости поршня ниже его верхнего края, а по периметру и в центре заглушки размещены стальные шары. Глубина расположения заглушки относительно верхнего края поршня составляет, например, $\frac{3}{4}$ диаметра шаров. Между нижней заглушкой поршня и опорным фланцем установлены пружины, смазанные графитовой мастикой, а пространство между ними заполнено синтетическим материалом, например, пенополиуретаном или густой незамерзающей смазкой. На шарах установлен опорный фланец, к которому прикреплен цилиндр, имеющий диаметр, больший диаметра цилиндра. Устройство содержит дополнительные демпфирующие элементы снаружи цилиндра, на его опорном фланце могут быть размещены установленные в вертикальный ряд утилизированные покрышки, наружный диаметр которых не превышает внутренний диаметр верхнего цилиндра. Полости утилизированных покрышек заполнены пенополиуретаном.

Для соединения устройства в единую конструкцию цилиндр кинематически связан с опорным фланцем посредством стальных тяг, имеющих шарнирное соединение с цилиндром через косынки и с натяжным пружинным устройством на опорном фланце. На опорном фланце размещается опорная подушка несущей конструкции. Опорный фланец устройства приваривается к закладному элементу сваи или фундамента [10].

Испанские инженеры Сигнес Оровай В. и Сигнес Оровай С.Х. в 2000 г. сконструировали модульное антисейсмическое защитное устройство для зданий и сооружений, которое устанавливается между грунтовым основанием и фундаментом. Оно состоит из множества модулей, лежащих в одной и той же плоскости в соприкосновении друг с другом, каждый из которых состоит из двух идентичных деталей из жесткого пластика, соединенных сайлент-блоком, который удерживается двумя крепежными элементами. Перед сборкой модуля там устанавливается утилизированная автопокрышка. Образованная полость через отверстие заполняют гранулированными пластиковыми элементами, способными перемещаться при сейсмических воздействиях [11].

Множество модулей расположены на одной плоскости, лежащей на земле под зданием, а шестиугольные пластмассовые детали способствуют плотной подгонке смежных модулей друг к другу. На полученную таким образом упруго-демпферную поверхность можно установить фундаментные плиты.

Утилизированные автопокрышки, наполовину заполненные *упругими* гранулами и закрытые сверху резиновой заглушкой, предохраняют воздушную полость автопокрышки от проникновения туда песка песчаной линзы, располагаемой под защищаемым сооружением, являются демпферным элементом, способствуют сейсмоизоляции конструкции сейсмостойкого здания, предложенного С.К.Саркисовым и др. [12].

В способе прокладки трубопроводов в сейсмических районах, предложенном Ф.М. Мустафиным и др. [13], в случаях прокладки трубопровода на склоновых участках с уклоном более 5° упругопластические элементы укладывают только под трубопровод в полости утилизированных покрышек. При этом для исключения повреждений стенок трубы и изоляции трубы от крупнозернистого грунта засыпки дополнительно предусматривается устанавливать в зонах сейсмоизоляции на внешнюю поверхность трубопровода стальной лист. Далее производят засыпку траншеи щебнем. Величины ширины дна траншеи, угла наклона дна траншеи и угла откосов боковых стенок траншеи определяются в зависимости от геометрических и прочностных характеристик трубопроводов и конкретных условий их прокладки.

4. Конструкция круглого монолитного фундамента с несъемной опалубкой из утилизированных покрышек

В строительстве зданий широкое применение находят монолитные железобетонные фундаменты под колонны. Эти фундаменты в плане в основном имеют квадратную и прямоугольную форму. Фундаменты, имеющие в плане круглую форму на практике применяются редко, так как это связано с трудностями изготовления круглой в плане опалубки.

В Азербайджанском НИИ строительства и архитектуры разработана конструкция круглого монолитного фундамента под колонны.

Несъемная опалубка (см. рис.2) для бетонирования ступенчатых круглых фундаментов под колонны состоит из утилизированных металлокордных покрышек 1 и 2 башмачной части и утилизированной металлокордной покрышки 3 подколонника 5. Блоки, выполненные из утилизированных покрышек различного диаметра, фиксируются при помощи штырей 4, которые установлены на поверхности нижележащей покрышки через 120° по окружности на линии соприкосновения с вышележащей покрышкой [14].

В полость образованной опалубки устанавливается и фиксируется арматура. Сверху опалубки крепят пустотообразователь 5, после этого полость опалубки заполняется бетонной смесью. Когда бетон затвердевает, пустотообразователь 5 снимается и фундамент готов для дальнейшего монтажа конструкций.

При подборе утилизированных покрышек площадь, занимаемая самой нижней покрышкой, которая формирует нижнюю ступень фундамента, должна соответствовать расчетному условию:

$$F_{н.п.} \geq F_p = \frac{N_{\Pi}}{H_{cp} (R^H - \gamma_{cp} H)}, \quad (9)$$

где $F_{н.п.}$ – площадь, занимаемая нижней покрышкой; F_p – расчетная площадь подошвы фундамента; R^H – нормальное давление на грунт основания; N_{Π} – приведенная продольная расчетная сила; γ_{cp} – средний объемный вес грунта; H – глубина заложения фундамента от поверхности пола.

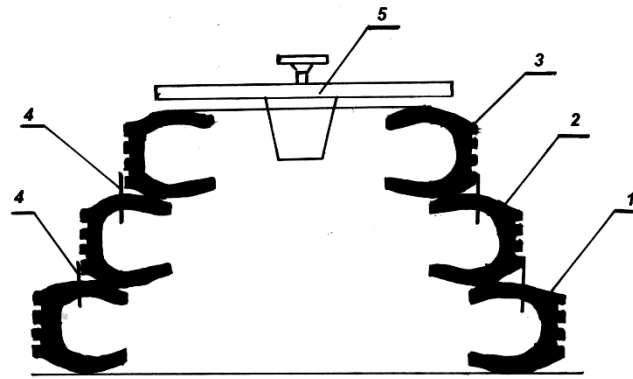


Рисунок 2 – Несъемная опалубка круглого монолитного фундамента

Figure 2 – Fixed formwork of a round monolithic foundation

Несъемные опалубочные блоки из утилизированных покрышек в готовом фундаменте выполняют роль гидроизоляции и сейсмоизоляции.

Особенно хочется отметить то техническое свойство, которое приобретает круглый фундамент мелкого заложения, которое заключается в том, что использование утилизированной резиновой металлокордной автопокрышки в нижней секции предложенной оболочки позволяет получить круглую контурную контактную прослойку, которая позволяет позитивно трансформировать контактные давления по подошве фундамента. В фундаменте естественным образом появляется кольцевая штраба, заполненная упруго-сжимаемым материалом (армированной резиной). Сжимаемость этого материала (вставки) при начальном давлении определяется по формуле, предложенной П.П. Заболотным и В.Л. Яструбенецким [15]:

$$S = \frac{(1 - \nu_0^2) P_{1кр} \sqrt{A'}}{1,128 E_0}, \quad (10)$$

где S – сжимаемость легкодеформируемого резинометаллического контактного материала (в нашем случае армированной резины бокового фланца утилизированной покрышки); ν_0 – коэффициент Пуассона; $P_{1кр}$ – начальное критическое давление на грунт основания; A' – площадь подошвы фундамента за вычетом площади штраб, заполненных армированной резиной; E_0 – модуль общей деформации грунта основания.

5. Конструкции динамических гасителей с использованием утилизированных покрышек

Утилизированные покрышки используются Ю.П. Бусаровым и В.Б. Черкуновым в качестве упругих сильфонов динамического гасителя колебаний [16]. Данное устройство содержит массу в виде заполненных сыпучей средой и гибкими стержнями упругих сильфонов усеченной конической или цилиндрической формы, контактирующих между собой выпуклыми частями гофр, с усилительными кольцами, установленными во впадинах гофр и расположенных в основаниях сильфонов дисков с центральными отверстиями, и трос, пропущенный через последние.

Частота собственных колебаний гасителя подбирается близкой к частоте колебаний сооружения. Гаситель, испытывая колебания в режиме антирезонанса, подавляет сейсмические колебания сооружения.

6. Конструкции экранов для гашения сейсмических волн с использованием утилизированных покрышек

В 1988 г. инженеры Ф.Г. Габибов и А.В. Туркия предложили конструкцию экрана для снижения сейсмических воздействий, который выполнен в виде демпфирующей подушки, размещенной в котловине под фундаментной плитой взрывной установки. Демпфирующая подушка состоит из горизонтальных рядов резиноармированных П-образных элементов, образованных при разрезке утилизированных автопокрышек на восемь секторов [17].

Ф.Г. Габибов также предложил экран для гашения сейсмических волн в грунте, созданный из пачек утилизированных покрышек, уложенных вокруг защищаемых сооружений в глубокие траншеи или ряды скважин [18].

Также можно отметить конструкцию экрана для защиты сооружений от сейсмических колебаний, предложенную Ж.Б. Байнатовым, которая выполнена в виде скважин, пробуренных глубиной не менее двойной высоты фундамента, расположенных в шахматном порядке вдоль двух замкнутых линий, равноудаленных от фундамента сооружения. При этом дальние скважины выполнены более глубокими, чем скважины ближние к сооружению и заполнены стопками утилизированных автопокрышек. Ближние к сооружению скважины заполнены утилизированными пластиковыми бутылками с закрытыми крышками. Сверху скважины заполнены слоем грунта 50-60 см [19].

7. Сейсмостойкие плотины, в конструкциях которых использованы утилизированные покрышки

Утилизированные металлокордные покрышки от большегрузных автомобилей эффективно используются в качестве армирующих элементов сейсмостойких грунтовых плотин.

Сейсмостойкая грунтовая плотина, разработанная Ф.Г. Габибовым и др. в 2010 г. включает упорные призмы из песчано-гравийной смеси, ядро из глинистого грунта и антисейсмические армирующие пояса, укладываемые в упорных призмах горизонтально в виде ячеек заполненных дренажным материалом. Пояса состоят из поперечных железобетонных балок, располагаемых у откоса плотины, поперечных железобетонных балок, располагаемых в теле плотины. Замыкающие ячейки армирующего элемента выполнены из утилизированных металлокордных покрышек, которые соединены между собой арматурной связью в виде трубчатых элементов с анкерами, фиксируемыми на внутренней поверхности покрышек от большегрузных автомобилей [20].

При воздействии на плотину сейсмических сил армирующие элементы принимают на себя избыточные растягивающие усилия за счет сцепления с грунтом плотины. Деформируемость грунта ограничивается и регулируется за счет упругих покрышек и железобетонных балок в армирующих элементах, которые при помощи трубчатых соединений работают как одна целая система.

Е.М. Шокбаровым, Ф.Г. Габибовым и Л.Ф. Габибовой разработана конструкция сейсмостойкой грунтовой плотины [21] и технология изготовления ее армирующих элементов [22]. В плотине (рис.3) с ядром 1, боковыми призмами 2 и армирующими элементами 3, каждый из которых состоит из бетонных блоков, выполненных из соосно спаренных бетонных блинов. При этом блины большего диаметра 4 расположены ниже блинов меньшего диаметра 5. В бетонных блоках образованы каналы 6 и размещены металлические закладные детали 7. Через каналы 6 проходят гладкие стальные стержни 8,

приваренные к закладным деталям 7. Каналы 6 образуются благодаря покрытию поверхности стержней 8 до бетонирования блоков антикоррозионным смоляным составом, исключая сцепление стержней 8 с бетоном блоков после твердения бетона.

Боковая поверхность бетонных блоков имеет резиноармированное покрытие 9, образованное из двух утилизированных металлокордных покрышек разного диаметра, которые при изготовлении блоков используются как несъемная опалубка. При сложных деформациях, вызванных сейсмическими силами, армирующие элементы препятствуют образованию внутренних поверхностей скольжения, способствуя сохранению заданной устойчивости грунтовой плотины.

Ф.Г. Габиров и др. разработали конструкции сейсмостойких грунтовых плотин, возводимых в широких створах [23] и узких створах [24]. Сейсмостойкая плотина, возводимая в широких створах (см. рис.4), состоит из верхней основной части 1 тела плотины и расположенного между основной частью тела плотины и основанием 2 сейсмоизолирующего слоя (экрана) 3, который сформирован путем установки в нем включений в виде однотипных утилизированных металлокордных покрышек 4, полости которых заполнены гумбрином 5.

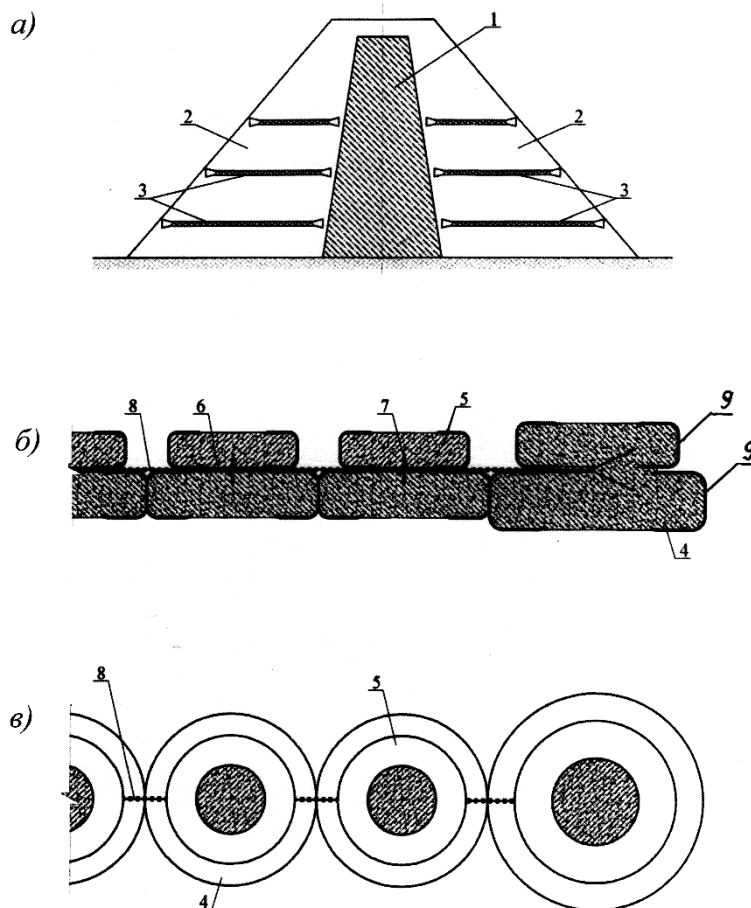


Рисунок 3 – Плотина из местных грунтовых материалов с армирующими элементами:
a – поперечный разрез; *b* – фрагмент армирующего элемента, продольный разрез;
c – фрагмент армирующего элемента, вид сверху

Figure 3 – Dam made of local soil materials with reinforcing elements:
a – cross section; *b* – fragment of the reinforcing element, longitudinal section;
c – fragment of the reinforcing element, top view

Сейсмостойкая плотина, возводимая в узких створах, состоит из основной части тела плотины и расположенного по всему контакту плотины с основанием и бортами створа сейсмоизолирующего слоя 4, который сформирован путем установки в этом слое включений в виде металлокордных покрышек, полости которых заполнены гумбрином.

Гумбрин является отходом технологии очистки технических масел. Этот отход в больших количествах накапливается на полигонах нефтеперерабатывающих предприятий.

Динамическая жесткость полученного сейсмоизолирующего экрана в обеих вышеуказанных конструкциях плотин как минимум на 70% ниже динамической жесткости местного кондиционного грунта, используемого при укладке основной части грунтовой плотины. Кроме этого металлокордные утилизированные покрышки сейсмоизолирующего экрана придают ему дополнительные демпфирующие свойства. Дисперсное расположение включений в сейсмоизоляционных экранах позволяет достигнуть дифракционного ослабления сейсмической волны.

