

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ

CONSTRUCTION MATERIALS AND CONSTRUCTION ENGINEERING IN METALLURGY

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 624.078
DOI: 10.18503/1995-2732-2022-20-4-137-143



НОВОЕ КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ВИБРОЗАЩИТЫ СТЫКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМОЗАКЛИНИВАЮЩИХСЯ СТРУКТУР

Кришан А.Л., Песин А.М., Локотунина Н.М., Матвеев С.В., Пивоварова К.Г.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы). В настоящее время рост динамических нагрузок, которые передаются фундаментам и иным строительным конструкциям зданий и сооружений, обусловлен интенсивным развитием промышленного производства и увеличением мощностей оборудования. Это вызывает необходимость разработки новых конструктивных решений, позволяющих защитить технологическое оборудование и работающий персонал от неблагоприятных вибрационных воздействий. В условиях динамического воздействия наиболее эффективными конструкциями зданий принято считать конструкции из монолитного железобетона, в частности здания с безбалочным каркасом и поперечной или жесткой арматурой, установленной в плите перекрытия. Недостатком такой конструкции является отсутствие возможности гасить виброколебания при различных динамических воздействиях, что отрицательно сказывается на прочности стыкового соединения, на санитарно-гигиенических условиях пребывания на них людей и на устойчивости работы оборудования. На сегодняшний день в качестве защиты от динамических воздействий приборов и оборудования, устанавливаемых на вибрирующих основаниях, а также оснований и фундаментов разработано множество виброзащитных устройств различных конструктивных разновидностей. Гасители колебаний занимают существенное место среди существующих методов борьбы с вибрациями. Они представляют собой дополнительные динамические устройства, присоединяемые в целях изменения вибрационного состояния объектов виброзащиты. **Новизна.** В настоящей статье предлагается стыковое соединение железобетонного перекрытия с колонной, содержащее плиту перекрытия, колонны верхнего и нижнего яруса, арматурные каркасы колонны, плиты перекрытия и металлические вставки с гасителями колебаний, изготовленными из эластичного материала с прочностью, превышающей прочность бетона колонны (например, битума). **Результат.** Предлагаемая конструкция стыкового соединения позволяет снизить интенсивность виброколебаний безбалочного железобетонного перекрытия и колонны верхнего яруса при динамических воздействиях на колонну нижнего яруса. **Практическая значимость.** Обеспечение увеличения прочности стыкового соединения монолитного железобетонного перекрытия с колонной и существенное повышение долговечности защищаемой конструкции.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, динамические нагрузки, вибрация, стык железобетонного перекрытия с колонной, гасители колебаний, самозаклинивающиеся структуры

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-20073, <https://rscf.ru/project/22-19-20073/> и финансовой поддержки Челябинской области.

© Кришан А.Л., Песин А.М., Локотунина Н.М., Матвеев С.В., Пивоварова К.Г., 2022

Для цитирования

Новое конструктивное решение виброзащиты стыкового соединения железобетонного перекрытия с использованием самозаклинивающихся структур / Кришан А.Л., Песин А.М., Локотунина Н.М., Матвеев С.В., Пивоварова К.Г. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2022. Т. 20. №4. С. 137-143. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-4-137-143>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

A NEW CONSTRUCTION SOLUTION FOR VIBRATION PROTECTION OF THE BUTT JOINT OF REINFORCED CONCRETE FLOORS USING INTERLOCKING STRUCTURES

