

УДК 69.01

DOI [10.37153/2618-9283-2023-2-45-53](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-2-45-53)

## **Проектирование, строительство и реконструкция сейсмостойких зданий и сооружений**

**Использование эффекта «гибкого этажа» в зданиях жестких конструктивных систем**

**Белаш Татьяна Александровна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>АО «НИЦ «Строительство». Москва, Российская Федерация

**Аннотация:** Здания жестких конструктивных систем с включением в их конструкции «гибких этажей» являются широко известным решением, получившим свое распространение во многих южных регионах для организации летних помещений, помещений для отдыха, спорта и т.п. При этом «гибкий этаж» располагается на уровне первого этажа. Такой подход позволяет не только создать комфортные условия для проживания, но и с его помощью снизить сейсмические нагрузки на здания за счет повышения гибкости всего здания и улучшения его динамических характеристик. В другом конструктивном решении сейсмостойкость здания повышается за счет расположения «гибкого этажа» в самой верхней части, при этом «гибкий этаж» выполняет роль динамического гасителя колебаний. Однако по архитектурно-планировочным требованиям возникает необходимость использования свободных пространств и в средней части жестких зданий, которые также могут быть реализованы через «гибкий этаж». Оценка сейсмостойкости этих зданий в сейсмических районах при воздействиях различного частотного состава имеет большое значение для безопасного функционирования этих объектов. Некоторые результаты этого исследования представлены в данной статье.

**Ключевые слова:** жесткая конструктивная система, «гибкий этаж», сейсмостойкость, сейсмозащита, демпфер, гаситель колебаний

**Для цитирования:** Белаш Т.А. Использование эффекта «гибкого этажа» в зданиях жестких конструктивных систем // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2023. № 2. С.45–53

DOI [10.37153/2618-9283-2023-2-45-53](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-2-45-53)

## **Design, building and reconstruction of a seismic constructions**

**The use of the "flexible floor" effect in buildings of rigid structural systems**

**Tatiana A. Belash<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>JSC Research Center of Construction. Moscow, Russian Federation.

**Abstract:** Buildings of rigid structural systems with the inclusion of "flexible floors" in their designs are a well-known solution that has become widespread in many southern regions for the organization of summer rooms, recreation, sports, etc. At the same time, the "flexible floor" was located at the level of the first floor. This approach allowed not only to create comfortable living

@T.A. Belash, 2023

conditions, but also with its help it was possible to reduce seismic loads on buildings by increasing the flexibility of the entire building and improving its dynamic characteristics. In another constructive solution, the earthquake resistance of the building increases due to the location of the "flexible floor" in the uppermost part, while the "flexible floor" performs the role of dynamic vibration dampener. However, according to architectural and planning requirements, there is a need to use free spaces in the middle part of rigid buildings, which can also be implemented through a "flexible floor". Assessment of the seismic resistance of these buildings in seismic areas under impacts different frequency composition is of great importance for the safe operation of these facilities. Some of the results of this study are presented in this article.

**Keywords:** rigid structural system; "flexible floor", earthquake resistance, seismic protection, damper, vibration dampener

**For citation:** Belash T.A. The use of the "flexible floor" effect in buildings of rigid structural systems. *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2023, no. 2, pp. 45–53. [In Russian]  
**DOI** [10.37153/2618-9283-2023-2-45-53](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-2-45-53)

Очень часто в архитектурно-конструктивном решении здания применяется сочетание конструктивных элементов, взятых из различных конструктивных систем, например, сочетание несущих элементов каркасной системы и стеновой. Такой подход позволяет одновременно создать не только интересную композицию здания, но и решить многие проблемы, связанные с обеспечением комфортных условий проживания в нем. Ярким примером использования этого подхода является использование «гибкого этажа», реализуемого через каркасные стойки в конструкциях здания жесткой конструктивной системы к которым относятся крупнопанельные здания, здания монолитной стеновой системы, каменные и другие здания. Одним из примеров таких решений является проект многоэтажного здания, представленный на рис.1, в котором на разных отметках по высоте вводятся элементы «гибкого этажа».