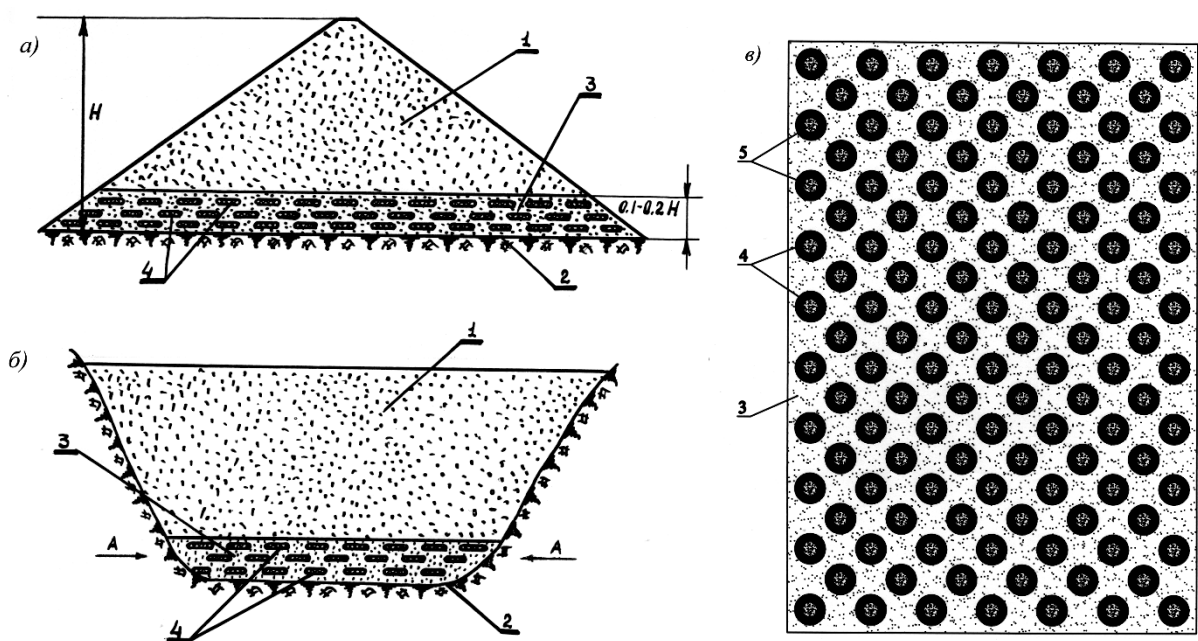


Рисунок 4 – Сейсмостойкая грунтовая плотина, возводимая в широких створах:
 а – поперечный разрез; б – продольный разрез; в – сечение А-А

Figure 4 – Earthquake-resistant earth dam, built in wide sections:
 a – cross section; b – longitudinal section; c – section A-A

Выводы:

1. На многочисленных примерах различных известных конструкций фундаментов и амортизаторов сооружений с использованием утилизированных металлокордных покрышек показана их реальная эффективность, связанная с повышенной сейсмо-, виброгасительной и демпферной способностью. Данная эффективность заложена в специфических геометрических и механических характеристиках отслуживших свой срок покрышек.
2. Отмечена возможность использования утилизированных покрышек для конструирования динамических гасителей сейсмических колебаний.

3. Приводятся реальные примеры использования утилизированных покрышек при создании сейсмозащитных экранов территорий, на которых расположены ответственные сооружения.
4. Показана эффективность использования утилизированных покрышек от большегрузных автомобилей при конструировании армирующих элементов и сейсмоизоляционных слоев грунтовых плотин.
5. Уникальные геометрические и физико-химико-механические свойства утилизированных металлокордных покрышек, а также их широкий размерный сортамент, создает для инженеров и конструкторов широкие возможности для проектирования и создания инноваций в области сейсмозащиты сооружений.

Литература

1. Габибов Ф.Г. Сейсмостойкий фундамент. Авторское свидетельство СССР на изобретение №1486573, 1989.
2. Габибов Ф.Г. Фундамент. Авторское свидетельство СССР на изобретение №1730364, 1992.
3. Габибов Ф.Г., Туркия А.В. Способ возведения арочного фундамента. Авторское свидетельство СССР на изобретение №1735498, 1992.
4. Габибов Ф.Г., Туркия А.В., Кулиев Д.А. Фундамент. Авторское свидетельство СССР на изобретение №1744200, 1992.
5. Соколов В.Г., Соколов И.В. Амортизатор сейсмических воздействий. Авторское свидетельство СССР на изобретение №1728387, 1992.
6. Коваленко А.И., Алексеев В.Н., Акимов Е.А. Сейсмостойкий фундамент. Авторское свидетельство СССР №1760020, 1992.
7. Черкунова А.В., Черкунова В.Б., Черкунов Б.В. Сейсмостойкое здание. Авторское свидетельство СССР на изобретение №1761930, 1992.
8. Безруков Ю.И., Безруков О.Ю. Фундамент для сейсмостойкого здания. Патент РФ на изобретение №2119012, 1998.
9. Семькин М.Е. Фундамент. Патент РФ на изобретение №2184189, 2002.
10. Левагин В.М. Противоударное сейсмическое устройство. Патент РФ на изобретение №2217559, 2003.
11. Сигнес Оровай В., Сигнес Оровай С.Х. Модульное антисейсмическое защитное устройство для использования в зданиях и аналогичных сооружениях. Патент РФ на изобретение №2250308, 2004.
12. Саркисов С.К., Ефимов А.В., Зайцев И.Д. Сейсмостойкое здание. Патент РФ на изобретение №2388887, 2010.
13. Мустафин Ф.М. и др. Способ прокладки трубопроводов в сейсмических районах. Патент РФ на изобретение №2447348, 2011.
14. Габибов Ф.Г. Опалубка для бетонирования ступенчатых фундаментов под колонны. Патент Азербайджанской Республики на изобретение № i 2012 0058, 2012.
15. Заболотный П.П., Яструбенецкий В.Л. Фундаменты с легкодеформируемыми вставками. // Промышленное строительство и инженерные сооружения. 1990. №2. С.32-33.
16. Бусаров Ю.П., Черкунов В.Б. Динамический гаситель колебаний. Авторское свидетельство СССР на изобретение №1413328, 1988.
17. Габибов Ф.Г., Туркия А.В. Экран для снижения сейсмических воздействий взрыва от стационарной взрывной установки. Авторское свидетельство СССР на изобретение №1550960, 1988.
18. Габибов Ф.Г. Экран для гашения сейсмических волн в грунте // Информационный листок АзНИИНТИ. Баку. 1992. №87. 4 с.

19. Байнатов Ж.Б. Экран для защиты фундаментов зданий и сооружений от сейсмоколебаний грунта. Патент Республики Казахстан на изобретение №20744, 2003.

20. Габибов Ф.Г. Сейсмостойкая плотина. Патент Азербайджанской Республики на изобретение №i 2013 0038, 2010.

21. Шокбаров Е.М., Габибов Ф.Г., Габибова Л.Ф. Плотина из местных материалов. Патент Республики Казахстан на изобретение №33971, 2019.

22. Шокбаров Е.М., Габибов Ф.Г., Габибова Л.Ф. Способ изготовления бетонных блоков армирующих элементов плотины из местных материалов. Патент Республики Казахстан на изобретение №33961, 2019.

23. Габибов Ф.Г. и др. Сейсмостойкая грунтовая плотина, возводимая в широких створах. Патент РФ на изобретение №2556896, 2015.

24. Габибов Ф.Г. и др. Сейсмостойкая грунтовая плотина, возводимая в узких створах. Патент РФ на изобретение №2558280, 2015.

References

1. Gabibov F.G. Seismostoykii fundament. Avtorskoe svidetelstvo SSSR na izobretenie № 1486573, 1989. (In Russian)

2. Gabibov F.G. Fundament. Avtorskoe svidetelstvo SSSR na izobretenie № 1730364, 1992. (In Russian)

3. Gabibov F.G., Turkiia A.V. Sposob vozvedeniia arochnogo fundamenta. Avtorskoe svidetelstvo SSSR na izobretenie № 1735498, 1992. (In Russian)

4. Gabibov F.G., Turkiia A.V., Kuliiev D.A. Fundament. Avtorskoe svidetelstvo SSSR na izobretenie № 1744200, 1992. (In Russian)

5. Sokolov V.G., Sokolov I.V. Amortizator seismicheskikh vozdeystvii. Avtorskoe svidetelstvo SSSR na izobretenie № 1728387, 1992. (In Russian)

6. Kovalenko A.I., Alekseyev V.N., Akimov Y.A. Seismostoikii fundament. Avtoskoe svidetelstvo SSSR № 1760020, 1992. (In Russian)

7. Cherkunova A.V., Cherkunova V.B., Cherkunov B.V. Seismostoikoe zdanie. Avtorskoe svidetelstvo SSSR na izobretenie № 1761930, 1992. (In Russian)

8. Bezrukov Y.I., Bezrukov O.Y. Fundament dlia seismostoikogo zdaniia. Patent RF na izobretenie № 2119012, 1998. (In Russian)

9. Semykin M.Y. Fundament. Patent RF na izobretenie № 2184189, 2002. (In Russian)

10. Levagin V.M. Protivoudarnoe seismicheskoe ustroistvo. Patent RF na izobretenie № 2217559, 2003. (In Russian)

11. Signes Orovai V., Signes Orovai S.H. Modulnoe antiseismicheskoe zashchitnoe ustroistvo dlia ispolzovaniia v zdaniiah i analogichnih sooruzheniiah. Patent RF na izobretenie № 2250308, 2004. (In Russian)

12. Sarkisov S.K., Yefimov A.V., Zaytsev I.D. Seismostoikoe zdanie. Patent RF na izobretenie № 2388887, 2010. (In Russian)

13. Mustafin F.M. i dr. Sposob prokladki truboprovodov v seismicheskikh raionah. Patent RF na izobretenie № 2447348, 2011. (In Russian)

14. Gabibov F.G. Opalubka dlia betonirovaniia stupenchatykh fundamentov pod kolonny. Patent Azerbaidjanskoi Respubliki na izobretenie № i 2012 0058, 2012. (In Russian)

15. Zabolotnyi P.P., Yastrubenetskii V.L. Fundamenty s legkodeformiruemymi vstavkami. Promyshlennoe stroitel'stvo i inzhenernye sooruzheniia, 1990, no.2, pp.32-33. (In Russian)

16. Busarov Y.P., Cherkunov V.B. Dinamicheskii gasitel' kolebanii. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR na izobretenie № 1413328, 1988. (In Russian)

17. Gabibov F.G., Turkiya A.V. Ekran dlia snizheniia seismicheskikh vozdeistvii vzryva ot statsionarnoi vzryvnoi ustanovki. Avtorskoe svidetelstvo SSSR na izobrenenie № 1550960, 1988. (In Russian)
18. Gabibov F.G. Ekran dlia gasheniia seismicheskikh voln v grunte. Informatsionnyi listok AzNIINTI. Baku. 1992, no.87, 4 p. (In Russian)
19. Baynatov J.B. Ekran dlia zashchity fundamentov zdaniy i sooruzheniy ot seismokolebaniy grunta. Patent Respubliki Kazakhstan na izobrenenie № 20744, 2003. (In Russian)
20. Gabibov F.G. Seismostoikaia plotina. Patent Azerbaidjanskoi Respubliki na izobrenenie № i 2013 0038, 2010. (In Russian)
21. Shokbarov E.M., Gabibov F.G., Habibova L.F. Plotina iz mestnykh materialov. Patent Respubliki Kazakhstan na izobreneniye №33971, 2019. (In Russian)
22. Shokbarov E.M., Gabibov F.G., Habibova L.F. Sposob izgotovleniia betonnykh blokov armiruiushchih elementov plotiny iz mestnykh materilov. Patent Respubliki Kazakhstan na izobrenenie № 33961, 2019. (In Russian)
23. Gabibov F.G. i dr. Seismostoikaia gruntovaia plotina, vozvodimaia v shirokikh stvorah. Patent RF na izobrenenie № 2556896, 2015. (In Russian)
24. Gabibov F.G. i dr. Seismostoikaia gruntovaia plotina, vozvodimaia v uzkih stvorah. Patent RF na izobrenenie № 2558280, 2015. (In Russian)

Информация об авторах/ Information about authors

Габиров Фахрадин Гасан оглы, доктор технических наук, Азербайджанский научно-исследовательский институт строительства и архитектуры. Баку, Республика Азербайджан farchad@yandex.ru

Шокбаров Ералы Мейрамбекович, кандидат технических наук, управляющий директор по производству АО «КазНИИСА». Алматы, Республика Казахстан eralykarakat@mail.ru

Габирова Лейли Фахрадин кызы, инженер, HALLIBURTON Company. USA

Gabibov Fahraddin G., Doctor of Technical Sciences, Azerbaijan Research Institute of Construction and Architecture. Baku, Republic of Azerbaijan farchad@yandex.ru

Shokbarov Eraly M., candidate of technical sciences, Kazakh Scientific Research Institute of Construction and Architecture. Almaty, Republic of Kazakhstan eralykarakat@mail.ru

Habibova Leila F., engineer, HALLIBURTON Company. USA

Поступила в редакцию / Received – 15.04.2021

Поступила после рецензирования и доработки / Revised – 20.05.2021

Принята к публикации / Accepted – 11.06.2021

УДК: 699.841

DOI [10.37153/2618-9283-2021-3-41-48](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-41-48)

Сейсмозащита и сейсмоизоляция зданий и сооружений

Повышение сейсмостойкости эксплуатируемых зданий с использованием специальных методов сейсмозащиты

Белаш Т.А.¹, Ерохина Е.Д.²

^{1,2} Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС). Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация: Изменение уровня сейсмичности зданий и сооружений происходит в результате обновления карт общего сейсмического районирования. Обеспечение сейсмостойкости зданий и сооружений – фактор, который необходимо учитывать, особенно при строительстве в сейсмически активных районах. Приведена классификация систем сейсмоусиления, среди которых наиболее щадящими являются специальные методы сейсмозащиты в виде сейсмоизоляции. Приведены практические примеры использования систем сейсмоизоляции для повышения сейсмостойкости существующих зданий. Выполнено расчетное исследование, результат которого показал эффективность применения резинометаллических опор для повышения сейсмостойкости зданий.

Ключевые слова: сейсмика, эксплуатируемые здания, сейсмостойкость, дефицит сейсмостойкости, сейсмоизоляция, резинометаллические опоры

Для цитирования: Белаш Т.А., Ерохина Е.Д. Повышение сейсмостойкости эксплуатируемых зданий с использованием специальных методов сейсмозащиты // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2021. № 3. С. 41-48.

DOI: [10.37153/2618-9283-2021-3-41-48](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-41-48)

Seismic protection and seismic isolation of buildings and structures

Increasing the seismic resistance of operated buildings using special seismic protection methods

Belash T.A.¹, Erokhina E.D.²

^{1,2} Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract: The change in the level of seismicity of buildings and structures occurs as a result of updating the maps of general seismic zoning. Ensuring the seismic resistance of buildings and structures is a factor that must be taken into account, especially during construction in seismically active regions. Nowadays, one of the main approaches to increasing seismic resistance is the use of various seismic isolation systems. It is not always profitable and rational to increase the seismic resistance of building structures or foundations for equipment by simply increasing the strength. A classification of seismic reinforcement systems is given, among which

@ Т.А. Белаш, Е.Д. Ерохина, 2021

the most sparing are special methods of seismic protection in the form of seismic isolation. Practical examples of the use of seismic isolation systems to improve the seismic resistance of existing buildings are given. A computational study was carried out, the result of which showed the effectiveness of using rubber-metal supports for hanging the seismic resistance of buildings.