Krishan A.L., Pesin A.M., Lokotunina N.M., Matveev S.V., Pivovarova K.G.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. Problem Statement (Relevance). A current increase in dynamic loads transferred to foundations and other structures of buildings and facilities is attributed to the intensive development of industrial production and higher equipment capacity. This contributes to the development of new design solutions to protect process equipment and operating personnel from adverse vibration effects. Under conditions of dynamic impact, the most efficient building structures are considered to be structures made of monolithic reinforced concrete, in particular, buildings with a beamless frame and transverse or rigid reinforcement installed in the floor slab. The disadvantage of this design is the inability to dampen vibrations under various dynamic impacts, which adversely influence strength of the butt joint, the sanitary and hygienic conditions of people staying on them and stability of equipment. Now, there are many design options of various vibration protection devices to protect against dynamic effects of tools and equipment installed on vibrating bases, and bases and foundations. Vibration dampers are of importance among the existing vibration protection methods. They represent additional dynamic devices attached to change a vibrational state of facilities under vibration protection. **Originality.** This paper proposes a butt joint of a reinforced concrete floor with a column, containing a floor slab, columns of the upper and lower tiers, column reinforcing cages, floor slabs and metal inserts with vibration dampers made of an elastic material with strength exceeding concrete strength of the column (e.g. bitumen). **Result.** The proposed design of the butt joint makes it possible to reduce the intensity of vibration oscillations of a beamless reinforced concrete floor and the column of the upper tier during dynamic loads on the column of the lower tier. **Practical Relevance.** Ensuring an increase in strength of the butt joint of a monolithic reinforced concrete floor with a column and a significant increase in the durability of the protected structure.

Keywords: reinforced concrete structures, dynamic loads, vibration, reinforced concrete floor joint with a column, vibration dampers, interlocking structures

The study was supported by a grant of the Russian Science Foundation and the Chelyabinsk Region (project No. 22-19-20073, <https://rscf.ru/project/22-19-20073/>).

For citation

Krishan A.L., Pesin A.M., Lokotunina N.M., Matveev S.V., Pivovarova K.G. A New Construction Solution for Vibration Protection of the Butt Joint of Reinforced Concrete Floors Using Interlocking Structures. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2022, vol. 20, no. 4, pp. 137-143. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-4-137-143>

Введение

Увеличение производственных мощностей промышленных предприятий в условиях интенсификации современного производства неизбежно приводит к увеличению плотности и мощности оборудования, которое функционирует в интенсивном динамическом режиме в цехах промышленных зданий и сооружений, а также в зданиях хозяйственного и административно-бытового назначения. Интенсификация силовых несовершенств каменной кладки, бетона и железобетона, выражающаяся в заметном увеличении амплитуд колебаний и диссипативных потерях энергии за счет формирования гистерезисной петли, возникает как следствие прямого динамического воздействия на конструкции промышленного оборудования. Помимо прямого динамического воздействия, вибрации от оборудования, которые пере-

даются через грунт к конструкциям окружающих зданий, с одной стороны, вызывают их колебания, с другой – приводят к изменению физико-механических свойств грунтов оснований, формируя тем самым дополнительные осадки, например в случаях песчаных грунтов на 20-25% [1, 2]. Как следствие, эксплуатационные качества конструкций резко снижаются, а в крайних, особо опасных случаях – могут привести к их разрушению.

Любая конструкция с точки зрения физической природы динамических процессов – это сложная колебательная система со многими степенями свободы, которая состоит из панелей, балок, стержней, оболочек, на которую, в свою очередь, действуют внешние и внутренние источники колебаний. Потoki вибраций от источников колебаний растекаются по всей конструкции комплекса: отражаются на стыках, неоднородностях, поглощаются и излучаются, создавая тем

самым звуковые шумы, спектр которых расширяется при переходе энергии на нелинейных элементах в область высоких частот. Как следствие многократных переотражений, возникают резонансы и концентрации энергии колебаний на отдельных участках конструкции [3]. Это может привести к разрушению каменной и кирпичной кладки, отслаиванию бетона от арматуры в железобетонных конструкциях, нарушению стыков соединений несущих конструкций и перекрытий.