Рисунок 1 – проект многоэтажного здания, в котором на разных отметках по высоте вводятся элементы «гибкого этажа»  
(многофункциональный терминальный комплекс, г. Москва)

Figure 1 – the project of a multi-storey building, in which elements of a "flexible floor" are introduced at different heights (multifunctional terminal complex, Moscow)

В случае, если эти здания попадают в районы сейсмических воздействий, то их поведение существенным образом будет отличаться от поведения обычных зданий, конструктивное решение которых выполнено с использованием традиционных подходов. В этом случае «гибкий этаж» может выполнять различные функции. Так, одной из первых работ, посвященных использованию эффекта «гибкого этажа» в зданиях жестких конструктивных систем, была работа И.Л. Корчинского [1], в которой он привел пример конструкции крупнопанельного здания, опирающегося на рамный каркас нижнего этажа (рис. 2), выполняющего функции гибкого этажа.

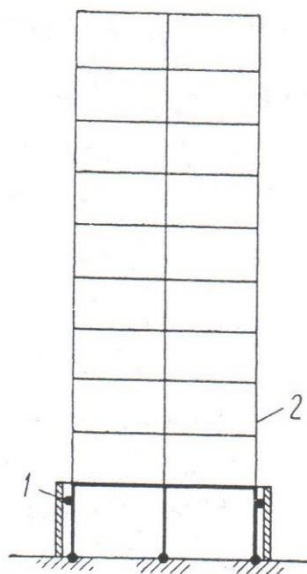


Рисунок 2 – Схема крупнопанельного здания с гибким нижним этажом [1]:  
1 – гибкая часть здания; 2 – жесткая часть здания

Figure 2 – Diagram of a large-panel building with a flexible lower floor [1]:  
1 – flexible part of the building; 2 – rigid part of the building

Благодаря такому решению гибкость всего здания существенно повышается, сейсмическая нагрузка уменьшается, гибкость здания может регулироваться за счет гибкости нижнего этажа. С таким конструктивным решением можно часто встретиться в южных регионах, в которых пространство нижнего этажа используется для летних помещений различного назначения. Между тем, последствия некоторых сильных землетрясений показали, что в местах сопряжения гибкой и жесткой частей здания могут возникать большие перемещения, приводящие к потере устойчивости здания и его обрушению.

Фактически описанная идея использования «гибкого этажа» явилась прообразом первых конструкций по реализации систем сейсмоизоляции, которые в тот период времени начали активно развиваться в России и за рубежом [2–4].

Другим наиболее известным решением использования «гибкого этажа» в качестве элемента сейсмозащиты здания было конструктивное решение, разработанное А.И. Цейтлиным [5] и в последующем детально изучено специалистами из Армении под руководством академика Э.Е. Хачияна. Был проведен большой комплекс экспериментальных и теоретических исследований, представленных, например, в [6–8].

Первоначально предполагалось, что снижение уровня колебаний здания происходит за счет передачи значительной части накапливаемой в нем энергии «гибкому этажу». В результате чего во время землетрясения «гибкий этаж» подвергается значительным

перемещениям, в его элементах возникают опасные повреждения, которые приводят к его обрушению. По мнению авторов исследования, предполагается, что гибкий этаж «жертвует» собой с целью безопасности остальных этажей, при этом этаж должен быть неэксплуатируемый. После землетрясения весь этаж восстанавливается.

При проведении дальнейших исследований было принято решение рассматривать массу «гибкого этажа» в качестве динамического гасителя колебаний, выполняющего функции сейсмогашения колебаний строительных конструкций здания при сейсмических воздействиях.

Здания с такой защитой получили реализацию на территории Армении (рис. 3).

а)

б)

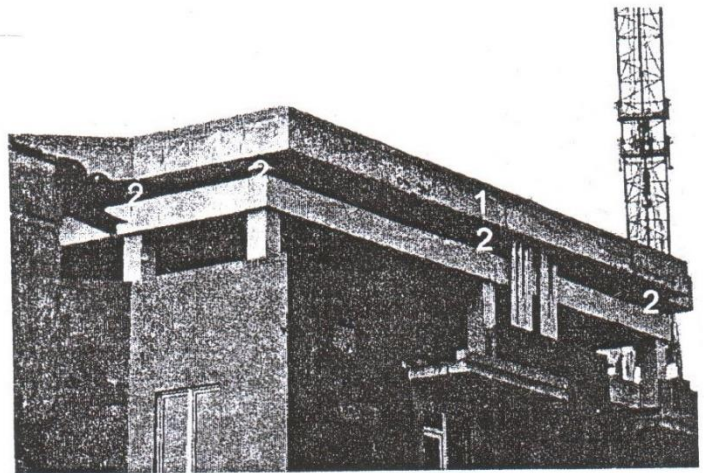


Рисунок 3 – Примеры реализации динамических гасителей в зданиях, построенных в Армении [7]: а – 9-этажное здание в г. Ванadzоре с изолированным верхним этажом (автор М. Мелкумян), 1 – изолированный этаж; 2 – подушки; б – 12-этажное здание в г. Ереване с гасителем сейсмических колебаний (автор З. Хлгатын), 1 – междуэтажные перекрытия; 2 – подушки

