УДК 69.07; 699.8
DOI: 10.37153/2618-9283-2025-6-76-86

Проектирование, строительство и реконструкция сейсмостойких зданий и сооружений

Использование динамического гасителя колебаний в виде «гибкого» верхнего этажа для защиты покрытий зданий от природных и техногенных воздействий

Белаш Татьяна Александровна[1], Чудаков Алексей Андреевич[2, 3]
[1]АО «НИЦ «Строительство». Москва, Российская Федерация
[2]Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. Санкт-Петербург, Российская Федерация
[3]ООО «АрхПроект». Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Вследствие глобального изменения климата, особенно заметного в последние годы, все чаще возникают чрезвычайные ситуации в виде землетрясений, ураганов, смерчей, а также техногенных воздействий, например в виде ударов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). При этом наиболее негативное воздействие воспринимает на себя покрытие здания, его верхняя часть, включая карниз и парапет. Все это сопровождается серьезными разрушениями и материальным ущербом. Кроме того, возможна ситуация, когда одно разрушительное воздействие следует за другим. Сценарии таких ситуаций в основном рассмотрены для крупных энергетических объектов, включая атомные станции. Для гражданских объектов массового строительства на данный момент отсутствуют какие-либо конкретные рекомендации. В этой связи возникает необходимость поиска таких конструктивных решений комплексной защиты, которые могли бы использоваться как при одних, так и при других воздействиях.

Цель. Изучение вопроса использования «гибкого» верхнего этажа для защиты покрытий зданий от землетрясений, ураганов, смерчей, ударов беспилотных летательных аппаратов.

Методы. Для оценки вариантов защиты покрытия здания от природных и техногенных воздействий изучена и проанализирована техническая литература, рекомендации и нормы проектирования.

Результаты. Предлагается использовать в качестве элемента комплексной защиты покрытия здания известную конструкцию «гибкого» верхнего этажа, выполняющего при землетрясениях в здании роль динамического гасителя. В статье рассмотрены известные конструктивные решения исполнения динамического гасителя, иллюстрирующие возможность его применения для защиты здания при экстремальных воздействиях.

Обсуждение. Для обоснования возможности и результативности использования модифицированного динамического гасителя колебаний в виде «гибкого» верхнего этажа в качестве комплексной защиты покрытия здания требуется проведение дальнейших исследований.

Ключевые слова: покрытие здания, землетрясение, ураган, смерч, БПЛА, динамический гаситель колебаний, «гибкий» верхний этаж.

Для цитирования: Белаш Т.А., Чудаков А.А. Использование динамического гасителя колебаний в виде «гибкого» верхнего этажа для защиты покрытий зданий от природных и

@ Belash T.A., Chudakov A.A., 2025

техногенных воздействий // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2025. № 6. С. 76–86.
DOI: 10.37153/2618-9283-2025-6-76-86

Вклад авторов
Авторы внесли равноценный вклад в подготовку статьи.

Финансирование
Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Design, building and reconstruction of aseismic constructions

Use of a dynamic vibration damper in the form of flexible upper floor to protect roof constructions from natural and man-made impacts

Tatiana A. Belash[1], Alexey A. Chudakov[2,3]
[1]JSC Scientific Research Center "Construction", Moscow, Russian Federation
[2]Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russian Federation
[3]LLC "ZHIO", Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract
Introduction. Due to global climate change, which has been particularly noticeable in recent years, emergency situations in the form of earthquakes, hurricanes, tornadoes, as well as manmade impacts, such as drone strikes, are increasingly occurring. In this case, the most negative impact is absorbed by the building's roofing, its upper part, including the cornice and parapet. All this is accompanied by serious destruction and material damage. In addition, a situation is possible when one destructive impact follows another. Scenarios for such situations are mainly considered for large energy facilities, including nuclear power plants. There are currently no specific recommendations for mass civil construction projects. In this regard, there is a need to search for solutions of complex protection that could be used to these types of impacts.
Aim. Investigating the use of a "flexible upper floor" to protect building roofs from earthquakes, hurricanes, tornadoes, and drone strikes.
Materials and methods. To evaluate options for protecting the building's roof from natural and manmade impacts, technical literature, recommendations and design standards were studied and analyzed.
Results. The proposed solution for the comprehensive protection of the building's roof involves a known design: a flexible upper floor that functions as a dynamic damper during earthquakes. This article examines known design solutions of dynamic dampers, highlighting their potential use in protecting buildings from extreme loads.
Discussion. Further research is required to justify the possibility of using a modified dynamic vibration damper in the form of a flexible upper floor for comprehensive protection for the building roof.