Кроме того, недопустимо превышение требований санитарных норм, поскольку дополнительные вибрации, возникающие в конструкциях при работе промышленного оборудования, могут оказывать вредное, а иногда и недопустимое влияние на обслуживающий персонал или людей, которые находятся в помещениях, в которых наблюдаются указанные колебания конструкций. Предельные уровни вибрации установлены ГОСТ Р 52892-2007. Различные архитектурно-конструкционные решения предусмотрены для снижения уровня вибрации в конструкциях зданий и сооружений.

Конструкции из монолитного железобетона признаны наиболее эффективными среди прочих конструкций зданий в условиях динамического воздействия. Их специфика позволяет снизить уровни вибрации перекрытий на 5-8 дБ по сравнению со зданиями из сборных железобетонных элементов. Это достигается благодаря тому, что в динамической работе монолитных конструкций возникают более «мягкие» резонансные явления, поскольку эти конструкции представляют собой сплошные разветвленные массивные тела, а не отдельные элементы, как в сборных зданиях.

Наиболее приемлемой схемой здания в этом случае является колонный каркас, поскольку его эффективность повышается с увеличением толщины плит перекрытий и уменьшением сечения колонн. Для сглаживания влияния неоднородностей грунтового основания и распределения и, как следствие, снижения колебаний по площади фундамента, рекомендуется использовать сплошную монолитную железобетонную плиту в качестве фундамента [4].

Здания с безбалочным каркасом занимают большую долю в строительстве из монолитного железобетона. Но такие здания имеют ряд недостатков, наиболее значимым из которых является устройство стыка колонны с перекрытием – с конструктивной точки зрения «слабое место» при работе перекрытия на изгиб и продавливание [5].

В настоящее время предложены различные варианты технических решений устройства стыка

колонны с безбалочным перекрытием [6-10]. Наиболее распространенными являются варианты с установкой поперечной или жесткой арматуры в плите перекрытия, поскольку жесткая арматура увеличивает несущую способность перекрытия на продавливание, но в то же время оказывает незначительное влияние на восприятие изгибающего момента. При этом отсутствует возможность при различных динамических воздействиях гасить виброколебания, что отрицательно сказывается не только на прочности стыкового соединения, но и на устойчивой работе высокоточного технологического оборудования, а также на санитарно-гигиенических условиях пребывания на них людей.

Таким образом, целью работы является создание более прочного стыкового соединения монолитного железобетонного перекрытия с колонной, позволяющего защитить высокоточные технологические процессы и промышленное оборудование от вибрационного воздействия естественного и техногенного происхождения путем их оснащения гасителями колебаний.

Полученные результаты

Гасители колебаний представляют собой дополнительные динамические устройства, присоединяемые к объекту виброзащиты, подверженному динамическим воздействиям от технологического оборудования и ветра, с целью изменения его вибрационного состояния. Существует множество конструктивных решений динамических виброгасителей для зданий и сооружений различной геометрической формы [11-16], которые соответствуют известным геометрическим фигурам, например, квадрату, прямоугольнику, кругу, кубу и прочим правильным фигурам. Однако в последние годы отечественные и зарубежные архитекторы и строители оценили возможности применения самозаклинивающихся структур [17-19], представляющих собой слои из кубов, тетраэдров и октаэдров и других объемных тел. Их особенность состоит в том, что они являются выпуклыми полиэдрами и контакт между ними осуществляется на плоских гранях. Самозаклиниванием они обязаны своей форме и взаиморасположению.

В настоящей работе представлено новое конструктивное решение стыкового соединения железобетонного перекрытия с металлическими вставками и гасителями колебаний в виде самозаклинивающихся структур. Данное соединение представлено на **рис. 1**.