Figure 3 – Examples of the implementation of dynamic dampers in buildings built in Armenia [7]: а – a 9-storey building in Vanadzor with an isolated upper floor (author M. Melkumyan), 1 – an isolated floor; 2 – pillows; б – a 12-storey building in Yerevan with a seismic vibration dampener (author Z. Khlgatyan), 1 – floor ceilings; 2 – pillows

Во всех рассмотренных вариантах «гибкий этаж» занимал либо самую нижнюю позицию, либо располагался в самой верхней части здания. Влияние его на сейсмостойкость здания, как показали исследования, весьма значительно. Оно отражается прежде всего в изменении динамических характеристик здания, в котором за счет увеличения податливости «гибкого этажа» или использования его в качестве гасителя колебаний, можно добиться определенного уровня снижения сейсмической нагрузки на здание, тем самым повысив его сейсмостойкость. Однако конструкция «гибкого этажа» во время землетрясения оказывается весьма уязвимой, особенно при воздействиях низкочастотного характера, сопровождающихся большими смещениями основания, при этом «гибкий этаж» получает серьезные повреждения, что неоднократно подтверждалось



последствиями сильных землетрясений в Турции, Японии, Мексике и других странах (рис. 4).

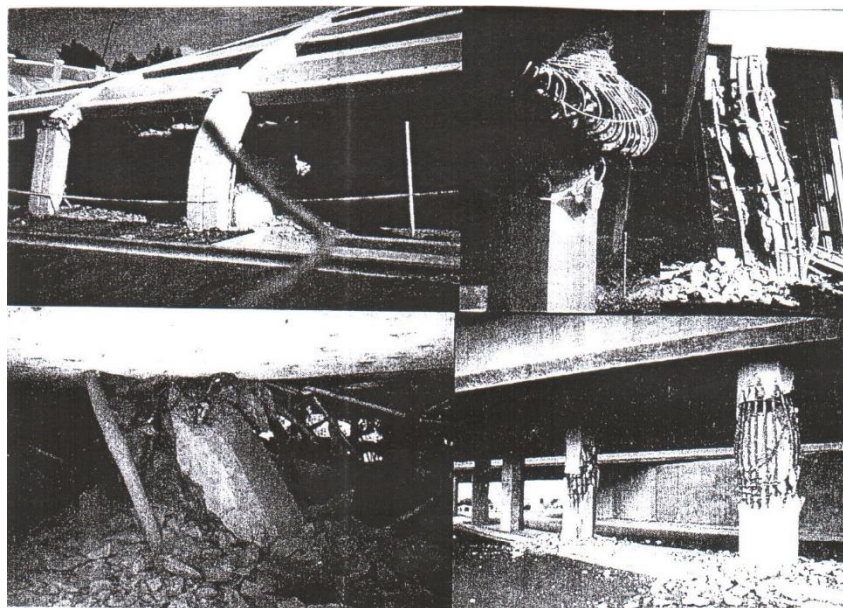


Рисунок 4 – Последствия сильных землетрясений, вызванные обрушением зданий и сооружений с гибкой нижней частью (по материалам международных конференций)

Figure 4 – The consequences of strong earthquakes caused by the collapse of buildings and structures with a flexible bottom (based on the materials of international conferences)

Подобная ситуация может возникнуть в зданиях при расположении «гибкого этажа» по высоте и на других уровнях. В архитектурном плане такие решения появляются для организации свободного пространства, например, в средней части здания для размещения зимних садов, спортивных площадок, зон отдыха и т.п. Для прогнозирования поведения такого здания во время землетрясения возникает необходимость в проведении дополнительных исследований по оценке степени влияния расположения «гибкого этажа» по высоте на его сейсмостойкость с учетом различного характера сейсмического воздействия. Некоторые результаты этого исследования представлены в настоящей статье.

Рассматривается здание из жестких монолитных стеновых конструкций толщиной 200 мм. Перекрытия и покрытия выполнены из монолитного железобетона в виде балок и плит. «Гибкий этаж» представлен из стальных квадратных труб сечением 160 x 160 x 5 мм.