Keywords: building roof, earthquake, hurricane, tornado, DAVF, dynamic vibration damper, flexible upper floor.

For citation: Belash T.A., Chudakov A.A. Use of a dynamic vibration damper in the form of flexible upper floor to protect roof constructions from natural and manmade impacts. *Earthquake engineering. Constructions safety,* 2025, no. 6, pp. 76–86 [In Russian]
DOI: 10.33153/2618-9232-2025-6-76-86

Authors contribution statement
The authors made an equal contribution to the preparation of the article.

Funding
No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest
The authors declares that there is no conflict of interest.

Введение

Как известно, здания подвергаются воздействиям различного происхождения. Условно эти воздействия можно представить в виде известной схемы [1], приведенной на рис. 1.

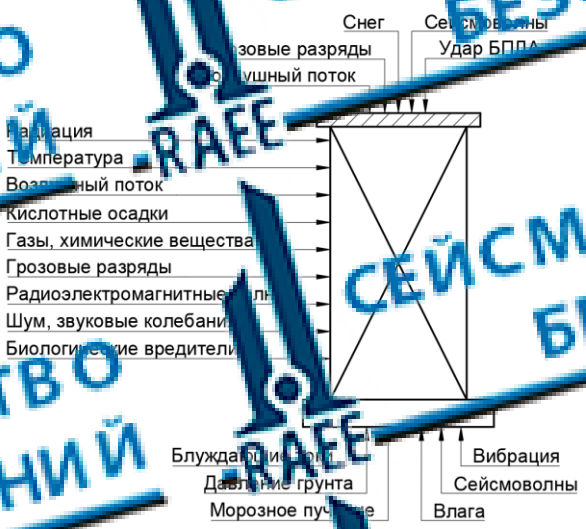

Рисунок 1 – Схема воздействий на здания

Figure1– Scheme of impacts acting on buildings

Фактически каждый конструктивный элемент здания находится под влиянием комплекса как силовых, так и несиловых факторов. И от того, как будут выполнены конструктивные элементы строительного объекта, будет зависеть его прочность, жесткость и устойчивость. Среди конструктивных частей здания наиболее существенному негативному влиянию подвергается его верхняя часть, включая непосредственно покрытие, состоящее из несущих и ограждающих конструкций, а также парапет и карнизная часть, включающая элементы стеновых конструкций. Особенно ярко это проявляется при воздействиях природного и техногенного характера, таких как землетрясения, ураганы, смерчи и т.п., а также при появившихся в настоящее время попаданиях беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), вызывающих не только пожары в здании, но и повреждения его ограждающих и несущих конструкций (рис. 2). При этом важно отметить, что опасный сценарий может возникнуть тогда, когда одно воздействие следует за другим.