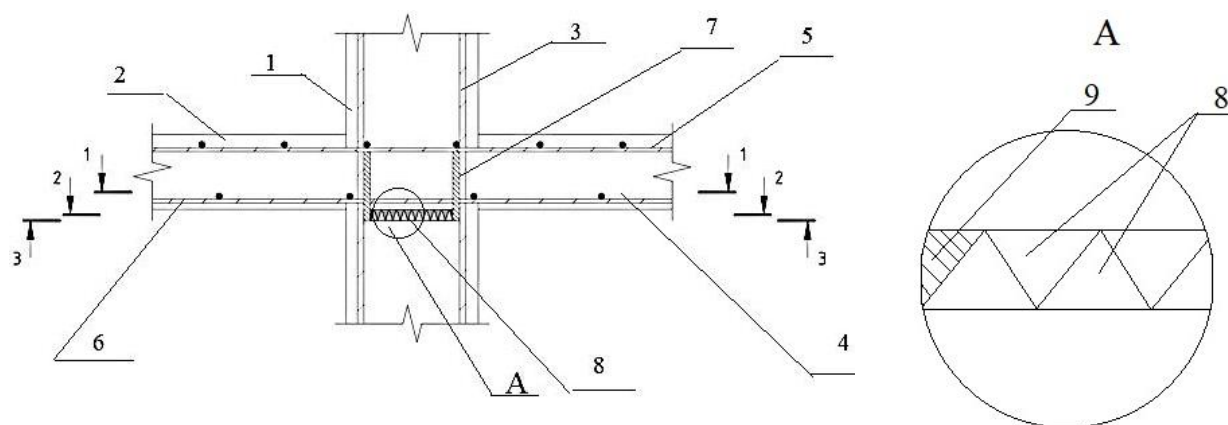


Рис. 1. Соединение колонны с плитой перекрытия в разрезе: 1 – колонна; 2 – плита перекрытия; 3 – арматурный каркас колонны; 4 – арматурный каркас плиты перекрытия; 5 – верхняя сетка; 6 – нижняя сетка; 7 – металлические вставки; 8 – гасители колебаний; 9 – эластичный материал; А – гасители колебаний в разрезе
 Fig. 1. Connection of a column with a floor slab in section: 1 is a column; 2 is a floor slab; 3 is a reinforcing cage of the column; 4 is a reinforcing cage of the floor slab; 5 is upper mesh; 6 is lower mesh; 7 is steel inserts; 8 is vibration dampers; 9 is an elastic material; A is vibration dampers in section

Стыковое соединение безбалочного железобетонного перекрытия с колонной (см. **рис.1**) представляется их себя колонну и плиту перекрытия, внутри которых размещены арматурные каркасы колонны и плиты перекрытия. Арматурный каркас плиты перекрытия включает в себя верхнюю и нижнюю сетки. На арматурных каркасах колонны и верхней сетке плиты перекрытия симметрично относительно осей колонны жестко закреплены металлические вставки в направлении от колонны к плите перекрытия. Каждая металлическая вставка выполнена в виде прямолинейной цельной пластины и установлена таким образом, что проходит сквозь колонну и соединена с арматурными каркасами колонны и плиты перекрытия посредством неразъемного соединения, например только сварным швом. Каждая пара взаимно перпендикулярных цельных металлических вставок соединена между собой посредством встречного паза и сварного соединения.

Участки металлических вставок, расположенные между продольной арматурой каркаса колонны нижнего яруса, имеют увеличенную высоту на величину 0,1-0,5 от толщины перекрытия. Пространство между металлическими вставками от уровня низа плиты перекрытия на эту высоту заполнено гасителями колебаний, выполненными из двух слоев одинаковых элементов, имеющих форму правильных пирамид с квадратными основаниями. Основания каждого слоя пирамид расположены горизонтально и плотно соприкасаются боковыми гранями с соседними элементами слоя, а вершины элементов пирамид каждого слоя касаются горизонтальной поверхности, образуемой основаниями другого слоя. Пустое пространство между металличе-

скими вставками и боковыми поверхностями правильных пирамид заполнено эластичным материалом (например, битумом). Все элементы гасителей колебаний изготовлены из материала с прочностью $R > 1,5 \cdot R_b$, где R_b – прочность бетонной трубобетонной колонны.