Keywords: seismic, exploited buildings, seismic resistance, seismic resistance deficit, seismic isolation, rubber-metal supports

For citation: Belash T.A., Erokhina E.D. Increasing the seismic resistance of operated buildings using special seismic protection methods. *Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Constructions safety*. 2021, no. 3, pp. 41-48. (In Russian)
DOI: [10.37153/2618-9283-2021-3-41-48](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-41-48)

Как известно, сейсмичность территории России определяется по картам общего сейсмического районирования (ОСР).

В результате накопления информации о регулярно происходящих землетрясениях, коллектив в составе 50 ученых из отраслевых институтов и организаций РАН на протяжении длительного времени изучает и вносит правки в карты ОСР, новая редакция которых выходит регулярно каждые 10-12 лет.

Изменение уровня сейсмичности ряда районов территории России в сторону увеличения привело к необходимости решения следующих задач для существующих зданий и сооружения, построенных по старым нормам:

- проведение обследований зданий и сооружений;
- определение надежности и прочности конструкций зданий;
- определение дефицита сейсмостойкости зданий и сооружений;
- усиление зданий и сооружений для повышения уровня их сейсмостойкости.

В сейсмостойком строительстве сложилась определенная практика повышения сейсмостойкости эксплуатируемых зданий, которая достигается за счет использования традиционных и специальных методов сейсмозащиты. Традиционные методы направлены на повышение несущей способности здания и реализуются путем торкретирования, аппликации, устройства дополнительных опор, стен, диафрагм жесткости, использования предварительного напряжения и т.п. Наряду с этими методами в настоящее время все большее распространение получают специальные методы сейсмозащиты, применение которых приводит к изменению работы динамической схемы сооружения. Они подразделяются на системы сейсмоизоляции и сейсмогашения. Системы сейсмоизоляции предполагают установку в фундаментной части строительного объекта элементов повышенной податливости, приводящих к отстройке спектра сооружения от спектра воздействия в длиннопериодную область. В системах сейсмогашения механическая энергия колеблющихся конструкций переходит в другие виды энергии, что приводит к демпфированию колебаний. Классификация методов специальной сейсмозащиты приведена в работах [1] и [2].

Ниже представлены некоторые примеры реализации специальных методов сейсмозащиты в конструкциях эксплуатируемых зданий. Использование специальных методов сейсмозащиты для повышения сейсмостойкости существующих зданий на территории РФ впервые было выполнено для повышения сейсмостойкости памятников архитектуры в г. Иркутске Я.М. Айзенбергом и В.И. Смирновым [3], пример конструктивной реализации такого подхода показан на рис. 1.

В фундаментную часть были введены сейсмоизолирующие опоры, которые позволили существенно снизить сейсмическую нагрузку на здание банка, сохранив при этом исторический облик здания и не нарушив его архитектурную композицию.

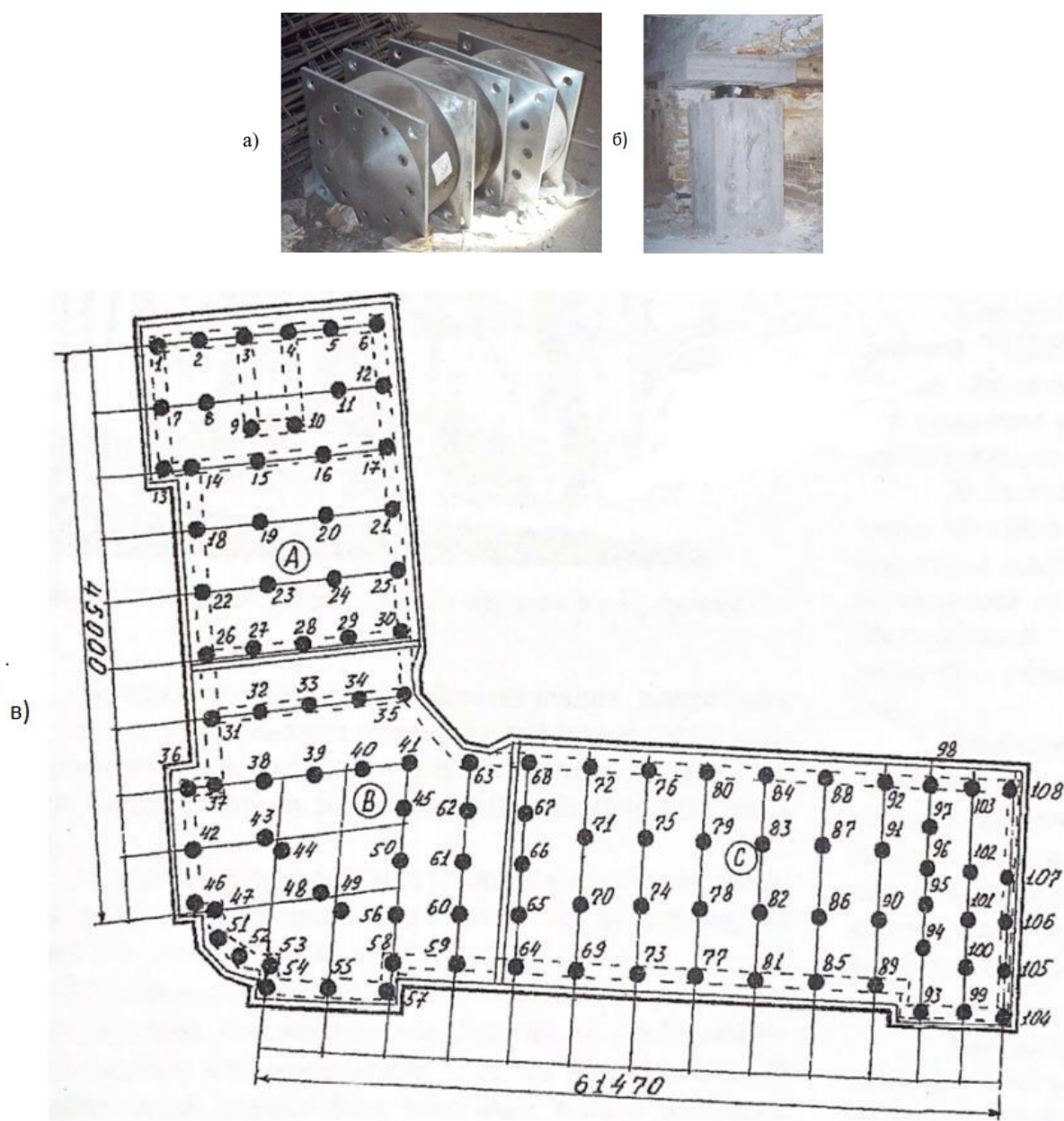


Рисунок 1 – Реконструкция и сейсмоусиление здания банка в г. Иркутске [3]:
а) общий вид сейсмоизолирующих опор, б) сейсмоизолирующая опора под несущей стеной, в) расположение сейсмоизолирующих опор в плане здания

Figure 1 – Reconstruction and seismic reinforcement of the bank building in Irkutsk [3]:
a) general view of earthquake-isolating, b) supports an earthquake-isolating support under the load-bearing wall, c) the location of the earthquake-isolating supports in the building plan

На рис. 2 [4] показан пример реализации системы сейсмогашения в виде динамического гасителя на покрытии эксплуатируемого здания. Роль гасителя выполняют специально установленные на покрытии блоки, которые связаны со зданием через упругие элементы. Установка гасителя обеспечивает существенное снижение амплитуды перемещений главной массы здания. В случае нежилого верхнего этажа, по верху здания может быть устроен жесткий монолитный ростверк, в который заделываются гибкие стойки, на стойки укладываются железобетонные перекрытия, выступающие в роли

гасящей массы. Здания с гибким верхним этажом впервые были исследованы и реализованы в Армении в городах Ереване и Кировакане.

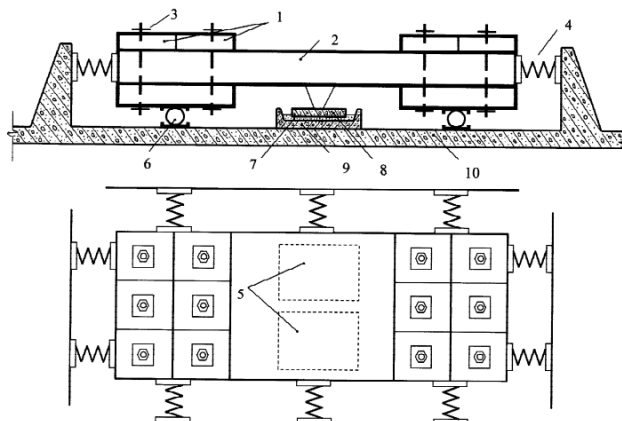


Рисунок 2 – Динамический гаситель колебаний

1 – блоки; 2 – бетонная плита; 3 – разъемные элементы; 4 – пружины;
5 – демпферы сухого трения; 6 – шары и пластины; 7 – песок; 8 – бетонная плита демпфера; 9 – бетонный поддон; 10 – перекрытие здания [4]

Figure 2 – Dynamic vibration damper:

1 – blocks; 2 – concrete slab; 3 – detachable elements; 4 – springs; 5 – dry friction dampers;
6 – balls and plates; 7 – sand; 8 – damper concrete slab; 9 – concrete pallet; 10 – building overlap [4]

Другие примеры реализации специальных методов сейсмозащиты в эксплуатируемых зданиях рассмотрены, например, в работах [5], [6].

Анализ существующего материала свидетельствует об актуальности и важности рассматриваемой проблемы. При этом основным вопросом особенно для жилых зданий остается возможность проживания жильцов в своих квартирах во время проведения работ по усилению здания и к снижению дискомфорта нахождения в них. В этой связи наиболее щадящим методом повышения сейсмостойкости следует признать использование сейсмоизоляции, которая затрагивает в основном только фундаментную часть существующего здания. Для дальнейшего распространения этого конструктивного решения и внедрения его в практику строительства необходимо проведение дополнительных исследований и накопление соответствующего опыта. В настоящей статье представлены некоторые результаты этих исследований.

Для выполнения исследования была выбрана площадка города Южно-Сахалинска, которая расположена на стыке Тихоокеанской и Евразийской литосферных плит, отнесенная к району возникновения землетрясений с интенсивностью 8-9 баллов.

На официальном сайте администрации города Южно-Сахалинска представлен реестр зданий, требующих сейсмоусиления. В данном реестре приведено большое количество жилых зданий, имеющих дефицит сейсмостойкости в 2 и более балла. Объектом исследования в данной работе выбрано панельное жилое здание типовой постройки.

В качестве объекта исследования было принято 5-этажное крупнопанельное здание 1978 года постройки. Материал несущих стен – панели, перекрытия – железобетонные, фундаменты – сборные ленточные. По результатам обследования здания в 2017 году был установлен дефицит сейсмостойкости в 2 балла.

На рис. 3 представлен план секций типового этажа здания и план фундамента с расстановкой сейсмоизолирующих опор, в качестве которых рассматривались опоры типа СВ ДШР-РСИ (Россия, г. Одинцово) (рис.4).

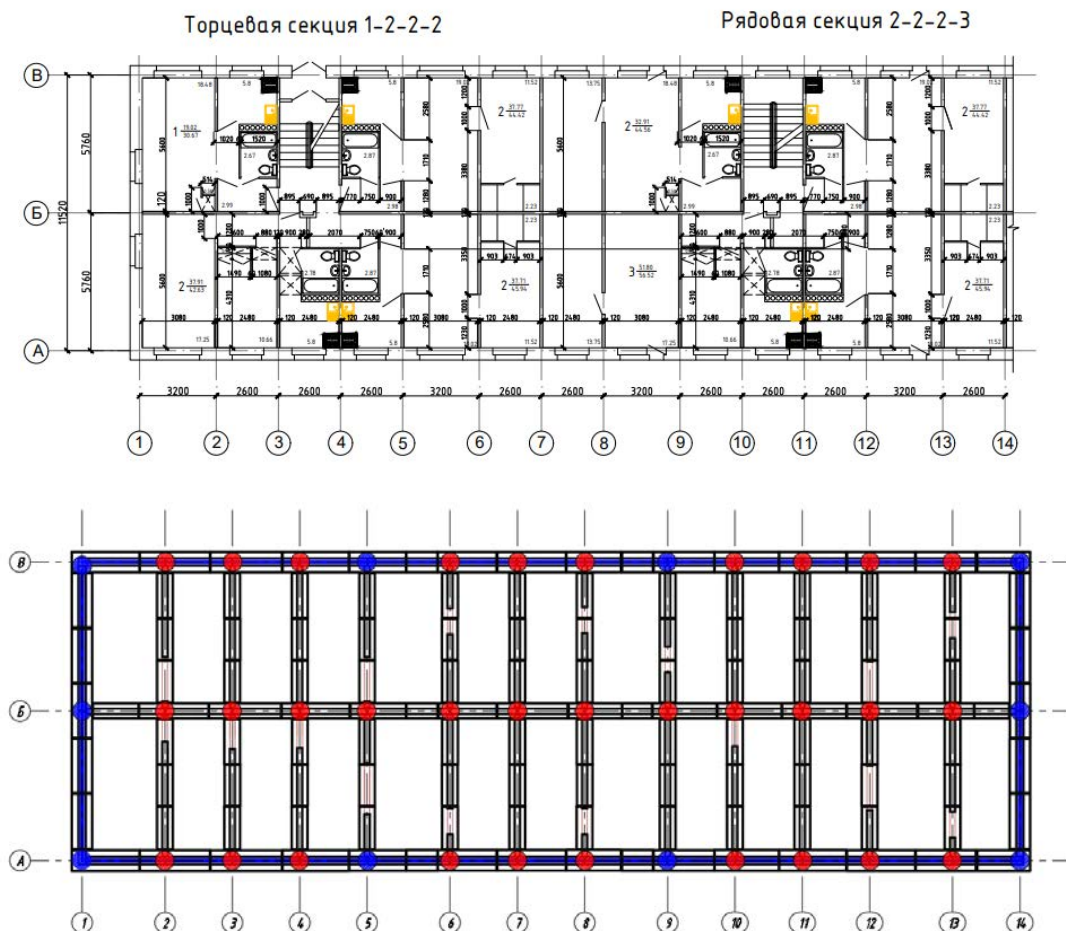


Рисунок 3 – План секций, план фундаментов с расставленными резинометаллическими опорами

Figure 3 – Section plan, foundation plan with spaced rubber-metal supports

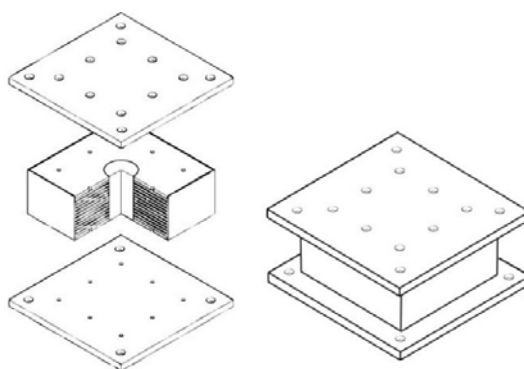


Рисунок 4 – Конструкция резинометаллический опоры СВ ДШР-РСИ

Figure 4 – Construction of rubber-metal support SV DSHR-RSI

Для оценки эффективности предлагаемого средства защиты были выполнены расчетные исследования с использованием программно-вычислительного комплекса SCAD 21.1. Расчетная модель представлена на рис. 5.

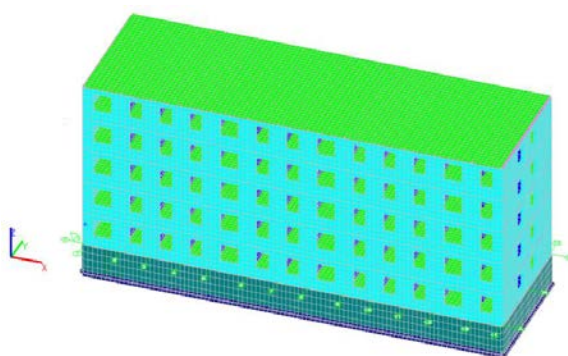


Рисунок 5 – Расчетная модель исследуемого здания, созданная в ПК SCAD 21.1

Figure 5 – Computational model of the building under study, created in PVC SCAD 21.1

Конструктивные элементы в программном комплексе моделировались в виде пластин и стержней со своими жесткостными и геометрическими параметрами.