а)

б) *b*)

в) *c*)

г) *d*)

д) *e*)

е) *f*)

Рисунок 2 – Повреждения покрытий зданий от воздействий природного и техногенного характера

а) разрушения здания универмага в пос. Газли после землетрясения 9 апреля 1976 года [2];
б) разрушения здания универмага в г. Скопье после землетрясения 26 июля 1963 года [2];
в) срыв крыши дома в результате воздействия ураганного ветра в Красноярском крае [информация с сайта mamul.am/ru/];
г) срыв крыши дома в результате воздействия ураганного ветра, г. Магадан [информация с сайта kolyma.ru/];
д) повреждения покрытия здания от попадания БПЛА, г. Казань [информация с сайта photo.kommersant.ru];
е) повреждения парапета здания от попадания БПЛА, г. Москва [информация с сайта moskvichmag.ru];

Figure 2 – Damage to building coverings caused by natural and manmade factors:
a) destruction of the department store building in the village of Gazli after the earthquake on 9 April 1976 [2];
b) destruction of the department store building in Skopje after the earthquake on 26 July 1963 [2];
c) roof torn off a house as a result of hurricane-force winds in the Krasnoyarsk region [information from mamul.am/ru/];
d) roof torn off a house as a result of hurricane-force winds in the Magadan [information from kolyma.ru/];
e) damage to the building's roof caused by a drone strike, Kazan [information from photo.kommersant.ru];
f) damage to the parapet of a building caused by a UAV strike, Moscow [information from moskvichmag.ru]

Многие районы Российской Федерации, находящиеся в сейсмоопасных зонах, подвержены частому образованию ураганов и смерчей (рис. 3). Также важно принимать во внимание дальневосточный регион России. В 2023 году в Приморский край обрушилось рекордное количество тайфунов [3]. Следует отметить, что во время смерча или урагана летящие части ограждающих конструкций попадают в вентиляционные и технологические отверстия, вызывают деформации и разрушения различных конструктивных элементов здания, в целом приводят к снижению его несущей способности [4]. Это может послужить причиной, усугубляющей негативную ситуацию в случае возникновения землетрясения, сопровождающегося гибелью людей и потерей материального имущества. Особенно это актуально для общественных зданий, предназначенных для одновременного пребывания в них большого количества людей, к таким зданиям относятся здания здравоохранения, учебные заведения, зрелищные и другие.

а) *б*) *в*)

Рисунок 3 – Карты с обозначением местностей, подверженных природным катаклизмам:
а) карта сейсмического районирования России [5];
б) карта ураганов в северной Евразии [6];
в) наложение карт сейсмического районирования России и карты возникновения смерчей на территории Северной Евразии

Figure 3 – Maps showing areas prone to natural disasters:
a) map of seismic zoning in Russia [5];
b) map of hurricanes in northern Eurasia [6];
c) overlay of maps of seismic zoning in the Russian Federation and a map of tornadoes in northern Eurasia

В настоящее время в практике строительства сформировались определенные подходы по проектированию зданий и сооружений с учетом различных силовых воздействий природного и техногенного характера. Это техническая литература, рекомендации и нормы проектирования для строительных объектов в сейсмических районах [5], в районах, подверженных ураганам и смерчам [7, 8]. Разработаны рекомендации по защите зданий и сооружений от беспилотных летательных аппаратов [9, 10].

В существующих рекомендациях рассматриваются как общие положения, так и рекомендации по проектированию отдельных элементов, например в нормах по проектированию в сейсмических районах конструкции покрытия следует выполнять «…как жесткие горизонтальные диски, соединенные с вертикальными конструкциями здания и обеспечивающими их совместную работу при сейсмических воздействиях» [5]. Жесткость покрытия обеспечивается устройством сварных соединений между собой, элементами каркаса или стенами, а также устройством железобетонных обвязок и другими мероприятиями. Кроме того, в настоящее время в сейсмостойком строительстве все большее распространение получают специальные средства сейсмозащиты: средства сейсмоизоляции и сейсмогашения [6].

В работе [7] рекомендуется для защиты объекта от ураганов, бурь и штормов оценивать и проверять прочность элементов конструкций, в том числе крыш. В свою очередь Федеральные нормы НП-064-17 для защиты объекта от ураганов, а именно от попадания различных летящих предметов, предписывают «увеличивать площади сечений элементов защитных сооружений, прочность их армирования, применять ударостойкие материалы», а также возможность устройства защитных преград [8].

