

Технология высокоточного монтажа кинематической сейсмоизолирующей опоры

С.А. Чипко, О.А. Бурцева, М.Г. Скибин

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени
М.И. Платова, Новочеркасск*

Аннотация: Рассмотрена система сейсмоизолирующих кинематических опор, устанавливаемых в подземной части высотного здания. Предложен усовершенствованный способ высокоточного монтажа кинематических сейсмоизолирующих опор, позволяющий повысить точность установки сейсмоопоры на систему из четырех тел качения. Описана технология монтажа сейсмоопор на нулевом цикле строительства высотного здания. Оценены преимущества.

Ключевые слова: высотное сооружение, гашение колебаний, катковая система компенсации сейсмоколебаний, сейсмоизоляция, высокоточный монтаж сейсмоизолирующих опор.

Актуальность проблемы сейсмозащиты зданий и сооружений объясняется постоянным наличием сейсмической активности в различных районах Земли. Разработке конструкции сейсмоизолирующей опоры высотного сооружения посвящены работы авторов [1-3] и получен патент на изобретение [4]. Однако, в современном строительстве актуальной задачей является не только гарантирование устойчивости и безопасности возводимых высотных зданий в сейсмоактивных районах за счет использования сейсмоизолирующих систем, но и проблема обеспечения высокой точности монтажа сейсмоизолирующих опор [5, 6]. В связи с этим возникает необходимость решения такой актуальной научно-технической задачи, как усовершенствование технологии монтажа кинематических сейсмоизолирующих опор для повышения точности ее установки в проектное положение.

На рис. 1 представлены размеры сейсмоопоры с учетом размеров высотного здания, количества таких сейсмоопор и их механической

безопасности, учитывающей возникающие напряжения в точках контакта шаров с бетонным основанием и прочности разрабатываемой сейсмоопоры.