Установку гасителей колебаний в пространстве между металлическими вставками и заполнение пустого пространства между металлическими вставками и боковыми поверхностями правильных пирамид осуществляют на стройплощадке после бетонирования колонны нижнего яруса до уровня оснований нижнего слоя пирамид гасителей колебаний. Соединение продольных стержней арматурного каркаса колонны и арматурных стержней верхней сетки арматурного каркаса с металлическими вставками осуществляют посредством сварных швов.

После установки металлических вставок и гасителей колебаний (**рис. 2**) в проектное положение производят бетонирование плиты перекрытия и колонны верхнего яруса. Укладка бетона на основания верхнего слоя пирамид гасителей колебаний в пространстве между металлическими вставками не отличается от бетонирования плиты перекрытия и уплотнения бетона в ней.

Предлагаемая конструкция стыкового соединения с металлическими вставками с гасителями колебаний безбалочного монолитного железобетонного перекрытия с колонной обладает высокой надежностью соединения колонны с плитой перекрытия по сравнению со стыковым соединением с металлическими вставками без гасителей колебаний, что позволит существенно повысить долговечность защищаемой конструкции.

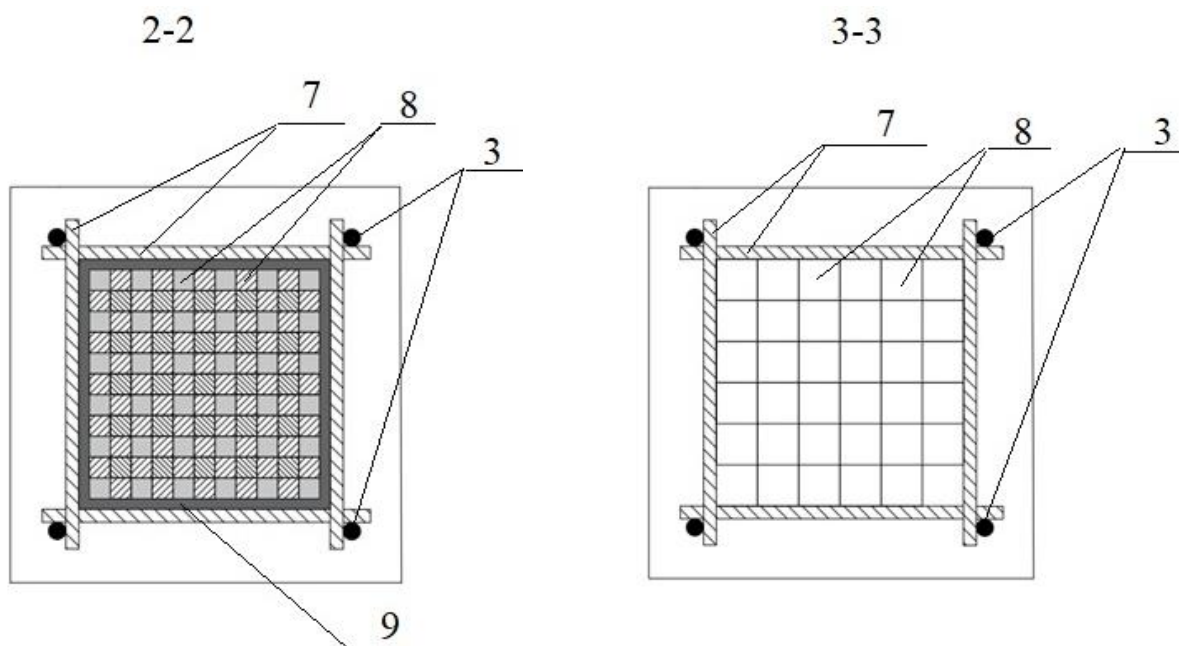


Рис. 2. Гасители колебаний: 2-2 – вид поперечного сечения срединного слоя гасителей;
3-3 – вид снизу на нижний слой гасителей (обозначения те же, что и на рис. 1)