Расчеты выполнялись по линейно-спектральной методике. Некоторые результаты исследования представлены на рис. 6.

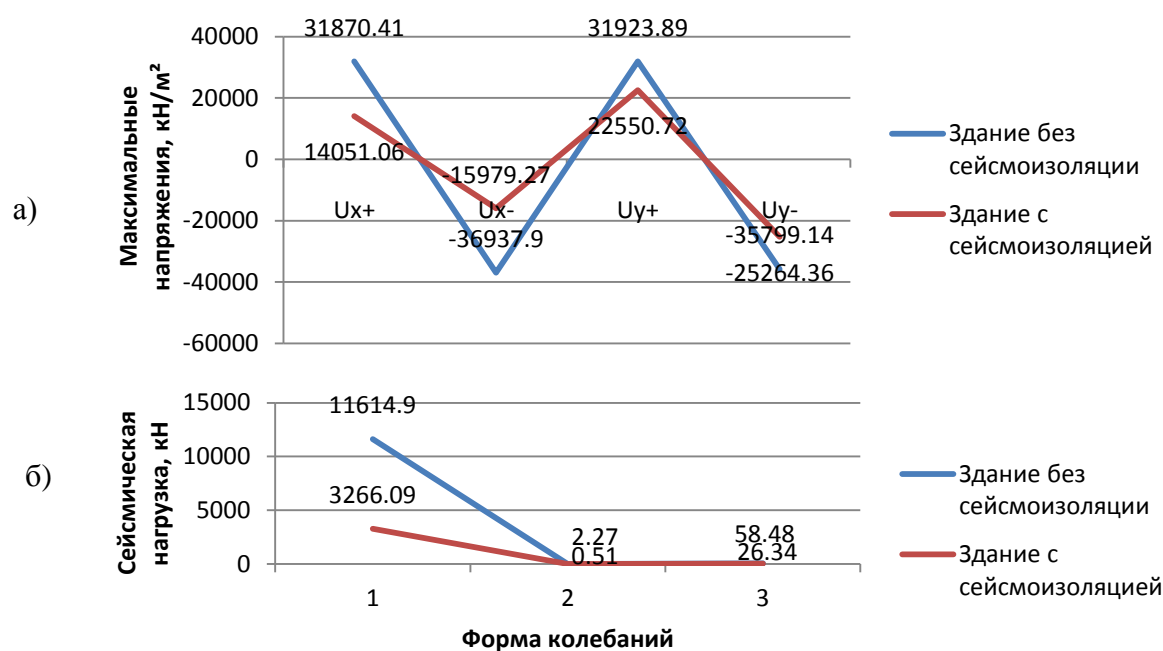


Рисунок 6 – Результаты проведенного расчетного исследования

а) изменение напряжений в конструкциях здания в зависимости от установки в него сейсмоизоляции; б) изменение воздействия расчетной сейсмической нагрузки на здание в зависимости от установки в него сейсмоизоляции

Figure 6 – The results of the computational study: а) the change in stresses in the structure of the building, depending on the installation of seismic isolation in it; б) change in the impact of the design seismic load on the building, depending on the installation of seismic isolation in it

Установлено, что введение сейсмоизоляции в виде податливых опорных элементов в эксплуатируемое здание способствует повышению его несущей способности при сейсмических воздействиях в 2 и более раз. Таким образом, принятое конструктивное решение позволяет довести сейсмостойкость здания до требуемого уровня.

Заключение

1. Для доведения сейсмостойкости эксплуатируемых зданий до требуемого уровня могут быть использованы традиционные и специальные методы сейсмозащиты, среди которых наиболее эффективными и комфортными с точки зрения возможности нахождения во время ремонта в них людей являются специальные методы в виде систем сейсмоизоляции и сейсмогашения.

2. Установлено, что использование сейсмоизоляции позволяет ликвидировать дефицит сейсмостойкости рассматриваемого здания, снижение сейсмической нагрузки происходит в два и более раз.

3. Реализация сейсмоизоляции путем установки в фундаментную часть эксплуатируемого здания податливых опорных элементов является наиболее щадящим конструктивным решением, которое позволяет проживающим находиться в своих квартирах при условии минимального их дискомфорта во время ремонта.

Литература

1. Белаш Т.А. Нетрадиционные способы сейсмозащиты транспортных зданий и сооружений: монография. М.: ФГБОУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». 2017. 175 с.

2. Уздин А.М. Энергопоглощение в системах сейсмозащиты зданий и сооружений: монография / А.М. Уздин, Т.А. Белаш. Спб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. 178 с.

3. Айзенберг Я.М., Смирнов В.И. Сейсмоизоляция зданий и сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2002. №2. С. 31-37.

4. Патент №2000103556 Российская Федерация, МПК E04B 1/98 (2000.01). Динамический гаситель колебаний зданий и сооружений: № 2000103556/20: заявл. 11.02.200: опубл. 10.08.2000/ Белаш Т.А., Бенин А.В., Богданова Г.А., Елизаров С.В., Иванова Ж.В. 9 с.

5. Мосина Н., Веревкин Д., Чубаков М. Опыт применения программного комплекса SCAD Office для анализа системы сейсмозащиты здания Республиканского национального театра драмы в Горно-Алтайске/Текст: электронный // CADmaster 4. 2005. URL:https://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_29_scad_office.html (дата обращения 29.04.2021).

6. Мурадян Г.К. Необходимость применения современных методов для повышения сейсмоустойчивости существующих зданий / Мурадян Г.К. // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2018. Том 2. С. 218-227.

References

1. Belash T.A. Netraditsionnye sposoby seismozaschity transportnyh zdaniy i sooruzhenii: monograph.M.: FGBOU «Uchebno-metodicheskii tsentr po obrazovaniiu na zheleznodorozhnom transporte». 2017. 175p. (In Russian)

2. Uzdin A.M. Energopogloshchenie v sistemah seismozashchity zdaniy i sooruzhenii: monografiia / A.M. Uzdin, T.A. Belash. Spb.: FGBOU VO PGUPS, 2020.178 p.

3. Eizenberg J.M., Smirnov V.I. Seismoizoliatsiia zdaniy i sooruzhenii. Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopastnost' sooruzhenii. 2002, no.2, pp. 31-37. (In Russian)

4. Patent №2000103556 Rossiiskaia Federatsiia, MPK E04B 1/98 (2000.01). Dinamicheskii gasitel' kolebaniy zdaniy i sooruzhenii: № 2000103556/20: zayavl. 11.02.200: opubl. 10.08.2000/ Belash T.A., Benin A.V., Bogdanova G.A., Elizarov S.V., Ivanova Zh.V. 9 p. (In Russian)

5. Mosina N., Verevkin D., M.Chubakov. Opyt primeneniia programmno kompleksa SCAD Office dlia analiza sistemy seismozashchity zdaniia Respublikanskogo nacional'nogo teatra dramy v Gorno-Altayske. Tekst: elektronnyi // CADmaster 4. 2005. URL: https://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_29_scad_office.html (data obrashcheniia 29.04.2021). (In Russian)

6. Muradyan G.K. Neobhodimost' primeneniia sovremennykh metodov dlia povysheniia seismovooruzhennosti sushchestvuiushchih zdaniy. Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriia i praktika. 2018, vol. 2, pp. 218-227. (In Russian)

Информация об авторе/ Information about author

Белаш Татьяна Александровна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Здания» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС). Санкт-Петербург, Российская Федерация belashta@mail.ru

Ерохина Елизавета Дмитриевна, магистр, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС). Санкт-Петербург, Российская Федерация liza.erhn@mail.ru

Belash Tatiana A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the department Buildings of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. Saint-Petersburg, Russian Federation belashta@mail.ru

Erokhina Elizaveta D., magister, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. Saint-Petersburg, Russian Federation liza.erhn@mail.ru

Поступила в редакцию / Received – 10.06.2021

Поступила после рецензирования и доработки / Revised – 17.06.2021

Принята к публикации / Accepted – 18.06.2021

УДК 699.841

DOI [10.37153/2618-9283-2021-3-49-60](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-49-60)

Мониторинг и паспортизация зданий и сооружений

Вероятностная оценка величин надежности для каркасных зданий по результатам паспортизации с учетом тектонических разломов

Лапин В.А.¹, Алдахов Е.С.¹, Алдахов С.Д.¹, Али А.Б.¹

¹АО «КазНИИСА». Алматы, Республика Казахстан

Аннотация: При бюджетном финансировании в течение двух лет в 2017-2018 годы впервые выполнена тотальная паспортизация жилого фонда многоквартирных зданий. Внесено в базу данных всего 8171 здание, из которых 1847 являются многоэтажными каркасными зданиями различной этажности и конструктивных решений. Установлено, что 1628 каркасных зданий являются сейсмостойкими, 59 зданий с первым гибким этажом являются несейсмостойкими и 160 – находятся в зоне тектонических разломов на территории города. Принята гипотеза, что здания, расположенные в зоне тектонических разломов, будут разрушены. В этих условиях впервые получены количественные оценки величин вероятности отказа и надежности для каркасных зданий различных типов. Учитывается повторяемость землетрясений согласно действующей «Карты сейсмического зонирования Республики Казахстан». Результаты оценок величин надежности и отказа используются для практических рекомендаций по уменьшению риска и ожидаемых потерь при возможных землетрясениях. Предлагается тотальное усиление каркасных зданий с первым гибким этажом (59 зданий). Однако при этом условная вероятность отказа по группе жилых каркасных зданий останется ненулевой. Способ усиления должен определяться по результатам экспериментальных исследований.

Ключевые слова: паспортизация, риск, каркасное здание, каркасно-кирпичное здание, надежность, усиление, повторяемость

Благодарности: Исследование выполнено с использованием средств гранта АР 05130702 Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Для цитирования: Лапин В.А., Алдахов Е.С., Алдахов С.Д., Али А.Б. Вероятностная оценка величин надежности для каркасных зданий по результатам паспортизации с учетом тектонических разломов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2021. № 3. С. 49-60.

DOI: [10.37153/2618-9283-2021-3-49-60](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-49-60)

Monitoring and certification of seismic constructions

Probabilistic estimation of reliability values for frame buildings based on the results of certification taking into account tectonic faults

Lapin V.A.¹, Aldakhov E.S.¹, Aldakhov S.D.¹, Ali A.B.¹

¹KazRDICA JSC, Almaty, Republic of Kazakhstan

@ Лапин В.А., Алдахов Е.С., Алдахов С.Д., Али А.Б., 2021

Abstract: With budget funding for two years in 2017-2018, the total certification of the housing stock of multi-apartment buildings was carried out for the first time. A total of 8,171 buildings were entered into the database, of which 1,847 are multi-storey frame buildings of various storeys and design solutions. It is established that 1628 frame buildings are earthquake-resistant, 59-buildings with the first flexible floor are non-earthquake-resistant and 160-are located in the zone of tectonic faults on the territory of the city. The hypothesis is accepted that buildings located in the zone of tectonic faults will be destroyed. Under these conditions, quantitative estimates of the failure probability and reliability values for frame buildings of various types were obtained for the first time. The frequency of earthquakes is taken into account according to the current "Map of seismic zoning of the Republic of Kazakhstan". The results of the reliability and failure estimates are used for practical recommendations to reduce the risk and expected losses in possible earthquakes. Total reinforcement of frame buildings with the first flexible floors (59 buildings) is proposed. However, the conditional probability of failure for a group of residential frame buildings will remain non-zero. The method of amplification should be determined based on the results of experimental studies.

Keywords: certification, risk, frame building, frame-brick building, reliability, reinforcement, repeatability

Acknowledgements: The research was carried out using the grant AP 05130702 of the Ministry of education and science of the Republic of Kazakhstan.

For citation: Lapin V.A., Aldakhov E.S., Aldakhov S.D., Ali A.B. Probabilistic estimation of reliability values for frame buildings based on the results of certification taking into account tectonic faults. *Seismostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Constructions safety*. 2021, no. 3, pp. 49-60. (In Russian)

DOI: [10.37153/2618-9283-2021-3-49-60](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-49-60)

Введение

Город Алматы расположен севернее хребта Заилийский Алатау на территории выноса рек Большой и Малой Алматинки, а также примыкающей к ним территории наклонной равнины. Территория города в настоящее время превышает 300 км² и его население уже превышает 2 млн. человек.

Территория города расположена в зоне возможных очагов землетрясений (зоны ВОЗ) с магнитудой 7,1 и более. На территории города находятся многочисленные тектонические разломы. Сильные землетрясения могут вызвать на поверхности грунта остаточные деформации, обвалы, оползни, сели и сейсмические воздействия с интенсивностью проявления свыше 9 баллов. Все это наблюдалось при сильнейших землетрясениях в 1887-1911 годах (Верненское 1887 года, Чиликское 1889 года и Кебинское (Кеминское) 1911 года) [1-3].

В городе Алматы расположено большое количество каркасных зданий, возведенных в последние 30-35 лет. Это пятиэтажные каркасные жилые дома типовых серий 70с, ВТ, ВП-1, а также девятиэтажные каркасные жилые здания, возведённые по типовой серии СЖКУ-9.

Применение каркасных зданий в сейсмических районах обусловлено их хорошей сопротивляемостью сейсмическим воздействиям при землетрясениях. Было установлено, что

если каркасные здания запроектированы с соблюдением принципов сейсмостойкого строительства, то сейсмостойкость таких зданий не вызывает сомнения [1,3,4].

Практически во всех каркасных зданиях применялись сборные перекрытия из железобетонных плит с пустотами и обвязками из монолитного железобетона. В качестве ограждающих конструкций в зданиях высотой до пяти этажей в основном применялся кирпич, высотой более пяти этажей – навесные сборные керамзитобетонные панели. Высота жилых каркасных зданий варьируется в пределах от 4 до 9 этажей.

Кроме указанных конструктивных типов, в застройке города Алматы присутствуют также каркасные здания с первым гибким этажом, с диафрагмами и ядрами жесткости, различного рода безригельные системы.

Здания с первым гибким этажом весьма уязвимы при землетрясениях. На основе анализа последствий сильных землетрясений установлено, что главной причиной разрушения таких зданий является потеря устойчивости стоек из-за больших перемещений при сильных сейсмических событиях.

В 2017-2018 годы в городе Алматы проведена значительная работа по тотальной паспортизации многоквартирного жилого фонда [5-10], по результатам которой была создана база данных с электронными паспортами обследованных зданий.

Ниже проводятся оценки надежности и риска таких зданий с использованием результатов паспортизации. Количественные данные по оценкам отказа и надежности каркасных зданий для города Алматы получены впервые.

1. Методы и объекты

1.1. Многоквартирные 5-этажные каркасно-кирпичные жилые дома серии 70с

Жилые дома серии 70с по конструктивной системе относятся к зданиям со сборно-монолитным железобетонным рамно-связевым каркасом.

Размеры поперечного сечения колонн – 50 х 30 см. Размеры поперечного сечения продольных ригелей – 40 х 50 (h) см. Размеры поперечного сечения поперечных ригелей – 50 х 22 (h) см. Класс бетона монолитных железобетонных колонн и ригелей В25.

Диафрагмы жесткости в уровне подвала – сборные железобетонные толщиной 160 мм. Класс бетона диафрагм жесткости В20. Диафрагмы жесткости в уровне 1-5-го этажей – сборные керамзитобетонные толщиной 160 мм. Класс бетона диафрагм жесткости В20.

