

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.

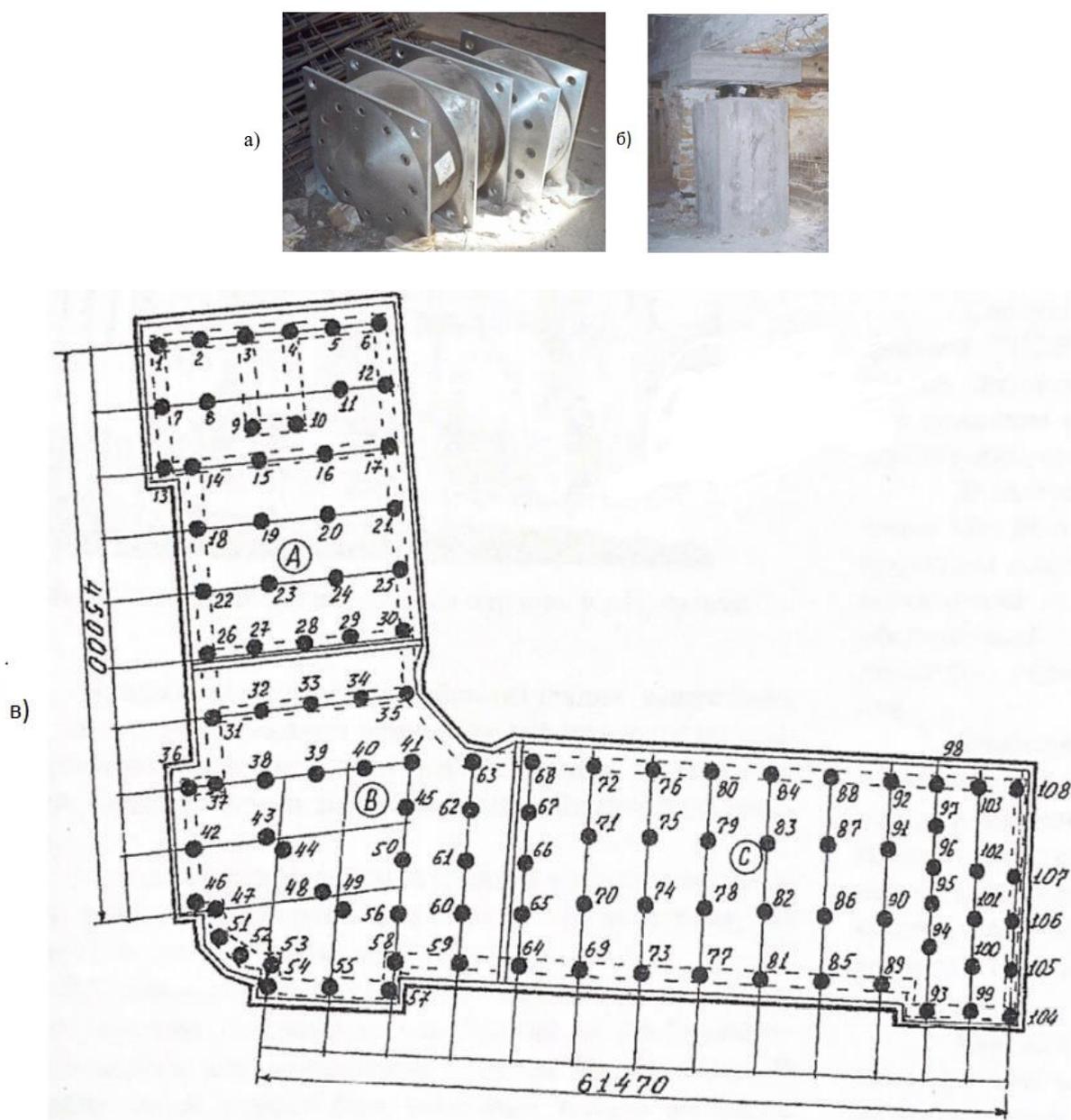


Рисунок 1 – Реконструкция и сейсмоусиление здания банка в г. Иркутске [3]:
а) общий вид сейсмоизолирующих опор, б) сейсмоизолирующая опора под несущей стеной, в) расположение сейсмоизолирующих опор в плане здания

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.