Для защиты зданий от воздействий внешних взрывов от БПЛА нормативная документация [9] рекомендует применять конструктивные решения в виде установки защитных элементов, которые могут полностью разрушиться, но при этом предотвратить повреждения защищаемых строительных объектов. Реализация этой идеи возможна как в виде капитального сооружения, так и путем строительства временной быстровозводимой конструкции. В этих конструкциях рекомендуется использовать сетчатые элементы, которые будут как принимать основной удар, так и улавливать поражающие осколки. Один из вариантов реализации таких защитных ограждающих конструкций представлен на рис. 4 [10].

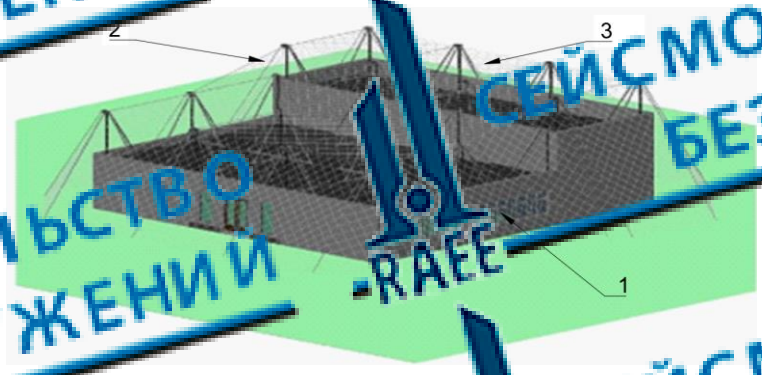

Рисунок 4 – Типовое решение защиты здания от БПЛА [10]
(1 – защищаемый объект; 2 – защитная сетка; 3 – опорная конструкция)

Figure 4 – Typical solution for protecting a building from UAVs [10]
(1 – protected object; 2 – protective net; 3 – support structure)

Несмотря на многочисленные предложения по обеспечению прочности и устойчивости покрытий зданий при различных силовых воздействиях природного и техногенного характера, в существующей технической и нормативной литературе отсутствует рассмотрение вопросов и рекомендаций, связанных с возможностью возникновения сценария, когда одно разрушительное воздействие следует за другим, соответствующей при этом оценкой состояния влияния таких воздействий на строительные конструкции. Между тем, как было сказано выше, в настоящее время происходит существенное изменение климата на планете и возникновение ситуации, при которой одно воздействие следует за другим, становится вполне реальной действительностью. В связи с этим возникает необходимость поиска и разработки такой системы комплексной защиты, которая позволяла бы выполнять свою роль не только при одном каком-то воздействии, но и защищала бы одновременно от другого, сохраняя тем самым в рабочем состоянии несущие конструкции покрытия здания. Эта задача достаточно сложная, так как природа возникновения воздействия различная и воздействует на конструкцию по-разному. Между тем есть определенные решения и наработки в сейсмостойком строительстве среди систем специальной сейсмозащиты, которые можно использовать в защитных целях – например устройство «гибкого» верхнего этажа, выполняющего роль динамического гасителя сейсмических колебаний. Конструкция гасителя такова, что она перекрывает все пространство покрытия, предоставляя возможность использовать ее для защиты и от других воздействий. При этом возникает ситуация, когда гаситель должен сохранить, с одной стороны, неизменными свои параметры настройки, с другой может получить дополнительный импульс от другого воздействия, например, от ураганного ветра, который отличается разнообразным характером, что в целом может повлиять на эффективную работу гасителя при последующем землетрясением Оценка данного фактора требует проведения дополнительных исследований. Для этого на первом этапе были рассмотрены и проанализированы конструктивные решения динамического гасителя в виде «гибкого» верхнего этажа.