В уровне технического этажа поперечные ригели и диафрагмы жесткости отсутствуют.

1.2. Многоквартирные 5-этажные каркасно-кирпичные жилые дома серии ВП-1 и ВТ

Жилые дома серии ВП-1 и ВТ по конструктивной системе относятся к зданиям со сборно-монолитным железобетонным рамным каркасом (сетка колонн 3,5х5,4 м и 4,0х6,0 м соответственно). Колонны каркасов в этих сериях выполняются из монолитного железобетона, ригели из сборного железобетона. Все соединения элементов каркасов выполняются путем ванной сварки выпусков арматуры в узлах с последующим их бетонированием.

1.3. Многоквартирные 9-этажные каркасные жилые дома серии СЖКУ-9

Жилые дома серии СЖКУ-9 по конструктивной системе относятся к зданиям со сборным железобетонным рамным пространственным каркасом. Рамные конструкции каркаса расположены в продольном и поперечном направлениях здания. Несущими конструкциями служат поперечные рамы, выполненными из сборных железобетонных укрупненных Ж-образных полурам с поярусной разрезкой колонн на участках наименьших усилий от горизонтальных сейсмических сил, стыки ригелей в среднем пролете выполнены на сварке металлических накладок («рыбок») к металлическим оголовникам ригелей.

В продольном направлении поперечные рамы соединены ригелями продольных рам. Соединения колонн и ригелей продольных рам выполнены на сварке накладок («рыбок»), привариваемых к металлическим оголовникам консолей колонн и ригелей.

1.4. Тектонические разломы в Алматы

Территория г. Алматы расположена в пределах депрессии (впадины) со сложной поверхностью фундамента палеозойских скальных пород с максимальной глубиной погружения 3200-3800 м. Наиболее крутой южный борт депрессии имеет глубину залегания отложений палеозоя от 0 м (выход на поверхность на склонах Заилийского Алатау) до 2600 м. Сравнительно пологий северный борт депрессии характеризуется глубиной фундамента от 1800 м на северо-западе до 2200 м на северо-востоке. Осадочный чехол сложен терригенными отложениями, значительную часть которых на южном борту впадины в пределах города составляют крупнообломочные породы конусов выноса горных рек [2].

Форма круто возвышающейся к югу поверхности фундамента осложнена серией субпараллельных и пересекающихся тектонических разломов. Так как южный борт впадины и северные склоны Заилийского Алатау, по-видимому, являются границей между асейсмическим Казахским щитом и высокосейсмичным Тянь-Шанем, то вследствие субдукционного поддвигания Казахского щита под Тянь-Шань все субширотные разломы имеют крутое падение с ориентацией на юг. Все разломы на уровне фундамента выделены детальными площадными сейсморазведочными наблюдениями и независимо подтверждены материалами высокоточного нивелирования на дневной поверхности. При этом величина смещения по разломам на фундаменте, по данным сейсморазведки, составляет от 100 до 300 м.

На основании всех имеющихся результатов изучения тектонического строения депрессии в г. Алматы и на прилегающих территориях общей площадью 420 км² выделены линейные зоны возможного проявления разломов на дневной поверхности, которые показаны на Карте комплексного сейсмического микрорайонирования г. Алматы. Ширина зон разломов установлена с определенной долей условности и в среднем составляет 300 м. Таким образом, общая площадь зон разломов при их суммарной длине около 110 км составляет 3750 га или 37,5 км².

Согласно требованиям республиканских старых строительных норм СН РК Б.2.2-9-95 «Застройка г. Алматы с учетом сейсмического микрорайонирования», строительных норм 2006 года в зонах возможного проявления тектонических разломов на дневной поверхности размещение зданий и сооружений не допускалось. Тем не менее, более 50% территории, расположенной в зонах разломов, было застроено ранее как индивидуальной жилой застройкой, так и высотными жилыми, общественными и административными зданиями. Такая практика и сложившаяся ситуация создают настоящую угрозу наиболее вероятного разрушения этих зданий при сильных землетрясениях, т.к. они были построены и продолжают строиться без применения повышенных конструктивных мер безопасности.

На рис.1-3 представлены архивные фотографии по историческим землетрясениям, показывающие возможные деформации земной поверхности вблизи тектонических разломов [3].

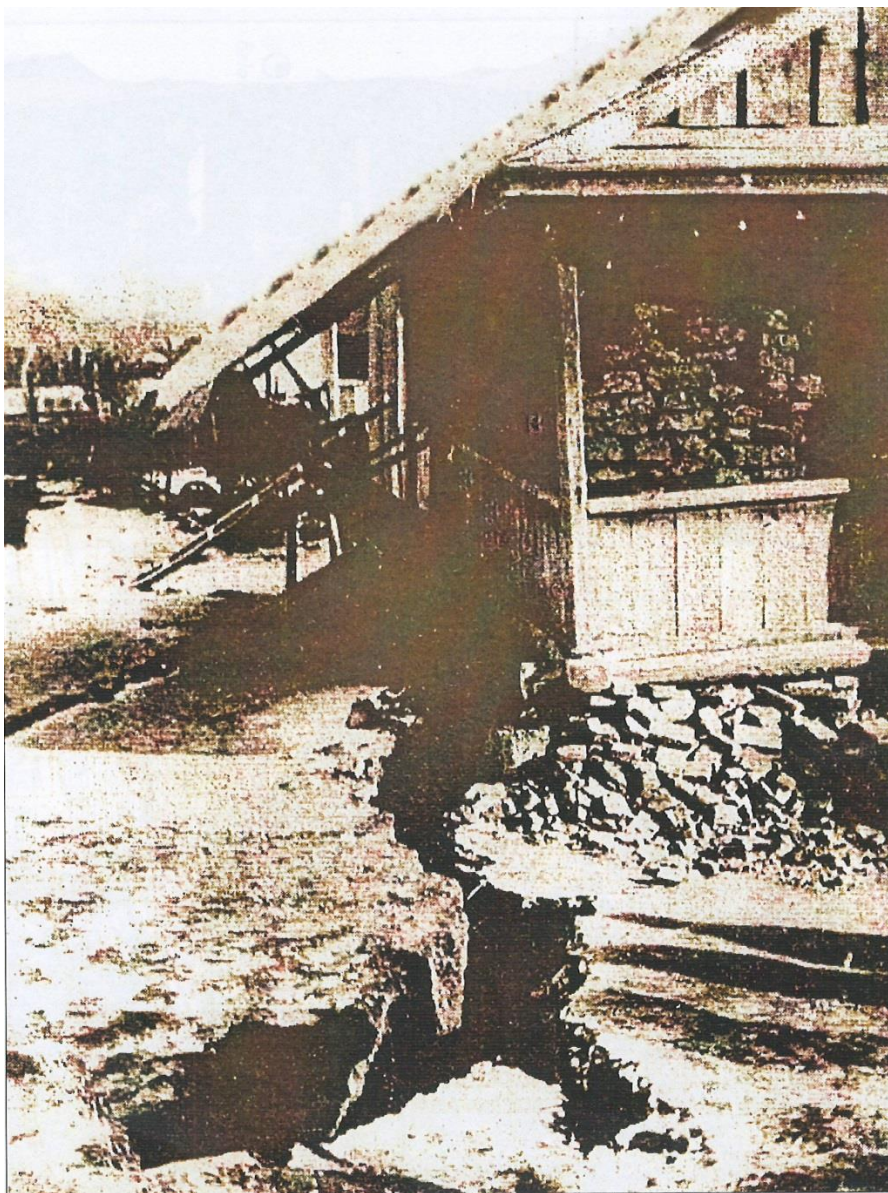


Рисунок 1 – Последствия Кеминского землетрясения на территории г. Верный (ныне Алматы). При землетрясении в грунте образовалась обширная трещина, вызвавшая разрушение фундамента здания

Figure 1 – Consequences of the Kemin earthquake on the territory of the city of Verny (now Almaty). During the earthquake, an extensive crack was formed in the ground, which caused the destruction of the building's foundation



Рисунок 2 – Последствия Кеминского землетрясения на территории г. Верный. На фото показаны обширные трещины в грунте в северо-восточной части территории города. Ширина раскрытия трещин достигает 100 см, а глубина в отдельных случаях до 500 см.

Figure 2 – Consequences of the Kemin earthquake on the territory of the city of Verny. The photo shows extensive cracks in the ground in the northeastern part of the city. The crack opening width reaches 100 cm, and the depth in some cases up to 500 cm.



Рисунок 3 – Последствия Кеминского землетрясения на территории г. Верный. На фото показано дерево диаметром до 0.5 м, разорванное вдоль на высоту до 3.5 м трещиной, образовавшейся в грунте

Figure 3 – Consequences of the Kemin earthquake on the territory of the city of Verny. The photo shows a tree with a diameter of up to 0.5 m, torn along to a height of 3.5 m by a crack formed in the ground

2. Результаты

В таблице 1 приведены результаты паспортизации по группе каркасных зданий. Не сейсмостойкими здесь являются каркасно-кирпичные здания с первым гибким этажом. Это 4% от всего количества каркасных зданий. Поэтому группа каркасных зданий в целом соответствует нормам сейсмостойкого строительства и представляется достаточно безопасной для проживания.

Однако, рассматриваем самый пессимистический случай, что здания, расположенные в зонах городских тектонических разломов, неизбежно будут разрушены. Это последний столбец из таблицы 1. Всего таких каркасных зданий 160. С учетом заведомо не сейсмостойких зданий, сейсмостойких зданий оказывается 1628.

Следовательно, общая надежность группы каркасных жилых зданий с учетом расположенных на тектонических разломах, но без разделения на серии составит $W=1628/1847=0,881$.

Таблица 1 – Многоквартирные каркасные жилые дома по сериям
 Table 1 - Multi-apartment frame residential buildings by series

№	Серии каркасных зданий	Количество зданий	Сейсмостойкие здания	Не сейсмостойкие здания – здания с первым гибким этажом	Здания в зоне тектонических разломов
1	ВП	575	515	13	47
2	ВТ	235	187	11	37
3	70С	18	17	-	1
4	ИПкар	1006	900	32	74
5	СЖКУ-9	13	9	3	1
	Всего	1847	1628	59	160

Интересно отметить, что гипотеза разрушения зданий, расположенных на тектонических разломах значительно влияет на оценки надежности и сейсмостойкости. Расположение здания в зоне разлома это дополнительный поражающий фактор. Конечно, априори нельзя сказать с достоверностью о влиянии тектонического разлома на прочность и надежность здания. Однако запрещение строительства любых типов зданий вблизи разломов свидетельствует в пользу нашей гипотезы.

На уникальных архивных фотографиях (рис.1-3) показано, какие трещины могут возникать на дневной поверхности при сильных землетрясениях. Особенно показателен рис.3, когда трещина расколола достаточно податливое дерево высотой до 3,5 м.

3. Обсуждение

Отказ Q здесь событие, состоящее в том, что при землетрясении интенсивностью 9 баллов степень повреждения объекта будет такой, при которой будет исключено его дальнейшее функционирование. Отнесение здания к классу не сейсмостойких при паспортизации выполняется группой экспертов, которые на основе предыдущего опыта и объективной информации относят его к указанному классу.

Таким образом, также реализуем пессимистический сценарий – к несейсмостойким относим все здания с первым гибким этажом и здания, расположенные в зоне тектонических разломов (таблица 1).

Далее учитывается вероятность отказа зданий с учетом разделения на серии и с учетом повторяемости землетрясений.

Учитываем результаты «Карты сейсмического зонирования территории Республики Казахстан». Реализуется схема или землетрясение с повторяемостью 1 раз в 475 лет, или 1 раз – в 2475 лет. Срок службы здания принят 50 лет.

Отметим, что здания серии СЖКУ-9 оказались наиболее ненадежными при разделении на серии (таблица 2).

В последней строке таблицы 2 приведены суммарные вероятности отказов по всем каркасным зданиям $Q_{475}=0,0818$ и $Q_{2475}=0,0156$.

Таблица 2 – Характеристики вероятности отказа Q для каркасных зданий
 Table 2 – Characteristics of the probability of failure Q for frame buildings

№	Конструктивное решение	Величина отказа по типам каркасным зданиям	Величины отказа при повторяемости 475лет	Величина отказа при повторяемости 2475 лет
1	ВП	0,1043	0,0109	0,0021
2	ВТ	0,2043	0,0215	0,0041
3	70С	0,0556	0,0059	0,0011
4	ИПкар	0,1054	0,0111	0,0021
5	СЖКУ-9	0,3077	0,0324	0,0062
	Итого		0,0818	0,0156

Тогда общая величина $Q_{кар}=Q_9 P_{475} + Q_9 P_{2475}$.

Тогда величина общей надежности по группе каркасных жилых зданий с учетом разделения на серии

$$W_{кар} = 1 - 0,0818 - 0,0156 = 0,9026 \quad (1)$$

Полученная величина общей надежности $W_{кар}$ есть объективная количественная характеристика состояния группы каркасных многоэтажных жилых зданий в г. Алматы с учетом повторяемости сейсмического воздействия и возможности разрушения зданий, расположенных на тектонических разломах. Дальнейшие действия могут изменять указанную величину $W_{кар}$.

Напрашивается интересный вывод. Если усилить все здания с первым гибким этажом – 59 зданий, то в этом случае по всем типам каркасных зданий вероятность отказа останется ненулевой за счет разрушения зданий, расположенных на тектонических разломах.

Следует отметить, что вероятность отказа может быть также определена с помощью других методов определения вероятности отказа и надежности [11-22], разработанных отечественными и зарубежными специалистами.

В заключение необходимо сказать, что в городе Алматы имеется четыре каркасных здания на сейсмоизолирующих кинематических фундаментах [23]. В дальнейшем можно применять и другие сейсмоизолирующие системы [24-26].

4. Выводы

1. Установлено, что 1628 каркасных жилых зданий являются сейсмостойкими, 59 – зданий с первым гибким этажом являются не сейсмостойкими и 160 – находятся в зоне тектонических разломов на территории города.

2. Каркасные здания с «первыми гибкими этажами» не соответствуют требованиям действующих норм и являются сейсмоопасными. Здания с первыми гибкими этажами требуют детального обследования с расчетно-аналитической оценкой несущей способности конструкций и разработке рекомендаций по способу усиления.

3. Здания серии СЖКУ-9 являются наиболее ненадежными при разделении на серии.

4. Получены вероятностные оценки надежности каркасных зданий по результатам паспортизации как с учетом повторяемости землетрясений, так и без нее.