Схемы типового и «гибкого этажа» показаны на рис. 5.

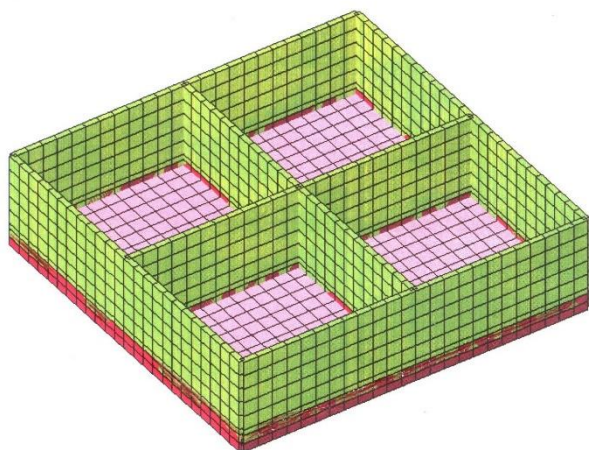


Схема типового этажа

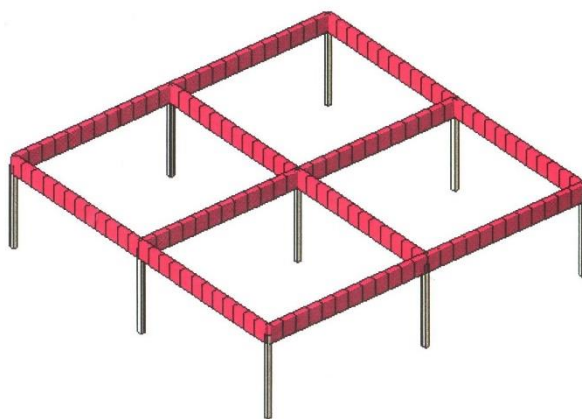


Схема гибкого этажа

Рисунок 5 – Фрагменты расчетных схем типового и «гибкого» этажей

Figure 5 – Fragments of calculation schemes of standard and "flexible" floors

Расчеты производились в программном комплексе ЛИРА-САПР 2016, позволяющем получить все необходимые параметры исследуемого здания, такие, как нагрузки в элементах, перемещение, периоды колебаний, а также визуализировать формы колебаний. Для оценки сейсмостойкости конструкции проводилось сравнение деформаций, усилий в опорных элементах «гибкого этажа», а также частоты и периоды колебаний. Воздействие задавалось набором акселерограмм, характерных для высокочастотных землетрясений с преобладающим периодом колебаний 0,1 с до 0,3 с, для среднечастотных воздействий; с преобладающим периодом колебаний от 0,4 с до 0,7 с; и для низкочастотных воздействий с преобладающим периодом колебаний от 1 с до 1,7 с. Взаимодействие здания с основанием учитывалось по гипотезе «жесткой платформы». Расчет выполнялся с использованием метода конечных элементов. Рассматриваемые расчетные схемы и собственные периоды колебаний, характерных для каждой схемы, представлены на рис. 6.

### Расчетные схемы

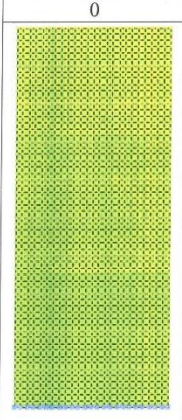
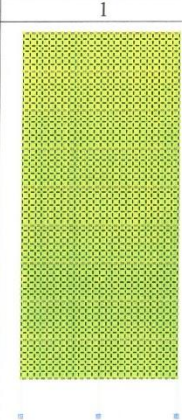
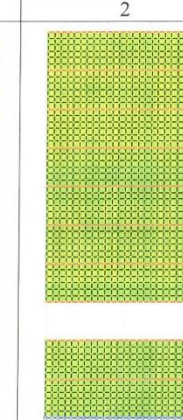
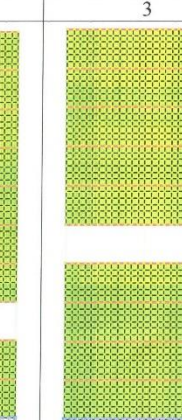
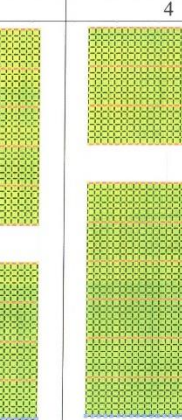
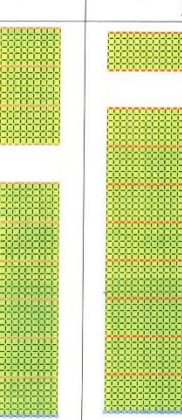
0	1	2	3	4	5
					