Впервые исследование динамического гасителя проводились в работах Коренева Б.Г., Резникова Л.М. и других ученых [12]. Практическая реализация динамического гасителя в сейсмостойком строительстве нашла свое отражение в работах Цейтлина А.И., Ханяна Э.Е., Уздина А.М. и других. Цейтлин А.И. предложил впервые использовать «гибкий» верхний этаж в качестве гасящей массы [13]. В последующем эта идея была реализована армянскими специалистами в реальном строительстве. Так, здание с «гибким» верхним этажом впервые было построено в г. Кировакане (Армения). Исследования, выполненные под руководством Уздина А.М. и его учеников [14] показали, что оптимальная масса гасителя должна быть около 15 % от веса сооружения. Примеры реализации динамического гасителя в качестве «гибкого» верхнего этажа показаны на рис. 5.

На рис. 5*а* подвешенные надстроенные технические этажи выполняют роль массы динамического гасителя колебаний. Эти этажи соединены со зданием посредством использования гибких стоек. Мелкумяном М.Г. было предложено реализовать динамический гаситель колебаний путем устройства изолированного верхнего этажа (рис. 5*б*). С этой целью верхний этаж располагают на резиновых металлических опорах (рис. 5*в*). Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные Мелкумяном М.Г., представлены в его книге «Unique Concepts and Features of Seismic Isolation Systems» [15] и проиллюстрированы на рис. 5*б*, 5*в* и 5*г*.

Для решения поставленной задачи комплексной защиты покрытия здания от существующих силовых воздействий предлагается массу гасителя использовать не только в качестве динамического гашения сейсмических колебаний, но и одновременно использовать ее для защиты от различных природных и техногенных воздействий. Для этого предлагается массу гасителя выполнять в виде различных конструктивных решений,

например, в виде металлических пространственных или железобетонных конструкций с противоураганными элементами и дополнительными средствами защиты от БПЛА и других воздействий. В настоящее время проводятся исследования и формируется пакет таких предложений, которые могут быть рекомендованы к использованию в сейсмических районах с учетом влияния дополнительных факторов силовых воздействий, тем самым обеспечив безаварийное функционирование гражданских зданий различного назначения.

а) *a*) *б*) *b*)

в) *c*) *г*) *d*)

Рисунок 5. Применение верхнего «гибкого» этажа в качестве динамического гасителя колебаний:
а) патент на многоэтажное сейсмостойкое здание с «гибким» верхним этажом [16] (1 – жесткие конструкции нижних этажей; 2 – надстраиваемые технические этажи; 3 – гибкие стойки);
б) реализация динамического гасителя колебаний в Армении [17] (1 – надстроенный этаж; 2 – изолирующие подушки);
в) конструкция изолирующего пояса [15];
г) внутреннее пространство изолированного верхнего этажа [15]

Figure 5. Use of a flexible upper floor as a dynamic vibration damper:
a) patent for a multi-storey earthquake-resistant building with a flexible upper floor [16] (1 – rigid structures of the lower floors; 2 – superstructure technical floors; 3 – flexible columns);
b) implementation of a dynamic vibration damper in Armenia [17] (1 – superstructure floor; 2 – isolating pads);
c) design of an isolating belt [15];
d) interior space of the isolated upper floor [15]

Заключение

Строительные конструкции зданий и сооружений подвергаются комплексу различных экстремальных воздействий, которые в силу существенного изменения климата на планете, а также возникновения различных техногенных ситуаций могут последовать один за другим. Наибольший негативный эффект получает покрытие здания, при этом не всегда удается быстро и эффективно восстановить его работоспособность. В качестве защиты здания предлагается использовать одно из средств специальной сейсмозащиты, которое получило распространение в практике сейсмостойкого строительства в виде динамического гасителя с «гибким» верхним этажом. Для обоснования возможности использования этой конструкции в качестве комплексной защиты покрытия требуется проведение дальнейших исследований.

Список литературы

1. Белаш Т.А., Кабардинский В.С. Эксплуатация и ремонт железнодорожных зданий в особых природно-климатических и сейсмических условиях строительства: Учебное пособие. Москва: ФГБОУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. 193 с.