Список литературы

1. Жунусов Т.Ж. Основы сейсмостойкости сооружений. Алматы: РАУАН, 1990. 272 с.
2. Белослюдцев В.М. Изучение зон разломов г. Алматы с целью их строительного освоения // Исследование сейсмостойкости сооружений и конструкций. 2001, вып.20 (30). С.35-37.
3. Таубаев А.С. Аналитическая записка о сейсмическом режиме города Алматы и сейсмостойкости его застройки. Алматы: КазНИИСА. 2008. 28 С.
4. Жунусов Т.Ж., Пак Э.Ф., Лапин В.А. Сейсмостойкость каркасных зданий. Алматы: Гылым. 1990. 175 с.
5. Лапин В.А., Алдахов Е.С., Алдахов С.Д., Али А.Б. Вероятностная оценка величин надежности и риска по результатам паспортизации // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2020. №3. С.53-68. doi 10.37153/2618-9283-2020-3-53-68
6. Лапин В.А., Ержанов С.Е. Проблемы определения сейсмического риска для населенных пунктов Республики Казахстан // Вестник АО КазНИИСА. 2016, вып.7. С.20-24.
7. Лапин В.А., Ержанов С.Е. Алгоритмы определения сейсмического риска для зданий и сооружений в Республике Казахстан // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2017. №3. С.31-39.
8. Алдахов Е.С. Способы оценки сейсмического риска применительно к мегаполису города Алматы // Вестник АО КазНИИСА. 2019, вып.7.(95). С.35-46.
9. Тулеев Т.Д., Алдахов С.Д., Алдахов Е.С., Битимбаев А.Т., Али А.Б., Тажикенов А.Б., Лободрыга Т.Д. Паспортизация объектов недвижимости города Алматы // Вестник АО КазНИИСА. 2018, вып.2.(78). С.6-10.
10. Шокбаров Е.М. Паспортизация зданий и сооружений города Алматы // Вестник АО КазНИИСА. 2020, вып.1(1-3).С.93-96.
11. Хакимов Ш.А. Некоторые вопросы оценки сейсмического риска и антисейсмического усиления зданий // Исследование сейсмостойкости сооружений и конструкций. 2001, вып.20(30). С.167-184.
12. Райзер В.Д. Теория надежности сооружений. М.: Издательство «АСВ». 2010. 384 с.
13. Сейсмический риск и инженерные решения. Сб. статей / Под ред. Ломнитц У., Розенблют Э. М.: Наука. 1981. 86 с.
14. Джинчвелашвили Г.А., Дзержинский Р.И., Денисенкова Н.Н. Количественные оценки сейсмического риска и энергетические концепции сейсмостойкого строительства // Компьютерные исследования и моделирование. 2018. №1.Т.10. С.61-76.
15. Айзенберг Я.М. Модели сейсмического риска и методологические проблемы планирования мероприятий по смягчению сейсмических бедствий // Сейсмостойкое

строительство. Безопасность сооружений. 2004. №6.С.31-37.

16. Кофф Г.Л., Гусев А.А., Воробьев Ю.Л., Козьменко С.Н. Оценка последствий чрезвычайных ситуаций. М.:ИПК РЭФИА. 1998. 364 с.

17. Напетваридзе Ш.Г. Вероятностные задачи инженерной сейсмологии и теории сейсмостойкости. Издательство «Мецниереба», Тбилиси.1985.110 с.

18. Liu Xiao-Xiao, Wang Yuan-Sheng. A New Formulation on Seismic Risk Assessment for Reinforced Concrete Structures with Both Random and Bounded Uncertainties. *Discrete dynamiks in Nature&Society*, 11(1)2018, pp.1-15. DOI:10.1155/2018/5027958.

19. Fathi-Fazi Reza, Jacques Eric, Cai Zhen, Kadhom Bessam. Development of a preliminary seismic risks creening tool for existing building in Canada. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 2018, vol.45 Issue 9, pp.717-727. DOI:10.1139/cjce-2017-0504

20. Bunea Geordina, Doniga Cornel, Atanasiu Gabriela M. Study Concerning the Level of Seismic Risk in Iasi Manicipality. *Advanced Engineering Forum*. 2017, Vol.21, pp.86-93. DOI 10.4028/www.scientific.net/AEF.21.86.

21. Ahmad Naveed, Ali Qaisar, Adil Muhammad, Khan Akhtar Naeem. Developing Seismic Risk Prediction Functions for Structures. *Shock&Vibration*. 4/29/2018, pp.1-22. DOI:10.1155/2018/4186015.

22. Hare H. John. A different way of thinking about seismic risk: a call for debate. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, Sep.2019, Vol.52, Issue 3, pp.141-149. DOI:10.5459/BNZSEE.52.3.141-149

23. Lapin V. A., Yerzhanov S. Y., Aldakhov Y. S. (2020). Statistical modeling of a seismic isolation object under random seismic exposure *Journal of Physics: Conference Series* 1425 012006 doi:10/1088/1742-6596/1425/1/012006

24. Dyrda V., Kobets A., Bulat I., Lapin V., Lysytsia N., Ahaltsov H., Sokol S. (2019). Vibroseismic protection of heavy mining machines, buildings and structures. *E3S Web of Conferences*, 109, 00022. <http://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900022>

25. Bulat A. F., Dyrda V. I., Lysytsya M. I., Grebenyuk S. M. (2018). Numerical Simulation of the Stress-Strain State of Thin-Layer Rubber-Metal Vibration Absorber Elements Under Nonlinear Deformation. *Strength of Materials*, 50(3), pp. 387–395. <http://doi.org/10.1007/s11223-018-9982-9>

26. Bulat A. F., Dyrda V. I., Grebenyuk S. N., Klimenko M. I. (2019). Determination of effective characteristics of the fibrous viscoelastic composite with transversal and isotropic components. *Strength of Materials*, 51(2), pp.183-192. <https://doi.org/10.1007/s11223-019-00064-x>

References

1. Zhunusov T.Zh. Osnovy seismostoikosti sooruzhenii. Almaty: RAUAN. 1990. 272 p. (In Russian)
2. Beloslyudtsev V.M. Izuchenie zon razlomov g.Almaty s tseliu ikh stroitel'nogo osvoeniia. Issledovanie seismostoikosti sooruzhenii i konstruktсии». 2001, vyp. 20 (30), pp.35-37. (In Russian)
3. Taubaev A.S. Analiticheskaya zapiska o seismicheskom rezhime goroda Almaty i seismostoikosti ego zastroiки. Almaty: KazNIISA, 2008. 28 p. (In Russian)
4. Zhunusov T. Zh., Pak E.F., Lapin V.A. Seismostoikost karkasnykh zdanii. Almaty: Gylym, 1990. 175 p. (In Russian)
5. Lapin V.A., Aldakhov E.S., Aldakhov S.D., Ali A.B. Veroyatnostnaya otsenka velichin nadezhnosti i riska po rezul'tatam pasportizatsii. Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii. 2020, no.3, pp.53-68. doi 10.37153/2618-9283-2020-3-53-68 (In Russian)
6. Lapin V.A., Erzhanov S.E. Problemy opredeleniia seismicheskogo riska dlia naselennykh punktov Respubliki Kazakhstan. Vestnik AO KazNIISA. 2016, vyp.7, pp.20-24. (In Russian)

7. Lapin V.A., Erzhanov S.A. Algoritmy opredeleniia seismicheskogo riska dlya zdanii i sooruzhenii v Respublike Kazakhstan. Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii. 2017, no.3, pp.31-39. (In Russian)
8. Aldakhov E.S. Sposoby otsenki seismicheskogo riska primenitel'no k megapolisu goroda Almaty. Vestnik AO KazNIISA. 2019, vyp.7 (95), pp.35-46. (In Russian)
9. Tuleev T.D., Aldakhov S.D., Aldakhov E.S., Bitimbaev A.T., Ali A.B., Tazhikenov A.B., Lobodryga T.D. Paspportizatsia ob'ektov nedvizhimosti goroda Almaty. Vestnik AO KazNIISA. 2018, vyp.2 (78), pp.6-10. (In Russian)
10. Shokbarov E.M. Paspportizatsiya zdaniy i sooruzhenij goroda Almaty`. – «Vestnik AO KAZNIISA», 2020 g., vy`p.1(1-3).- S.93-96. (In Russian)
11. Khakimov Sh.A. Nekotorye voprosy otsenki seismicheskogo riska i antiseismicheskogo usileniia zdanii. Issledovanie seismostoi kosti sooruzhenii i konstruksii. 2001, vyp.20 (30), pp.167-184. (In Russian)
12. Raizer V.D. Teoriia nadezhnosti sooruzhenii. M.: Izdatel'stvo «ASV», 2010, 384 p. (In Russian)
13. Seismicheskii risk i inzhenernye resheniia. Sb. statei. Pod red. Lomnitz U., Rozenblyut E. M.: Nauka, 1981, 86 p. (In Russian)
14. Dzhinchvelashvili G.A., Dzerzhinskii R.I., Denisenkova N.N. Kolichestvennye otsenki seismicheskogo riska i energeticheskie konceptsii seismostoi kogo stroitel'stva. Kompiuternye issledovaniia i modelirovanie. 2018, t.10, no.1, pp.61-76. (In Russian)
15. Eizenberg Ya.M. Modeli seismicheskogo riska i metodologicheskie problemy planirovaniia meropriyatii po smiagcheniiu seismicheskikh bedstvi. Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii. 2004, no.6, pp.31-37. (In Russian)
16. Koff G.L., Gusev A.A., Vorob'ev Yu.L., Kozmenko S.N. Otsenka posledstviia chrezvychainykh situatsii. M.: IPK REFIA, 1998, 364 p. (In Russian)
17. Napetvaridze Sh.G. Veroyatnostnye zadachi inzhenernoi seismologii i teorii seismostoi kosti. Izdatel'stvo «Meczniereba», Tbilisi.1985,110 p. (In Russian)
18. Liu Xiao-Xiao, Wang Yuan-Sheng A. New Formulation on Seismic Risk Assessment for Reinforced Concrete Structures with Both Random and Bounded Uncertainties. Discrete dynamics in Nature&Society, 11(1)2018, pp.1-15. DOI:10.1155/2018/5027958.
19. Fathi-Fazi Reza, Jacques Eric, Cai Zhen, Kadhom Bessam. Development of a preliminary seismic risks creening tool for existing building in Canada. Canadian Journal of Civil Engineering, 2018, vol.45 Issue 9, pp. 717-727. DOI:10.1139/cjce-2017-0504
20. Bunea Geordina, Doniga Cornel, Atanasiu Gabriela M. Study Concerning the Level of Seismic Risk in lasi Manicipality. Advanced Engineering Forum. 2017, Vol.21, pp. 86-93. DOI 10.4028/www.scientific.net/AEF.21.86.
21. Ahmad Naveed, Ali Qaisar, Adil Muhammad, Khan Akhtar Naeem. Developing Seismic Risk Prediction Functions for Structures. Shock&Vibration. 4/29/2018, pp.1-22. DOI:10.1155/2018/4186015.
22. Hare H. John. A different way of thinking about seismic risk: a call for debate. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Sep. 2019, Vol.52 Issue 3, pp.141-149. DOI:10.5459/BNZSEE.52.3.141-149
23. Lapin V. A., Yerzhanov S. Y., Aldakhov Y. S. (2020) Statistical modeling of a seismic isolation object under random seismic exposure. Journal of Physics: Conference Series 1425 012006 doi:10/1088/1742-6596/1425/1/012006
24. Dyrda V., Kobets A., Bulat I., Lapin V., Lysytsia N., Ahaltsov H., Sokol S. (2019) Vibroseismic protection of heavy mining machines, buildings and structures. E3S Web of Conferences, 109, 00022. <http://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900022>
25. Bulat A. F., Dyrda V. I., Lysytsya M. I., Grebenyuk S. M. (2018) Numerical Simulation of the Stress-Strain State of Thin-Layer Rubber-Metal Vibration Absorber Elements Under Nonlinear Deformation. Strength of Materials, 50(3), pp. 387–395. <http://doi.org/10.1007/s11223-018-9982-9>
26. Bulat A. F., Dyrda V. I., Grebenyuk S. N., Klimenko M. I. (2019). Determination of effective characteristics of the fibrous viscoelastic composite with transversal and isotropic components. Strength of Materials, 51(2), pp. 183-192. <https://doi.org/10.1007/s11223-019-00064-x>

Сведения об авторах / Information about the authors

Лапин Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, Директор Центра научных исследований строительной отрасли, ученый секретарь, член-корреспондент НИА РК и МИА, академик Казахской академии архитектуры и строительных наук, АО «КазНИИСА». Алматы, Республика Казахстан lapin_1956@list.ru

Алдахов Еркин Серикович, Директор Центра сейсмостойкости, обследования зданий и сооружений, АО «КазНИИСА». Алматы, Республика Казахстан ealdakhov@kazniisa.kz

Алдахов Серик Джумаханович, заведующий лабораторией системного анализа последствий землетрясений, стихийных бедствий и сейсмического мониторинга АО «КазНИИСА». Алматы, Республика Казахстан saldakhov@kazniisa.kz

Али Алимжан, ведущий инженер лаборатории системного анализа последствий землетрясений, стихийных бедствий и сейсмического мониторинга, АО «КазНИИСА». Алматы, Республика Казахстан aali@kazniisa.kz

Lapin Vladimir A., Candidate of Technical Sciences, Director of the Center for Scientific Research of the Construction Industry, Scientific Secretary, Corresponding member of the NIA RK and MIA, academician of the Kazakh Academy of Architecture and Construction Sciences, KazRDICA JSC. Almaty, Republic of Kazakhstan lapin_1956@list.ru

Aldakhov Yerkin S., Director of the Center for Earthquake Resistance, Inspection of Buildings and Structures, KazRDICA JSC. Almaty, Republic of Kazakhstan ealdakhov@kazniisa.kz

Aldakhov Serik D., Head of the Laboratory for System Analysis of the consequences of Earthquakes, Natural Disasters and Seismic Monitoring KazRDICA JSC. Almaty, Republic of Kazakhstan saldakhov@kazniisa.kz

Ali Alimzhan, Leading Engineer of the Laboratory for System Analysis of the consequences of Earthquakes, Natural Disasters and Seismic Monitoring, KazRDICA JSC». Almaty, Republic of Kazakhstan aali@kazniisa.kz

Поступила в редакцию / Received – 27.04.2021

Поступила после рецензирования и доработки / Revised – 27.05.2021

Принята к публикации / Accepted – 11.06.2021

УДК: 624.042.1

DOI [10.37153/2618-9283-2021-3-61-72](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-61-72)

Теоретические и экспериментальные исследования

Оценка устойчивости монолитных железобетонных несущих систем к прогрессирующему обрушению на основе принципа уровня допускаемых повреждений

Митрович Божидар¹

¹НИУ «Московский государственный строительный университет». Москва, Российская Федерация

Аннотация: В работе представлена методика расчетной оценки устойчивости монолитных железобетонных несущих систем к прогрессирующему обрушению на основе учета упруго-пластических деформаций конструкций с ограничением величины пластической фазы деформирования методом применения коэффициента редукции нагрузочного фактора.

Исследованиями на основе принятой величины относительной деформации, соответствующей образованию допустимой зоны «разрушения» приопорного участка перекрытия при действии поперечных сил, как основного критерия для оценки НДС монолитных железобетонных конструкций для режима отказа вертикальной несущей конструкции, установлены величины коэффициентов допускаемых повреждений, которые отличаются относительной постоянностью величины с увеличением пролета.

Принятые деформационные критерии особого предельного состояния корректно отражают условия формирования допустимого объема повреждений элементов несущих железобетонных систем при прогрессирующем обрушении.

Полученный в рамках выполненных исследований коэффициент редукции (K_1) представляет собой важнейшую деформационную характеристику особого предельного состояния монолитных железобетонных несущих систем зданий и сооружений для аварийной расчетной ситуации, связанной с отказом локального конструктивного элемента.

Ключевые слова: несущие конструкции, напряженно-деформированное состояние, расчетный прогноз, расчетная модель, прогрессирующее обрушение.

Для цитирования: Митрович Б. Оценка устойчивости монолитных железобетонных несущих систем к прогрессирующему обрушению на основе принципа уровня допускаемых повреждений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2021. № 3. С. 61-72.

DOI: [10.37153/2618-9283-2021-3-61-72](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-61-72)

Theoretical and Experimental Studies

Assessment of the resistance of monolithic reinforced concrete bearing systems to progressive collapse based on the principle of the level of permissible damage

Mitrovic Bozidar¹

¹Moscow State University of Civil Engineering. Moscow, Russian Federation

@ Б.Митрович, 2021

Abstract. The paper presents a method of using the reduction factor to ensure the stability of monolithic reinforced concrete bearing structures to progressive collapse.

Studies have established the values of the reduction factor based on the accepted value of the relative deformation corresponding to the formation of an admissible zone of "destruction" of the support section of the overlap under the action of transverse forces, as the main criterion for assessing the stress-strain state of monolithic reinforced concrete structures for the failure mode of a vertical supporting structure.