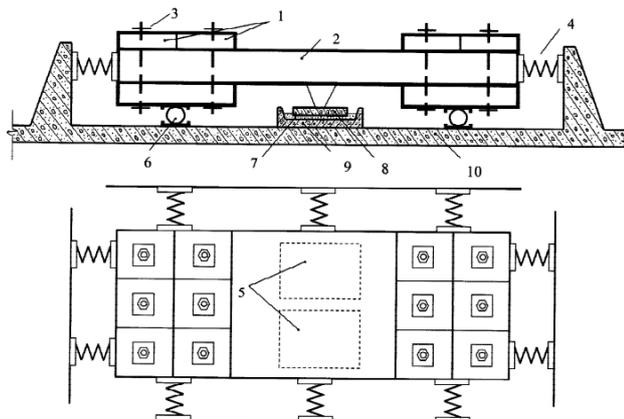


Рисунок 2 – Динамический гаситель колебаний
1 – блоки; 2 – бетонная плита; 3 – разъемные элементы; 4 – пружины;
5 – демпферы сухого трения; 6 – шары и пластины; 7 – песок; 8 – бетонная плита демпфера; 9 – бетонный поддон; 10 – перекрытие здания [4]

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).

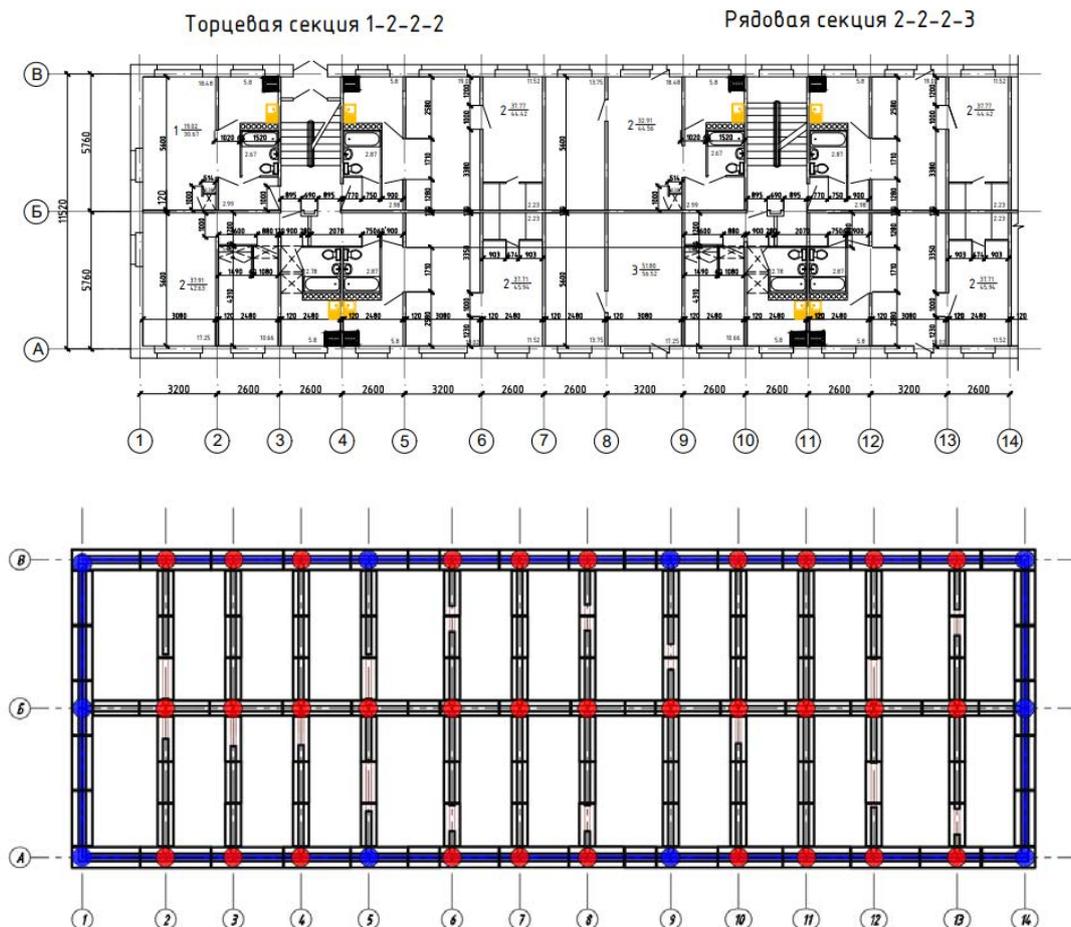


Рисунок 3 – План секций, план фундаментов с расставленными резинометаллическими опорами