Fig. 2. Vibration dampers: 2-2 is a cross-sectional view of the middle layer of dampers;
3-3 is a bottom view of the lower layer of dampers (the legend is the same as in Fig. 1)

Заключение

Конструкция предлагаемого стыкового соединения с металлическими вставками с гасителями колебаний позволяет снизить интенсивность виброколебаний безбалочного железобетонного перекрытия и колонны верхнего яруса при динамических воздействиях на колонну нижнего яруса. Это обеспечивает увеличение прочности стыкового соединения монолитного железобетонного перекрытия с колонной, устойчивость работы высокоточного технологического оборудования и улучшит санитарно-гигиенические условия пребывания людей на перекрытиях.

Список источников

1. Берлинов М.В. Основы комплексной оценки динамической работы строительных конструкций при вибрационных воздействиях промышленного оборудования: автореф. ... дис. д-ра техн. наук. М., 2005. 43 с.
2. Седых А.А. Защита зданий от вибрации // Омский научный вестник. 2009. № 1 (84). С. 11-14.
3. Гордеев Б.А., Ерофеев В.И., Плехов А.С. Математические модели адаптивных виброизоляторов мобильных и стационарных объектов: монография. Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2017. 124 с.
4. Виброзащита зданий, расположенных вблизи линий метрополитена / А.В. Волков, Н.К. Калашникова, С.А. Курнавин и др. // Строительные материалы. 2005. № 9. С. 50-52.
5. Яров В.А., Коянкин А.А. Стык колонны с перекрытием в безбалочных каркасах многоэтажных зданий // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2007. № 4. С. 75-80.
6. Самохвалова Е.О., Иванов А.Д. Стык колонны с безбалочным бескапитальным перекрытием в монолитном здании // Инженерно-строительный журнал. 2009. №3. С. 33-37.
7. Пат. 2194825 Российская Федерация, МПК E04B 5/43. Стыковое соединение безбалочного монолитного железобетонного перекрытия с колонной / В.В. Власов, В.Г. Мурашкин, А.В. Травин; заявитель и патентообладатель Самарская государственная архитектурно-строительная академия (СамГАСА). № 2003112898/03; заявл. 30.04.2003; опубл. 10.01.2005.
8. Пат. 52035 Российская Федерация, МПК E04B 5/43. Стыковое соединение железобетонного перекрытия с колонной / С.М. Анпилов, А.С. Рыжков; заявитель и патентообладатель С.М. Анпилов. № 2005131818/22; заявл. 13.10.2005; опубл. 10.03.2006.
9. Соколов Б.С., Латыпов Р.Р. Экспериментальные исследования штепсельного стыка колонн на сдвиг при действии статических и сейсмических нагрузок // Бетон и железобетон. 2009. №5. С. 2-5.
10. Пекин Д.А. Несущая способность опорных зон монолитных железобетонных безбалочных перекрытий, усиленных скрытыми металлическими капителями: дис. ... канд. техн. наук. М., 2017. 163 с.