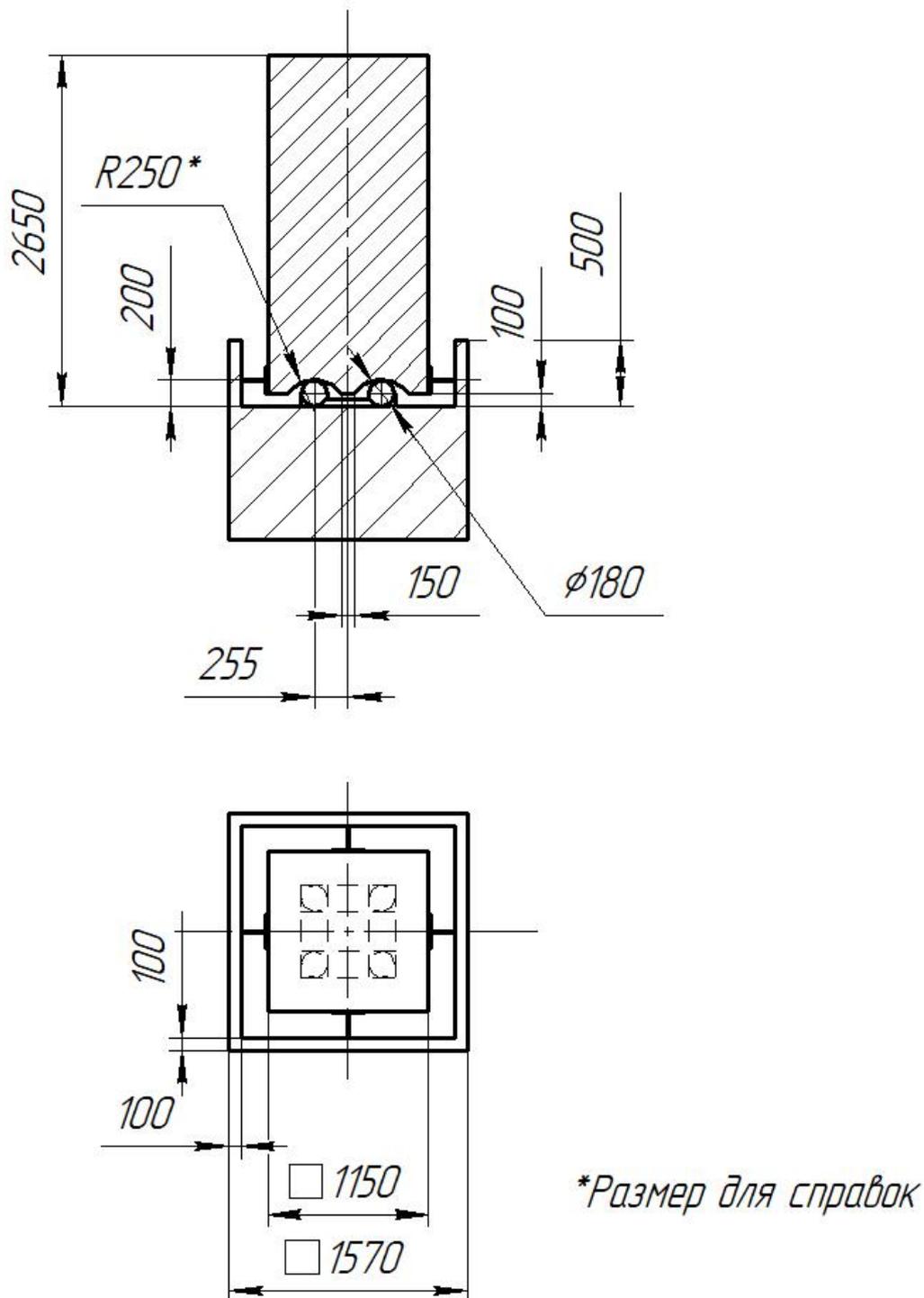


Рис. 1. - Размеры кинематической сейсмоизоляционной опоры

В соответствии с требованиями, выдвигаемыми в СП 14.13330.2018 и в [7], при «монтаже сейсмоизолирующей опоры погрешность отклонения по высоте между значением у смонтированной сейсмоизолирующей опоры и требуемой по проекту не должна быть более 5,0 мм». Это условие может быть выполнено при контроле высокой точности установки сейсмоизолирующей опоры на систему из четырех шаров, размещенных и зафиксированных на ровной поверхности плитного бетонного фундамента высотного здания. Даже если все опоры установить и временно закрепить с требуемой точностью, то в процессе последующей установки верхних закладных деталей и их сочленения с надопорными монолитными перекрестными балками и перекрытиями невозможно полностью исключить смещения легко перекатывающихся на ровной поверхности шаров качения, а с ними и сейсмоизолирующих кинематических опор. Это становится неустранимым препятствием после твердения бетона при заливке верхнего перекрытия. Следовательно, возведенное выше высотное здание не сможет воспринимать проектные сейсмические нагрузки. Кроме этого, при наклоне соседних опор в противоположные стороны возможно появление дополнительных запроектных усилий и деформаций, способствующих разрушению отдельных конструкций высотного здания, что в свою очередь может привести к возможному прогрессирующему обрушению всего высотного здания [5]. То есть, достижение достаточно высокой точности монтажа разработанной системы сейсмоизолирующих кинематических опор является актуальной технической задачей. Статья посвящена решению проблемы высокоточной установки и выверки кинематической опоры на шаровые тела качения, детальному описанию конструктивного решения точной фиксации шаровых тел качения на ровном монолитном бетонном фундаменте при монтаже сейсмоизолирующей опоры и описывается

поэтапное возведение всех элементов кинематических сейсмоизолирующих опор в подземной части высотного здания.

Первоначально предполагалось устанавливать разработанную кинематическую сейсмоизолирующую опору на ровный бетонный фундамент в вырезанные в нем высокие «стаканы», что показано на рис. 2.