Собственный период 0,046с	Собственный период 0,526с	Собственный период 0,469с	Собственный период 0,399с	Собственный период 0,317 с	Собственный период 0,206 с

Рисунок 6 – Принятые в исследовании расчетные схемы

Figure 6 – Calculation schemes used in the study

Анализ полученных результатов подтверждает, что наличие «гибкого этажа» на разных высотных отметках здания приводит к изменению его динамических характеристик, при этом период собственных колебаний варьируется от 0,046 с до 0,526 с, т.е., за счет податливости вводимого конструктивного решения в виде гибких каркасных элементов можно добиться определенного эффекта повышения гибкости здания и ожидать снижения сейсмической нагрузки на здание. Однако характер изменения максимальных усилий, возникающих в стойках «гибкого этажа» свидетельствует о значительном их росте. При расположении «гибкого этажа» в нижней части (схема 1), максимальные усилия в стойках «гибкого этажа» составляли 189 тс, при повышении расположения «гибкого этажа» (схемы 2, 3) максимальные усилия составляли соответственно 154 тс и 113 тс, данные значения приведены при сильных низкочастотных воздействиях. Тот же характер изменения усилий в стойках «гибкого этажа» сохраняется и при воздействиях высокочастотного и среднечастотного характера. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при расположении «гибкого этажа» в нижней части и ближе к середине здания, стойки гибкого этажа испытывают большие вертикальные перегрузки. При значительных перемещениях, характерных, например, для низкочастотных воздействий, вертикальная нагрузка не только перегружает гибкие элементы этажа, но и создает условия для возникновения дополнительных моментов. В результате горизонтальные силы вызывают большие смещения, а собственный вес вышележащих этажей может стать причиной обрушения либо частичного, либо всего здания в целом. Наименьшие усилия возникают в стойках при расположении «гибкого этажа» в верхней части здания. Максимальные усилия в стойках при высокочастотных воздействиях для схемы № 4 соответствовали 6,71 тс, а для схемы № 5 – 1,83 тс. При среднечастотных воздействиях соответственно 10,1 тс и 7,21 тс. Однако для этих схем характерна сильная раскачка: так, максимальные деформации, возникающие в стойках верхнего этажа для схемы 5 при воздействиях низкочастотного характера составили около 33,7 см.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что, вводя «гибкий этаж» в конструкции жесткого здания, за счет изменения гибкости вводимого этажа можно



добиться снижения сейсмической нагрузки на здание. Однако обеспечить прочность и устойчивость гибких элементов этажа при сейсмических воздействиях, особенно низкочастотного характера, представляется достаточно сложной инженерной задачей, решение которой возможно при условии введения дополнительных элементов, например, демпфирующих, либо за счет определенных конструктивных мероприятий, направленных на создание надежных узлов сопряжения жестких и гибких частей здания, учитывающих особенности работы такого здания при сейсмических воздействиях различного частотного характера. В этой связи, если по архитектурным или планировочным задачам требуется организация свободных пространств по высоте здания, реализация которых может осуществляться, например, за счет введения каркасных гибких этажей или с использованием других конструктивных элементов, то их устройство в сейсмически опасных районах должно сопровождаться дополнительными исследованиями и конструктивным обоснованием, особенно в той части, которая касается узлов сопряжения жестких и гибких конструкций здания, учитывающих особенности поведения этих зданий в районах сейсмических воздействий. В противном случае, как было описано ранее, может возникнуть ситуация либо частичного, либо полного обрушения здания.

## Выводы

1. Применение «гибкого этажа» в зданиях жесткой конструктивной системы может быть использовано не только для решения архитектурно-планировочных задач, но и для выполнения функции сейсмозащиты здания. При этом «гибкий этаж» может располагаться на разных отметках по высоте.

2. Включение «гибкого этажа» в систему сейсмозащиты здания приводит к изменению его частотных характеристик: за счет повышения гибкости элементов снижается сейсмическая нагрузка на здание.

3. Конструктивное исполнение «гибкого этажа» может быть весьма разнообразным, это и каркасные стойки, и кинематические опоры различного вида, а также включение резинометаллических пружинных элементов и т.п. При этом наиболее уязвимым местом становится сопряжение жесткой части здания с гибкими элементами, которые испытывают одновременно значительные вертикальные и горизонтальные нагрузки во время землетрясения.