2. Поляков С.В. Последствия сильных землетрясений. М.: Стройиздат, 1978. 311 с.

3. Приморье РБК – URL https://prim.rbc.ru/prim/06/09/2023/64f9f9f9a7947e1d7fe58c8?ysclid=mhhu5wxn8k984393706

4. Гирбрагер А.Н., Роледер А.Ю. Экстремальные воздействия на сооружения. Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического университета, 2009. 593 с.

5. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81* = Seismic building design code: свод правил: издание официальное: утверждён и введён в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 мая 2018 г. N 309/пр: дата введения 2018-11-25. Москва: Минстрой России, 2018. 122 с. Текст: непосредственный.

6. Chernokulsky A., Kurganskiy M., Mokhov I., Shikhov A., Azhigov I., Selezneva E., Zakharchenko D., Antokhina O., Antonescu B., Kühne T. Tornadoes in Northern Eurasia: From the Middle Age to the Information Era. *Monthly Weather Review*, 2019, no. 14(8), pp. 3081–3110.

7. Шубин В.Н. Инженерная защита населения. Ч. 1. Основы инженерной защиты населения и территорий: Учебник / Шубин В.Н., Седнев В.А., Овсяник А.И. и др. Москва: Академия ГПС МЧС России, 2009. 582 с.

8. НП-064-17 Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии».

9. СП 542.1325800.2024 «Защитные ограждающие конструкции от беспилотных летательных аппаратов. Правила проектирования».

10. Рекомендации по инженерной защите объектов МЧС России от беспилотных воздушных средств нападения. М.: МЧС России, 2024.

11. Белаш Т.А. Нетрадиционные способы сейсмозащиты транспортных зданий и сооружений: монография. Москва: ФГБУ ДПО «Учебно-методологический центр по образованию на железнодорожном транспорте». 2017. 165 с.

12. Корнев Б.Г., Резников Л.М. Динамические гасители колебаний. Теория и техн. прил. Москва: Наука, 1988. 302 с.

13. Цейтлин А.И., Ким Л.И. Сейсмические колебания многоэтажного здания с «гибким» верхним этажом. Снижение материалоемкости и трудоемкости сейсмостойкого строительства: тезисы докладов Всесоюзного совещания. 1982. 85 с.

14. Нестеров А.П., Уздин А.М. Эффективность динамических гасителей колебаний для массивных сооружений на нескальных основаниях // *Основания, фундаменты и механика грунтов.* 2021. № 1. С. 20–25.

15. Melkumyan Mikayel. (2022). Unique Concepts and Features of Seismic Isolation Systems.

16. Равкина Е.А., Бандович Т.А. (Белаш Т.А.), Равкин А.А., Чудыга И.Г. Многоэтажное сейсмостойкое здание. А.с. № 1716060, Е 04 Н 9/02, опубликовано 29.02.92 в Б.И. № 8.

17. Хачиян Э.Е., Мелкумян М.Г., Хлгатян З.М. Исследование сейсмического воздействия на многоэтажное здание с «гибким» верхним этажом // *Промышленность, строительство и архитектура. Армения.* 1987. № 1. С. 45–49.

References

1. Belash T.A., Kazarovsky V.S. Operation and repair of railway buildings in special natural, climatic and seismic conditions of construction: textbook. Moscow: Federal State Budgetary Educational Institution Educational and Methodological Centre for Education in Railway Transport, 2011. 293 p. [In Russian]

2. Polyakov S.V. Consequences of strong earthquakes. Moscow: Stroyizdat, 1978. 311 p. [In Russian]

3. Primorye.RBC – URL: https://prim.rbc.ru/prim/06/09/2023/64f8586b9a7947e1d74c58c8?ysclid=mlhnu5vyxn8k984393766 [In Russian]

4. Birbraer A.N., Roleder A.Yu. Extreme effects on structures. Saint Petersburg: Polytechnic University Press, 2009. 593 p. [In Russian]