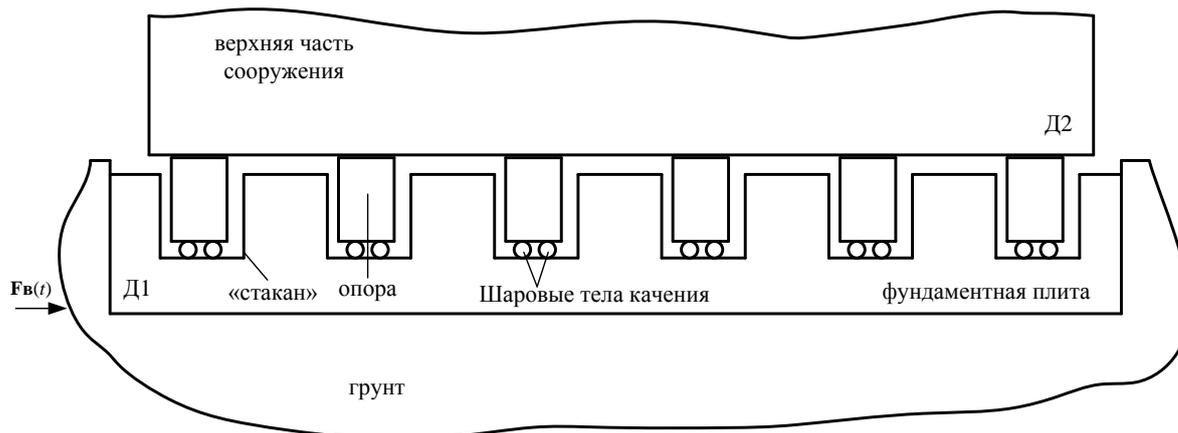


Рис. 2. - Схема сейсмоизолирующего фундамента

Но при этом невозможно обеспечить точность сочленения шаровых тел качения с циклоидальными выемками в нижней части сейсмоизолирующей опоры. При монтаже опор в «стаканы» фундамента для временного крепления и выверки необходима жесткая заделка в виде двух клиньев с каждой стороны. После окончания выверки и замоноличивания стыков возникает необходимость извлечения клиньев, что возможно только с большими затратами ручного труда. При этом необходимо учитывать, что в соответствии с п. 7.3.2 [7] «проектирование и конструирование устройств сейсмоизоляции и их соединения со зданием следует выполнять таким образом, чтобы обеспечивалась возможность их плановой проверки и замены во время срока эксплуатации здания. Для обеспечения исполнения данного требования необходимо, чтобы проект здания учитывал возможность доступа к устройствам как для оборудования, так и для персонала.». То есть нужно обеспечить возможность осмотра, технического обслуживания и замены

сейсмоизолирующей опоры в фундаментном «стакане» в течение всего срока эксплуатации здания. А при установке сейсмоизолирующих опор в высокие (соизмеримые с высотой самих опор) «стаканы» фундамента возникают сложности при эксплуатации и замене самих опор, шаровых тел качения и демпфирующих устройств. Поэтому для усовершенствования узла шаровых тел качения сейсмоизолирующей опоры на монолитном фундаменте было предложено закреплять блок шаровых тел качения в металлической раме анкерными болтами к монолитному фундаменту. Это позволит жёстко зафиксировать блок шаровых тел качения при монтаже и выверке сейсмоопоры и дозаливке фундамента для устройства необходимых невысоких фундаментных «стаканов» после монтажа сейсмоизолирующих опор (рис. 3).