11. Современное состояние методов расчета железобетонных конструкций на действие динамических нагрузок / Ж.Т. Наширалиев, М.Б. Кусбекова, Ж.Н. Жусупова и др. // *European research*. 2017. №5 (28). С. 20-24.
12. Смирнов В.А. Виброзащита высокоточного оборудования на основе виброизоляторов квазиулевой жесткости: дис. ... канд. техн. наук. М., 2014. 172 с.
13. Мелкумян М.Г. Исследование эффективности одно- и двухмассового динамического гасителя колебаний на модели каркасного здания при вибрационных испытаниях // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. №5 (31). С. 23-29.
14. Манушина А.Е., Уфимцев Е.К., Чemezov Н.А. Колебания вибрационного стола с динамическим гасителем колебаний // *Политехнический молодежный журнал*. 2019. №3. С. 1-11.
15. Хоменко А.П., Елисеев С.В. Динамическое гашение колебаний: концепция обратной связи и структурные методы математического моделирования // *Проблемы механики современных машин*. 2015. Т. 3. С. 228-234.
16. Palazzo B., Petti L., De Iuliis M. A passive robust control strategy: base isolation and tuned mass damping // *Proceedings of the 3rd European conference on structural control*. Vienna, Austria, 2004, pp. 51-210.
17. Пириайнен В.Ю., Эстрин Ю.З. Топологическое самозаклинивание как принцип инженерного дизайна при строительстве морских и прибрежных сооружений // *Записки Горного института*. 2017. Т. 226. С. 480-486.
18. Fallacara G., Calabria C. About Building Stereotomy: Theory and Practice. Handbook of Research on Visual Computing and Emerging Geometrical Design Tools. Milan, IGI Global, 2016, pp. 575-607.
19. Пат. 2063925 Российская Федерация, МПК В66F 3/00, E04G 11/24. Шаговый подъемник для подъема самозаклинивающихся на колонне перекрытий / Е.М. Израилев, В.П. Обухов; патентообладатели Е.М. Израилев, В.П. Обухов. № 92014874/11; заявл. 09.12.1992; опублик. 20.07.1996.
- stationary facilities]. Nizhny Novgorod: Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, 2017, 124 p. (In Russ.)
4. Volkov A.V., Kalashnikova N.K., Kurnavin S.A., Veretina I.A. Vibration protection of buildings located near subway lines. *Stroitelnye materialy* [Construction Materials], 2005, no. 9, pp. 50-52. (In Russ.)
5. Yarov V.A., Koyankin A.A. Joint of a column with a ceiling in beamless frames of multi-storey buildings. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering], 2007, no. 4, pp. 75-80. (In Russ.)
6. Samokhvalova E.O., Ivanov A.D. Joint of a column with a beamless headless floor in a monolithic building. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal* [Journal of Civil Engineering], 2009, no. 3, pp. 33-37. (In Russ.)
7. Vlasov V.V., Murashkin V.G., Travin A.V. *Stykovoe soedinenie bezbalochnogo monolitnogo zhelezobetonnogo perekrytiya s kolonnoy* [Butt connection of a beamless monolithic reinforced concrete floor with a column]. Patent RU, no. 2194825, 2005.
8. Anpilov S.M., Ryzhkov A.S. *Stykovoe soedinenie zhelezobetonnoy perekrytiya s kolonnoy* [Butt joint of a reinforced concrete floor with a column]. Patent RU, no. 52035, 2006.
9. Sokolov B.S., Latypov R.R. Experimental studies of the plug-in joint of columns for shear under static and seismic loads. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2009, no. 5, pp. 2-5. (In Russ.)
10. Pekin D.A. *Nesushchaya sposobnost opornykh zon monolitnykh zhelezobetonnykh bezbalochnykh perekrytii, usilennykh skrytymi metallicheskiye kapitelyami*. Diss. kand. tekhn. nauk [Bearing capacity of supporting zones of monolithic reinforced concrete beamless slabs reinforced with hidden metal capitals. Ph.D. thesis]. Moscow, 2017. 163 p.
11. Nashiraliyev Zh. T., Kusbekova M.B., Zhusupova Zh.N., Permyakov M.B. Current state of methods for calculating reinforced concrete structures for dynamic loads. *European Research*, 2017, no. 5 (28), pp. 20-24. (In Russ.)
12. Smirnov V.A. *Vibrozhashchita vysokotochnogo oborudovaniya na osnove vibroizolyatorov kvazinulevoy zhestkosti*. Diss. kand. tekhn. nauk [Vibration protection of high-precision equipment based on vibration isolators of quasi-zero stiffness. Ph.D. thesis]. Moscow, 2014. 172 p.
13. Melkumyan M.G. Study on efficiency of a one- and two-mass dynamic vibration damper on a model of a frame building during vibration tests. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal* [Journal of Civil Engineering], 2012, no. 5 (31), pp. 23-29. (In Russ.)
14. Manushina A.E., Ufimtsev E.K., Chemezov N.A. A vibration table with a dynamic vibration damper. *Politekhnikeskii molodezhnyi zhurnal* [Polytechnic Student Journal], 2019, no. 3, pp. 1-11. (In Russ.)