5. SP 14.13330.2018. Construction in seismic areas. Updated version of SNiP II-7-81* = Seismic building design code: set of rules. Official edition: approved and enacted by order of the Ministry of Construction and Housing and Communal services of the Russian Federation dated 24 May 2018 No. 309/pr: date of entry into effect 25 November 2018. Moscow: Ministry of Construction of Russia, 2018. 122 p. Text: direct. [In Russian]

6. Chernokulsky A., Kurgansky M., Mokhov I., Shikhov A., Azhigov I., Selezneva E., Zolnikov I., Antonescu B., Kühne T. Tornadoes in Northern Eurasia: From the Middle Age to the Information Era. *Monthly Weather Review,* 2020, no. 148(8), pp. 3081–3110.

7. Shulgin V.N. Engineering protection of the population. Part 1. Fundamentals of engineering protection of the population and territories: Textbook / Shulgin V.N., Sednev V.A., Ovsyannik A.I. et al. Moscow: Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2009. 582 p.

8. NP-064-17 Federal norms and rules in the field of atomic energy use accounting for external impacts of natural and technogenic origin on atomic energy use facilities [In Russian]

9. SP 542.1325800.2024 Protective barrier structures against unmanned aerial vehicles design Rules [In Russian]

10. Recommendations on engineering protection of Russian Ministry of Emergency Situations facilities against unmanned aerial vehicles. Moscow: Russian Ministry of Emergency Situations, 2024. [In Russian]

11. Belash T.A. Non-traditional methods of seismic protection for transport buildings and structures: monograph. Moscow: Federal State Budgetary Institution of Additional Professional Education Educational and Methodological Centre for Education in Railway Transport. 2017, 175 p. [In Russian]

12. Kornev B. ... Reznikov L.M. Dynamic vibration dampers: Theory and technical applications. Moscow: ..., 1988, 302 p. [In Russian]

13. Tseytlin ... Yu.I., ...im L.I. Seismic vibrations of a multi-storey building with a 'flexible' upper floor. Reducing the material and labour intensity of earthquake engineering: abstracts of reports from the All-Union Conference. 1982, 85 p. [In Russian]

14. Nesterova O.P., ...zdin A.M. Effectiveness of dynamic vibration dampers for massive structures on hard rock foundations. *Soil mechanics and foundation engineering*, 2021, no. 1, pp. 20–25. [In Russian]

15. Melkumyan Mikael. (2022). Unique Concepts and Features of Seismic Isolation Systems.

16. Ravkina E.A., ...ovich T.A. (Belash T.A., Ravkin A.A., ...)ga I.B. Multi-storey earthquake-resistant building. ... S.U. No. 1716060, E 04 H 9/02, published on 29 February 1992 in B.I. No. 8. [In Russian]

17. Khachiyan E.E., ...ellaryan A.G., Khlgatian Z.M. Study of seismic impact on a multi-storey building with a "flexible" upper floor. *Industry, Construction and Architecture of Armenia*, 1987, no. 1, pp. 45–49. [In Russian]

Информация об авторах / Information about the authors

Белаш Татьяна Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные сооружения, конструкции и материалы» АО «НИЦ» Строительство». Москва, Российская Федерация belashta@mail.ru

Tatiana A. Belash, Dr. Sci. (Engineering), Professor of the Department of Building structures, constructions and materials JSC Scientific Research Center "Construction". Moscow, Russian Federation belashta@mail.ru

Чудаков Алексей Андреевич, аспирант кафедры «Архитектурно-строительное проектирование», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I; инженер-проектировщик ООО «АЖИО», Санкт-Петербург, Российская Федерация chudakov@agiogk.ru

Alexey A. Chudakov, postgraduate student of the Department of Architectural and Construction Designing Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University; Design engineer, LLC "AZHIO", Saint Petersburg, Russian Federation chudakov@agiogk.ru