The accepted deformation criteria for a special limiting state correctly reflect the conditions for the formation of an admissible amount of damage to elements of bearing reinforced concrete systems.

The reduction factor (K_1) obtained in the framework of the research performed is the most important deformation characteristic of the special limiting state of monolithic reinforced concrete bearing systems of buildings and structures for an emergency design situation associated with the failure of a local structural element.

Keywords: Load-carrying structures, stress-and-strain state, design prediction, calculation model, progressive collapse

For citation: Mitrovic B. Assessment of the resistance of monolithic reinforced concrete bearing systems to progressive collapse based on the principle of the level of permissible damage. *Seismostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Constructions safety.* 2021, no. 3, pp. 61-72. (In Russian)

DOI: [10.37153/2618-9283-2021-3-61-72](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-61-72)

Несмотря на то, что прогрессирующее обрушение является достаточно редким явлением, это событие может вызвать серьезные экономические и социальные последствия. В связи с этим вопрос предотвращения прогрессирующего обрушения является одной из важнейших задач строительной науки.

Ключевыми вопросами в проблеме устойчивости к прогрессирующему обрушению являются корректные методы расчетного анализа несущих систем в режиме отказа локального конструктивного элемента и характеристики особого предельного состояния.

Для железобетонных несущих систем в целом и для монолитных конструкций в частности недостаточно изучены механизмы разрушения элементов несущей системы в ситуации отказа локальной конструкции, что оставляет открытым вопрос определения ключевых (критериальных) конструктивных элементов и узлов, работа которых в условиях отказа локальной конструкции определяет переход системы в целом в предельное состояние.

Исследования по определению и научному обоснованию характеристик особых предельных состояний для режима отказа локальной конструкции не в полной мере учитывают особенности аварийной расчетной ситуации, связанной с отказом локальной конструкции. Для железобетонных несущих систем существующие и отраженные в нормативных документах РФ характеристики особого предельного состояния для указанной аварийной расчетной ситуации не могут быть признаны в качестве обобщенных параметров, позволяющих их использование для всех видов расчетного анализа. Так, применение рекомендуемой нормами в качестве характеристики особого предельного состояния предельной величины относительной деформации сжатого бетона, не позволяет выполнить ряд важнейших расчетных проверок, таких как расчет наклонных сечений железобетонных конструкций и расчет на продавливание. Существующее состояние нормирования особого предельного состояния железобетонных конструкций для аварийной расчетной ситуации, связанной с отказом локального элемента несущей системы, требует совершенствования с определением и научным обоснованием обобщенных характеристик особого

предельного состояния железобетонных несущих систем для режима прогрессирующего обрушения.

Для других видов аварийной расчетной ситуации, например, для случая сейсмических воздействий, в качестве обобщенной характеристики предельных состояний конструкций и несущих систем в целом используются деформационные критерии, что позволяет выполнить практически все виды расчетного анализа. Такой подход имеет надежное научное обоснование для большинства видов конструкций, включая железобетонные, и широко используется в нормах многих стран.

Устойчивость несущих систем к отказам, рассматриваемая при прогрессирующем обрушении, представляет собой частное от обобщенной трактовки вопроса живучести, как способности системы полностью или частично сохранять свое функциональное назначение при наличии аварийных воздействий. В данном направлении есть исследования отечественных ученых, результаты которых подтверждают возможность такого обобщения [1, 2].

Поскольку явление прогрессирующего обрушения относится к группе аварийных расчетных ситуаций с особыми предельными состояниями конструкций, в рамках которых допускается развитие пластических деформаций (т.е. формирование локальных повреждений в элементах несущей системы), необходимо установить предельную величину объема таких пластических деформаций (повреждений). Аналогичный подход реализован в нормах сейсмостойкого строительства [3] для случая сейсмических воздействий, при которых критерии особого предельного состояния сформулированы методом нормирования «коэффициентов допускаемых повреждений», как обобщенной характеристики особого предельного состояния для условий сейсмических воздействий. Подобный метод применен и в [4], в котором установлены величины «коэффициента поведения», аналогичные коэффициенту допускаемых повреждений норм РФ. Представляется вполне обоснованным применить в оценке устойчивости несущих систем к прогрессирующему обрушению хорошо зарекомендовавший себя метод оценки сейсмостойкости, базирующийся на основе деформационных характеристик несущей системы.

Для того, чтобы можно было использовать величину коэффициента допускаемых повреждений в качестве характеристики предельного состояния конструкции необходимо (в соответствии с [5, 6, 7]) определить предельно допустимую величину коэффициента пластичности μ , соответствующую уровню повреждений, после получения которого конструкция подлежит восстановлению. Необходимость установления таких граничных величин очевидна – коэффициент пластичности μ определяется, как правило, на основе максимальных величин деформационного фактора (перемещение, кривизна и т.п.), соответствующего моменту разрушения исследуемой конструкции. Однако, уровень деформаций, соответствующий разрушению, не может быть принят в качестве допустимой характеристики – это противоречит принципам строительства, устойчивого к прогрессирующему обрушению [8].

С учетом приведенного выше в работах Н.Н. Попова и Б.С. Расторгуева [9, 10] для наиболее часто применяемых в настоящее время видов несущих конструкций (в том числе железобетонные конструкции) различного типа предложен и обоснован метод оценки допускаемого уровня повреждений на основе коэффициента пластичности:

$$\mu = \frac{\varepsilon_{tot}}{\varepsilon_{el}}, \quad (1)$$

где ε_{tot} и ε_{el} полные и упругие относительные деформации конструкции, соответственно.

При этом отмечается, что для величины полных относительных деформаций должны быть установлены обоснованные ограничения. Например, для ряда анизотропных материалов принято обоснованным:

$$\varepsilon_{\max} = 0.85\varepsilon_{\text{tot}}, \quad (2)$$

Следует подчеркнуть, что коэффициент пластичности определяется на базе хорошо поддающихся контролю деформационных параметров, что обеспечивает приемлемый уровень точности.

Принимая во внимание принятые ограничения на предельную величину относительных деформаций (2), обеспечивающих сохранность поврежденной конструкции и, следовательно, устойчивость к прогрессирующему обрушению, предельная величина коэффициентов пластичности для железобетона в условиях двухосного напряженного состояния равна:

$$\mu_{\text{lim}} = \frac{0.85 \varepsilon_{\text{tot}}}{\varepsilon_{\text{el}}} = 0.85\varepsilon_{\text{max}} \quad (3)$$

Тогда, с учетом обоснований, приведенных в [8], формулу для определения коэффициента допускаемых повреждений возможно представить в окончательном виде:

$$K_1 = \frac{1}{2\mu_{\text{lim}} - 1} \quad (4)$$

Таким образом, представляется вполне обоснованным использовать деформационные характеристики работы конструкций для определения критериев предельных состояний и для условий иных аварийных расчетных ситуаций, включая случай отказа локальной несущей конструкции.

Для защиты несущих систем от прогрессирующего обрушения предлагаются различные подходы, включая метод повышения несущей способности элементов конструкций сверх необходимого по результатам упругого расчета, и подход, связанный с резервированием элементов несущей системы.

Для наиболее распространенных видов несущих систем – многоэтажных и высотных зданий с несущими конструкциями из монолитного железобетона, предложен и обоснован (см., например, [11]) метод защиты от прогрессирующего обрушения, основанный на устройстве этажей повышенной жесткости (аутригерные этажи), которые обеспечивают изменение схемы работы вертикальной несущей конструкции при отказе нижерасположенного элемента – такая конструкция «подвешивается» к аутригерному этажу.

Результаты исследования влияния аутригерных конструкций на работу железобетонных систем в условиях отказа локального элемента демонстрируют существенное влияние аутригерных конструкций на схему деформирования несущей системы в целом и участков, примыкающих к зоне отказа. Применение аутригерных конструкций позволяет уменьшить прогибы плиты и изгибающие моменты в плитах перекрытий над локацией отказа. Применение аутригерных конструкций формирует условия локализации последствий аварийного воздействия в пределах зоны, в которой произошел отказ несущего элемента.

В рамках исследования механизмов разрушений основных конструктивных элементов монолитных железобетонных несущих систем в режиме прогрессирующего обрушения обосновано [12], что ключевыми элементами и узлами для оценки предельных состояний в условиях отказа локальных элементов являются монолитные железобетонные перекрытия, а именно приопорные зоны перекрытия, рассматриваемые как конструкцион-

ные узлы, в которых установлены наибольшие изменения силовых факторов – изгибающих моментов (M_x , M_y) и поперечных сил (Q_x , Q_y). Таким образом, в качестве ключевого (критериального) конструктивного элемента железобетонной системы в условиях аварийного режима при отказе локальной конструкции может рассматриваться конструкционный узел приопорной зоны перекрытия.

Исследованиями установлено, что в качестве основного критерия для оценки НДС монолитных железобетонных конструкций для режима отказа вертикальной несущей конструкции может быть принята величина относительной деформации перекрытия над отказавшей вертикальной несущей конструкцией, соответствующая образованию зоны «разрушения» приопорного участка перекрытия при действии поперечных сил. Указанный деформационный параметр корректно описывает состояние «перед разрушением» конструктивного узла монолитной железобетонной несущей системы, в котором в первоочередном порядке реализуются признаки перехода в предельное состояние (см. рис. 1, работы [13, 14, 15, 16]). На основе величины относительной деформации перекрытия над отказавшей вертикальной несущей конструкцией может быть рассчитан коэффициент пластичности μ и соответствующий коэффициент допускаемых повреждений.

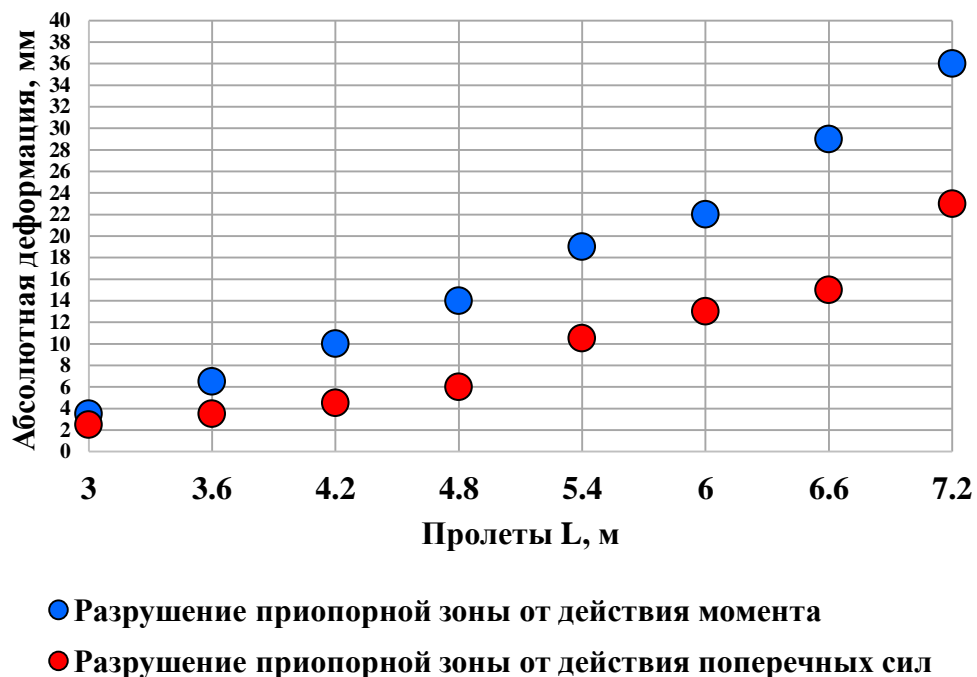


Рисунок 1 – Величины «предельных» смещений для различных критериев формирования разрушения приопорной зоны перекрытия (отказ средней колонны)

Figure 1 – Values of "limit" displacements for various criteria for the formation of destruction of the support overlap zone (middle column failure)

С учетом деградации свойств элементов перекрытия (см. работу [17]) определены величины деформационных характеристик монолитных железобетонных несущих систем в состоянии «перед разрушением» ключевых (критериальных) конструкций (узлов) для дальнейшего их применения в качестве основы для расчета характеристик пластичности (см. рис. 2).

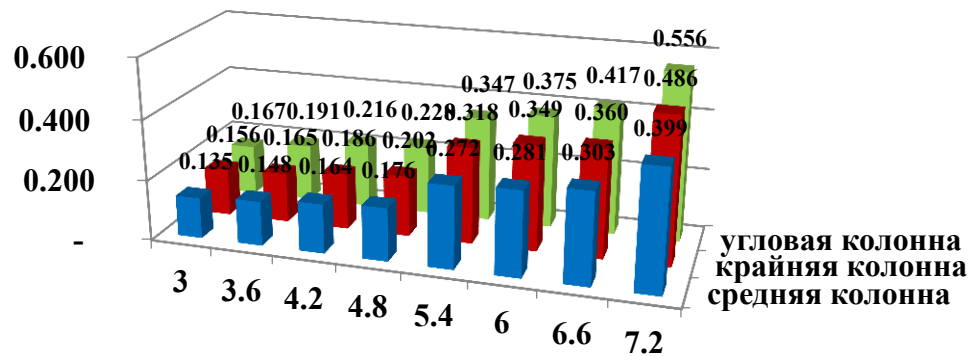


Рисунок 2 – Величины «предельных» смещений в относительных величинах для различных пролетов/шагов опорных конструкций перекрытия.

Figure 2 – Relative values of "limiting" displacements for various spans / steps of floor support structures

Установленные характеристики предельной пластичности (μ_{lim}) и соответствующие им характеристики уровня допустимых повреждений (K_I) представляют собой, по существу, характеристики особого предельного состояния монолитных железобетонных конструкций для режима прогрессирующего обрушения (см. рис. 3 и рис. 4).

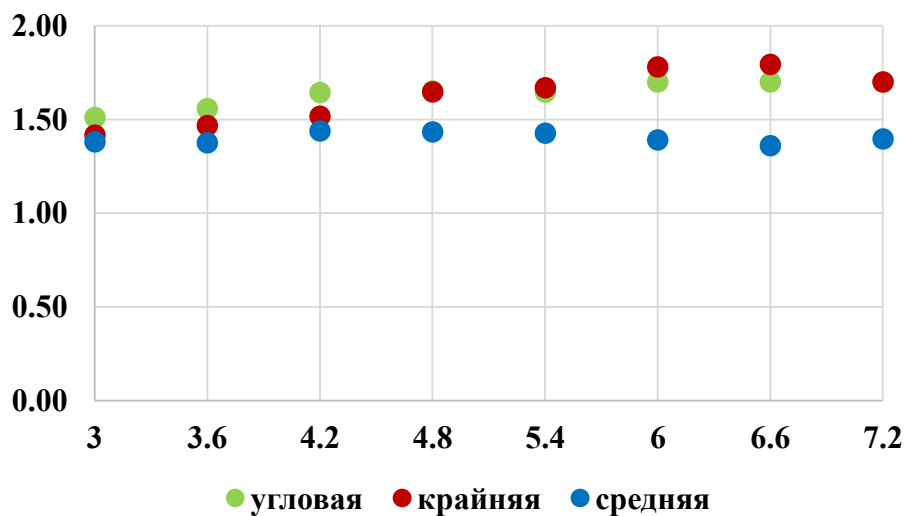


Рисунок 3 – Коэффициенты пластичности μ_{lim} для случаев «отказа» угловой, крайней и средней колонн для различных пролетов/шагов опорных конструкций перекрытия

Figure 3 – Plasticity coefficients μ_{lim} for cases of "failure" of the corner, exterior and interior columns for different spans / steps of the floor support structures

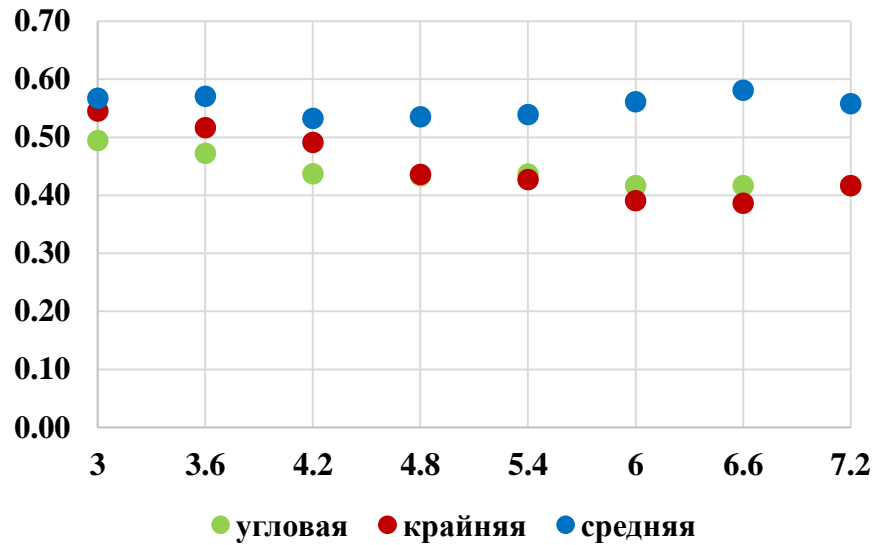


Рисунок 4 – Коэффициенты допускаемых повреждений K_I для случаев «отказа» угловой, крайней и средней колонн для различных пролетов/шагов опорных конструкций перекрытия

Figure 4 – Coefficients of permissible damage K_I (reduction factor) for cases of "failure" of the corner, exterior and interior columns for various spans / steps of the floor support structures

Полученные в результате исследований деформационные критерии особого предельного состояния корректно отражают условия формирования допустимого объема повреждений элементов несущих железобетонных систем при прогрессирующем обрушении. В качестве консервативной величины коэффициента допускаемых повреждений принято значение: $K_I = 0.50$.