4. Учитывая непредсказуемость сейсмических воздействий и их сложный частотный состав, рекомендуется более тщательно подходить к проектированию узлов сопряжения рассматриваемых зданий, при этом положительным фактором является введение в конструкции «гибкого этажа» демпфирующих элементов различного вида. Кроме того, в вышележащих этажах предлагается использование облегченных конструкций стен с целью снижения их собственного веса.

## Список литературы

1. Корчинский И.Л., Бородин Л.А., Гроссман А.Б. и др. Сейсмостойкое строительство зданий: учебное пособие для вузов. Москва: Высшая школа. 1971. 320 с.
2. Савинов О.А., Сандович Т.А. О некоторых особенностях систем сейсмоизоляции зданий и сооружений // *Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева*. Сборник научных трудов. 1982. Т.161. С.26–33.
3. Белаш Т.А. Нетрадиционные способы сейсмозащиты транспортных зданий и сооружений: монография. Москва: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». 2017. 175 с.
4. Энергопоглощение в системах сейсмозащиты зданий и сооружений: монография. Санкт-Петербург: ФГБОУ ВО ПГУПС. 2020. 178 с.



5. Цейтлин А.И., Ким Л.И. Сейсмические колебания многоэтажного здания с «гибким» верхним этажом. Снижение материалоемкости и трудоемкости сейсмостойкого строительства. Тезисы докладов Всесоюзного совещания. Москва: Стройиздат; 1982.
6. Хачиян Э.Е. Сейсмическое воздействие и прогноз поведения сооружений. Ереван: Издательство «Гитутюн» НАН РА. 2015. 555 с.
7. Хачиян Э.Е., Мелкумян М.Г., Хлгатын З.М. Исследование сейсмического воздействия на многоэтажное здание с «гибким» верхним этажом // *Промышленность, строительство и архитектура Армении*. 1987. №1. С.45–49.
8. Melkumyan M. New solutions in seismic isolation. Yerevan, 2011.

## References

1. Korchinskij I.L., Borodin L.A., Grossman A.B. i dr. Sejsmostojkoe stroitel'stvo zdaniij: uchebnoe posobie dlya vuzov. Moscow: Vysshaya shkola. 1971, 320 p. [In Russian]
2. Savinov O.A., Sandovich T.A. O nekotoryh osobennostyah sistem sejsmoizolyacii zdaniij i sooruzhenij. *Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva*. Sbornik nauchnyh trudov. 1982, vol.161, pp. 26–33. [In Russian]
3. Belash T.A. Netradicionnye sposoby sejsmozashchity transportnyh zdaniij i sooruzhenij: monografiya. Moskva: FGBU DPO «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zhelezodorozhnom transporte». 2017, 175 p. [In Russian]
4. Energopogloshchenie v sistemah sejsmozashchity zdaniij i sooruzhenij: monografiya. Saint Petersburg: FGBOU VO PGUPS. 2020, 178 p. [In Russian]
5. Tsejtlin A.I., Kim L.I. Sejsmicheskie kolebaniya mnogoetazhnogo zdaniya s «gibkim» verhnim etazhom. Snizhenie materialoemkosti i trudnoemkosti sejsmostojkogo stroitel'stva. Tezisy dokladov Vsesoyuznogo soveshchaniya. Moscow: Strojizdat; 1982. [In Russian]
6. Khachiyan E.E. Sejsmicheskoe vozdejstvie i prognoz povedeniya sooruzhenij. Yerevan: Izdatel'stvo «Gitutyun» NAN RA. 2015, 555 p. [In Russian]
7. Khachiyan E.E., Melkumyan M.G., Hlgatyan Z.M. Issledovanie sejsmicheskogo vozdejstviya na mnogoetazhnoe zdanie s «gibkim» verhnim etazhom. *Promyshlennost', stroitel'stvo i arhitektura Armenii*. 1987, no.1, pp.45–49. [In Russian]
8. Melkumyan M. New solutions in seismic isolation. Yerevan, 2011. [In English]

## Информация об авторах / Information about authors

**Белаш Татьяна Александровна**, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные сооружения, конструкции и материалы» АО «Научно-исследовательский центр «Строительство». Москва, Российская Федерация  
[belashta@mail.ru](mailto:belashta@mail.ru)

**Tatiana A. Belash**, Dr. Sci. (Engineering), Professor, JSC Research Center of Construction. Moscow, Russian Federation