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

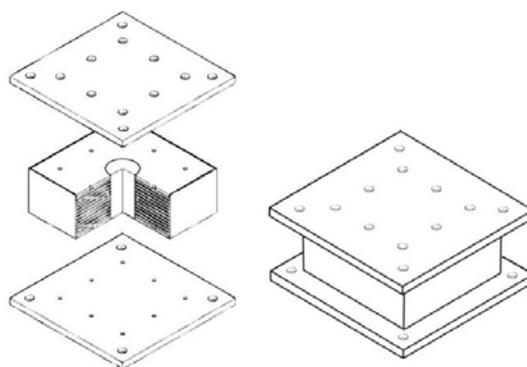


Рисунок 4 – Конструкция резинометаллический опоры СВ ДШР-РСИ

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.

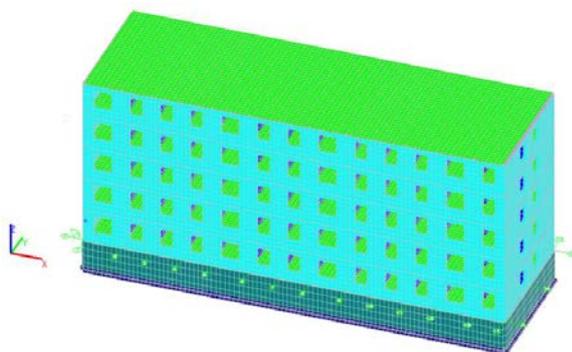


Рисунок 5 – Расчетная модель исследуемого здания, созданная в ПК SCAD 21.1

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.

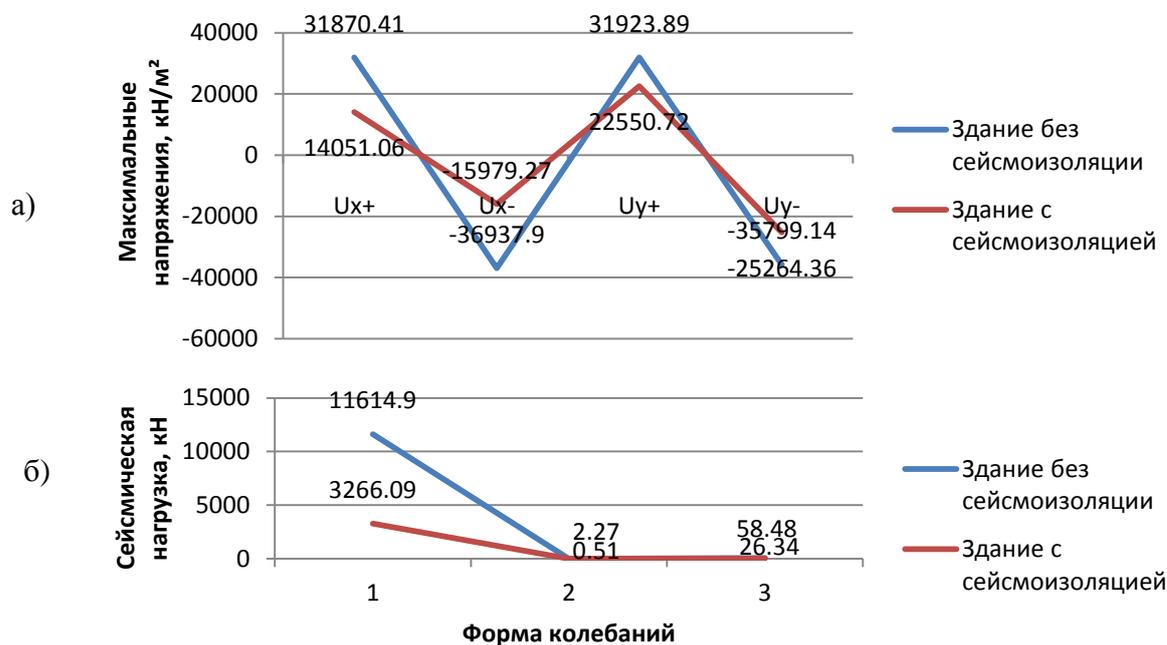


Рисунок 6 – Результаты проведенного расчетного исследования

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' kolebanii zdanii 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 zdanii. 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