References

1. Berlinov M.V. *Osnovy kompleksnoy otsenki dinamicheskoy raboty stroitel'nykh konstruksii pri vibratsionnykh vozdeystviyakh promyshlennogo oborudovaniya: avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk* [Fundamentals of a comprehensive assessment of the dynamic operation of building structures under the vibrational effects of industrial equipment. Extended abstract of the doctoral thesis]. Moscow, 2005. 43 p.
2. Sedykh A.A. Vibration protection for buildings. *Omskii nauchnyi vestnik* [Omsk Scientific Bulletin], 2009, no. 1 (84), pp. 11-14. (In Russ.)
3. Gordeev B.A., Erofeev V.I., Plekhov A.S. *Matematicheskie modeli adaptivnykh vibroizolyatorov mo-bil'nykh i statsionarnykh obektov* [Mathematical models of adaptive vibration isolators for mobile and

15. Khomenko A.P., Eliseev S.V. Dynamic damping of oscillations: the concept of the feedback and structural methods of mathematical modeling. *Problemy mekhaniki sovremennykh mashin* [Problems of Mechanics of Modern Machines], 2015, no. 3, pp. 228-234. (In Russ.)
16. Palazzo B., Petti L., De Iuliis M. A passive robust control strategy: base isolation and tuned mass damping. *Proceedings of the 3rd European Conference on Structural Control*. Vienna, Austria, 2004, pp. 51-210.
17. Piiraynen V.Yu., Estrin Yu.Z. Topological interlocking as an engineering design principle in the construction of offshore and coastal structures. *Zapiski Gornogo instituta* [Journal of the Mining Institute], 2017, vol. 226, pp. 480-486. (In Russ.)
18. Fallacara G., Calabria C. About building stereotomy: Theory and practice. *Handbook of Research on Visual Computing and Emerging Geometrical Design Tools*. Milan, IGI Global, 2016, pp. 575-607.
19. Izrailev E.M., Obukhov V.P. *Shagovyi podemnik dlya podema samozaklinivayushchikhsya na kolonne perekrytii* [A step-type hoist for lifting ceilings interlocking on a column]. Patent RU, no. 2063925, 1996.

Поступила 05.12.2022; принята к публикации 06.12.2022; опубликована 22.12.2022
Submitted 05/12/2022; revised 06/12/2022; published 22/12/2022

Кришан Анатолий Леонидович – доктор технических наук, профессор, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Email: al.krishan@magtu.ru.

Песин Александр Моисеевич – доктор технических наук, профессор, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Email: pesin@bk.ru.

Локотунина Наталья Михайловна – кандидат технических наук, доцент, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Email: l.lokotunina@magtu.ru.

Матвеев Сергей Владимирович – доктор физико-математических наук, руководитель проекта, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Email: matveev@csu.ru.

Пивоварова Ксения Григорьевна – доктор технических наук, доцент, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Email: k.pivovarova@magtu.ru.

Anatoly L. Krishan – DrSc (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: al.krishan@magtu.ru.

Alexander M. Pesin – DrSc (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: pesin@bk.ru.

Natalia M. Lokotunina – PhD (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: l.lokotunina@magtu.ru.

Sergey V. Matveev – DrSc (Physics and Mathematics), Project Manager, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: matveev@csu.ru.

Ksenia G. Pivovarova – DrSc (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: k.pivovarova@magtu.ru.