Разработана инженерная методика использования коэффициента редукиции для расчетной оценки устойчивости монолитных железобетонных несущих конструкций к прогрессирующему обрушению.

Методика использования коэффициента редукиции для обеспечения устойчивости монолитных железобетонных несущих конструкций к прогрессирующему обрушению

Наличие значений характеристики уровня допускаемых повреждений – коэффициента редукиции (аналог коэффициента K_I сейсмостойких конструкций) для режима прогрессирующего обрушения при отказе вертикальной несущей конструкции, позволяет выполнять требования Государственного стандарта [18], т.е. выполнять корректную оценку эффективности аутригерных этажей, работающих в качестве «...специального мероприятия, исключающего прогрессирующее обрушение сооружения или его части».

Методика использования коэффициента редукиции, условно именуемого K_I , для обеспечения устойчивости монолитных железобетонных несущих конструкций к прогрессирующему обрушению при обеспечении допустимого объема повреждений элементов несущих железобетонных систем состоит из нескольких этапов (см. рис. 5).



Рисунок 5 – Блок-схема методики использования коэффициента редукиции для обеспечения устойчивости монолитных железобетонных несущих конструкций к прогрессирующему обрушению

Figure 5 – Block diagram of the method of using the reduction factor to ensure the resistance of monolithic reinforced concrete load-bearing structures to progressive collapse

На первом этапе проводится стандартная процедура прочностного расчета несущей системы для режима отказа вертикальной несущей конструкции в рамках линейной постановки. По результатам полученных нагрузочных эффектов, то есть напряжений и деформаций, может быть выполнен подбор варианта аутригерной конструкции, который не будет допускать пластическую работу критериальных элементов монолитных железобетонных несущих систем в режиме прогрессирующего обрушения, что говорит о недостаточной эффективности использования потенциала аутригерных этажей.

Для использования максимального потенциала аутригерных этажей и получения наивысшей оценки их эффективности необходимо в рамках второго этапа осознанно перейти к редуцированию нагрузочных эффектов, полученных на первом этапе. Такое редуцирование осуществляется путем умножения нагрузочных эффектов на коэффициент редукиции.

На основе полученных значений редуцированных нагрузочных эффектов в рамках третьего этапа выполняется подбор такого варианта армирования железобетонных конструкций (аутригерной конструкции), который будет допускать пластическую работу и формирование допустимого объема повреждений критериальных элементов монолитных железобетонных несущих систем в режиме прогрессирующего обрушения. Такой вариант железобетонных конструкций (аутригерной конструкции) получается путем подбора параметров сечения и армирования аутригера, то есть подбора момента инерции поперечного сечения аутригерной конструкции, соответствующего редуцированному значению нагрузочных эффектов, полученных на втором этапе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование подходов, хорошо зарекомендовавших себя в сейсмостойком строительстве, как для условий с видом воздействия, относящегося к особым, основанных на допущении определенного объема повреждений, в результате чего реализуется работа не-

сущих конструкций в пластической фазе, подразумевает необходимость определения характеристик особого предельного состояния, корректно отражающих допустимый объем пластической фазы деформирования.

В рамках исследования механизмов разрушений основных конструктивных элементов монолитных железобетонных несущих систем в режиме прогрессирующего обрушения обосновано, что ключевыми (критериальными) элементами и узлами монолитных железобетонных систем для оценки особых предельных состояний в условиях отказа локальных элементов являются монолитные железобетонные перекрытия, а именно приопорные зоны перекрытий.

Для установленных критериальных конструкций и узлов проведены численные исследования величин критериальных параметров, входящих в характеристику предельного состояния.

В качестве основного критерия для оценки НДС монолитных железобетонных конструкций перекрытий для режима отказа вертикальной несущей конструкции принята величина относительной деформации, соответствующая образованию допустимой зоны «разрушения» приопорного участка перекрытия при действии поперечных сил, т.е. в условиях приопорной зоны в состоянии, «предшествующем разрушению».

Проведенные исследования обосновывают возможность использования деформационных критериев для оценки напряженно-деформированного состояния монолитных железобетонных конструкций, включая пластическую фазу деформирования, в условиях отказа вертикального элемента несущей системы. Установленные характеристики предельной пластичности и соответствующие им коэффициенты допускаемых повреждений представляют собой, по существу, характеристики особых предельных состояний монолитных железобетонных конструкций для режима прогрессирующего обрушения.

Исследованиями на основе принятой величины относительной деформации, соответствующей образованию допустимой зоны «разрушения» приопорного участка перекрытия при действии поперечных сил, как основного критерия для оценки НДС монолитных железобетонных конструкций для режима отказа вертикальной несущей конструкции, установлены величины коэффициентов допускаемых повреждений, которые отличаются относительной постоянностью величины с увеличением пролета.

Принятые деформационные критерии особого предельного состояния корректно отражают условия формирования допустимого объема повреждений элементов несущих железобетонных систем при прогрессирующем обрушении. В качестве рекомендованной к использованию величины коэффициента допускаемых повреждений принята величина $K_I = 0,50$.

Полученные результаты верифицированы методом расчета, выполненного в физически нелинейной постановке [17].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Килимник Л.Ш. К разработке деформационной теории сейсмостойкости сооружений // Строительная механика и расчет сооружений. 1988. №1. С. 48-53.
2. Кореньков П.А., Жигна В.В. Анализ опасности прогрессирующего обрушения монолитного железобетонного каркаса 22-этажного торгово-офисного центра в г. Севастополе // Строительство и техногенная безопасность. 2012. № 44. С. 14-22.
3. Свод правил СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. СНиП II-7-81*. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2018. 117 с.
4. 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.

5. Жарницкий, В.И., Развитие теории сейсмостойкости железобетонных конструкций [Текст] / В.И. Жарницкий, А.В. Забегаев // Сборник докладов 1-й Всероссийской конференции по проблемам бетона и железобетона «Бетон на рубеже третьего тысячелетия». М., 2001. Том 2. С. 655-658.
6. Banon H. Biggs Seismic Damage in Reinforced Concrete frame / H. Banon, M. John. Journal of Structural Deviation. 1981, Vol. 107, no. ST9, September, pp. 1713-1729.
7. Banon H. Seismic Safety of Reinforced Concrete Members and Structures / H. Banon, D. Veneziano. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 1982, Vol. 10, pp. 179- 193.
8. Кабанцев О.В. О методике определения коэффициента допускаемых повреждений К1 сейсмостойких конструкций / О.В. Кабанцев, Э.С. Усеинов, Ш. Шарипов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. Томск. 2016. №2. С. 117-129.
9. Попов Н.Н. Динамический расчет железобетонных конструкций [Текст] / Н.Н. Попов, Б.С. Расторгуев. М.: СИ. 1974. 207 с.
10. Попов Н.Н. Расторгуев Б.С., Забегаев А.В. Расчет конструкций на динамические и специальные нагрузки. М.: Высшая школа. 1992. 319 с.
11. Кабанцев О.В. Некоторые вопросы нормирования расчетов железобетонных конструкций высотных зданий // Межрегиональная общественная организация «Содействие развитию и применению пространственных конструкций в строительстве». Тез. докладов научной сессии. Москва: 2009. С. 36-39.
12. Домарова Е.В. Расчетно-конструктивные методы защиты от прогрессирующего разрушения железобетонных монолитных каркасных зданий // Вестник ИрГТУ. 2015. №10(105). С. 123-129.
13. Кабанцев О.В., Митрович Б. К выбору характеристик предельных состояний монолитных железобетонных несущих систем для режима прогрессирующего обрушения // Технология текстильной промышленности. 2018. № 6 (378). С. 234-241.
14. Митрович Б. Обоснование характеристик особого предельного состояния монолитных железобетонных несущих систем для режима прогрессирующего обрушения // VII Международный симпозиум «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений (APCSCE 2018). С. 140.
15. Kabantsev O.V., Mitrovic B. Deformation and power characteristics monolithic reinforced concrete bearing systems in the mode of progressive collapse / O.V. Kabantsev, B. Mitrovic // MATEC Web Conf., Volume 251, 2018, p. 8.
16. Kabantsev O.V., Mitrovic B. Justification of the special limit state characteristics for monolithic reinforced concrete bearing systems in the progressive collapse mode / O.V. Kabantsev, B. Mitrovic // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 456, conference 1, p. 7.
17. Митрович Б. Верификация методики использования коэффициента редукции при расчете монолитных железобетонных систем на устойчивость к прогрессирующему обрушению // Строительство и реконструкция. 2021. № 3(95). С. 68-75. DOI 10.33979/2073-7416-2021-95-3-68-75.
18. Государственный стандарт ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.

References

1. Kilimnik L.Sh. K razrabotke deformatsionnoi teorii seismostoikosti sooruzhenii. Stroitel'naia mekhanika i raschet sooruzhenii. 1988, no.1, pp. 48-53. (In Russian)
2. Koren'kov P.A., Zhigna V.V. Analiz opasnosti progressiruiushchego obrusheniia monolitnogo zhelezobetonnoho karkasa 22-etazhnogo torgovo-ofisnogo tsentra v g. Sevastopole. Stroitel'stvo i tekhnogennaia bezopasnost'. 2012, no. 44. pp. 14-22. (In Russian)

3. Svod pravil SP 14.13330.2018. Stroitel'stvo v seismicheskikh raionakh. SNiP II-7-81*. M.: Ministerstvo stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khoziaistva Rossiiskoi Federatsii. 2018. 117 p.
4. 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.
5. Zharnitskii V.I. Razvitie teorii seismostoikosti zhelezobetonnykh konstruksii [Tekst] / V.I. Zharnitskii, A.V. Zabegaev. Sbornik dokladov 1-i Vserossiiskoi konferentsii po problemam betona i zhelezobetona "Beton na rubezhe tret'ego tysiacheletia", tom 2. M., 2001, pp. 655-658. (In Russian)
6. Banon H. Biggs Seismic Damage in Reinforced Concrete frame / H. Banon, M. John. Journal of Structural Deviation. 1981, Vol. 107, no. ST9, September, pp. 1713-1729.
7. Banon H. Seismic Safety of Reinforced Concrete Members and Structures / H. Banon, D. Veneziano. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 1982, Vol. 10, pp. 179-193.
8. Kabantsev O.V. O metodike opredeleniia koeffitsienta dopuskaemykh povrezhdenii K1 seismostoikikh konstruksii / O.V. Kabantsev, E.S. Useinov, Sh. Sharipov. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Tomsk, 2016, no.2, pp. 117-129. (In Russian)
9. Popov N.N. Dinamicheskii raschet zhelezobetonnykh konstruksii [Tekst] / N.N. Popov, B.S. Rastorguev. M.: SI, 1974. 207 p. (In Russian)
10. Popov N.N., Rastorguev B.S., Zabegaev A.V. Raschet konstruksii na dinamicheskie i spetsial'nye nagruzki. M.: Vysshiaia shkola, 1992, 319 p. (In Russian)
11. Kabantsev O.V. Nekotorye voprosy normirovaniia raschetov zhelezobetonnykh konstruksii vysotnykh zdanii. Mezhhregional'naia obshchestvennaia organizatsiia "Sodeistvie razvitiu i primeneniiu prostranstvennykh konstruksii v stroitel'stve". Tez. Dokladov nauchnoi sessii. Moskva: 2009, pp. 36-39. (In Russian)
12. Domarova E.V. Raschetno-konstruktivnye metody zashchity ot progressiruiushchego razrusheniia zhelezobetonnykh monolitnykh karkasnykh zdanii. Vestnik IrGTU. 2015, no.10 (105), pp. 123-129. (In Russian)
13. Kabantsev O.V., Mitrovich B. K vyboru kharakteristik predel'nykh sostoianii monolitnykh zhelezobetonnykh nesushchikh system dlia rezhima progressiruiushchego obrusheniia [Tekst] / 3) O.V. Kabantsev, B. Mitrovich. Tekhnologiiia tekstil'noi promyshlennosti. 2018, no. 6 (378), pp. 234-241. (In Russian)
14. Mitrovic B. Obosnovanie kharakteristik osobogo predel'nogo sostoianiiia monolitnykh zhelezobetonnykh nesushchikh system dlia rezhima progressiruiushchego obrusheniia [Tekst] / B. Mitrovich. VII Mezhdunarodnyi simpozium "Aktual'nye problem komp'iuternogo modelirovaniia konstruksii i sooruzhenii (APCSCE2018), p. 140. (In Russian)
15. Kabantsev O.V., Mitrovic B. Deformation and power characteristics monolithic reinforced concrete bearing systems in the mode of progressive collapse / O.V. Kabantsev, B. Mitrovic. MATEC Web Conf., Volume 251, 2018, p. 8. (In Russian)
16. Kabantsev O.V., Mitrovic B. Justification of the special limit state characteristics for monolithic reinforced concrete bearing systems in the progressive collapse mode / O.V. Kabantsev, B. Mitrovic. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 456, conference 1, p. 7.
17. Mitrovic B. Verification of the method of application of the reduction coefficient in the calculation of monolithic reinforced concrete systems to resist progressive collapse/ B. Mitrovic. Stroitel'stvo i rekonstruksiiia. 2021, no. 3(95), pp. 68-75. DOI 10.33979/2073-7416-2021-95-3-68-75.
18. Gosudarstvennyi standart GOST 27751-2014 Nadezhnost' stroitel'nykh konstruksii i osnovanii. Osnovnye polozheniia.

Информация об авторе/Information about author

Митрович Божидар
НИУ МГСУ, аспирант
Тел.: +7 (915) 113-13-68
E-mail: bozidarm@bk.ru

Mitrovic Bozidar
Moscow State University of Civil Engineering, postgraduate student
Phone: +7 (915) 113-13-68
E-mail: bozidarm@bk.ru

Поступила в редакцию / Received – 10.06.2021

Поступила после рецензирования и доработки / Revised – 17.06.2021

Принята к публикации / Accepted – 18.06.2021