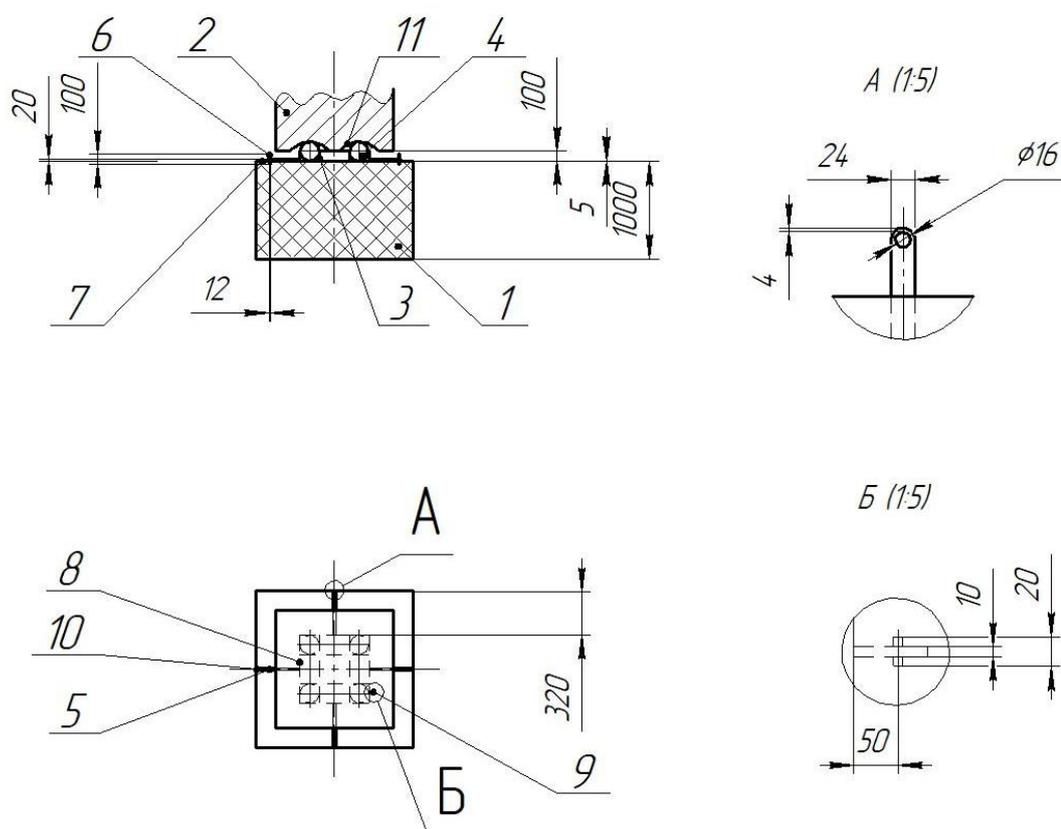


Рис. 3. - Общий вид нижнего узла шаровых тел качения сейсмоизолирующей опоры с регулировкой его положения

Усовершенствованная технология, описывающая стадии монтажа сейсмоизолирующих опор с шаровыми телами качения на монолитном бетонном фундаменте 1 при производстве работ нулевого цикла возведения высотного здания, выглядит следующим образом:

- 1) На первом этапе производится бетонирование фундамента 1 до уровня проектной установки шаровых тел качения 4 (на 50 см ниже предполагаемой высоты фундамента). Бетонирование фундаментной плиты происходит в два этапа: заливка нижней части монолитной фундаментной плиты высотой 2 м и дозаливка фундамента высотой 0,5 м для создания фундаментных «стаканов» после монтажа и выверки сейсмоизолирующих опор. При достижении бетоном 75 % проектной мощности проводится монтаж колонн первого яруса, необходимых для создания несущего каркаса высотного здания, их омоноличивание и создание центрального монолитного ядра жесткости, в качестве которого выступает лестнично-лифтовой узел.
- 2) Далее на поверхности фундамента 1 необходимо выполнить геодезическую разметку положения и осей металлической рамы 3 с шаровыми телами качения 4, расположения отверстий 5 под анкерные болты 6. После чего высверливают отверстия 5 в фундаменте 1 для фиксации анкерных болтов 6, а на бетонное основание под опорой закрепляется стальной лист 7 для укрепления бетонной поверхности и ее защиты от воздействия шаровых тел качения (выкатывания углублений под воздействием вертикальной нагрузки, передаваемой шарам от сейсмоизолированного здания и самих железобетонных колонн); анкерными болтами 6 фиксируется позиция металлической рамы 3 с шаровыми телами качения в проектном положении под опору, на наружной вертикальной поверхности металлической рамы 3 крепежным болтом 9 фиксируют стяжную стальную манжету 8,

которая прочно охватывает металлическую раму снаружи. На четыре анкерных болта 6 насаживают симметрично расположенные на стяжной манжете 8 проушины 10, фиксирующие позицию металлической рамы 3 с шаровыми телами качения 4 в проектном положении под опору 2; шаровые тела качения 4 фиксируются в проектном положении стенками металлической рамы 3, при этом нет необходимости в их фиксации деревянными клиньями; проверяется горизонтальность и соосность всех деталей, в соответствии с [7] «перед установкой сейсмоизолирующей опоры отметка по высоте положения верхней плоскости шаровых тел качения не должна превышать 5 %».

- 3) Железобетонные сейсмоизолирующие опоры с циклоидальными выемками заранее изготавливают в заводских условиях, и на стройку они поступают точно в срок, что экономит время. Установка сейсмоизолирующей опоры 2 в проектное положение и ее выверка проходят при поддержании опор краном, который опускает опору 2 на зафиксированные в проектном положении металлическую раму 3 и шаровые тела качения 4, являющиеся в этот момент улавливателями, точно ориентирующих опору на место установки. После установки сейсмоизолирующей опоры 2 в соответствии с СП 14.13330.2018 «погрешность отметки по высоте отклонения верхней плоскости смонтируемой опоры от требуемой по проекту не должна превышать 5,00 мм, между осями установленной сейсмоизолирующей опоры и её проектным положением погрешность должна быть не более 5,00 мм. Различие высот между сейсмоизолирующими опорами на одном основании должно быть не более 5,00 мм». Такой контроль качества установки системы сейсмоизолирующих опор необходим для ее нормальной работы при сейсмическом воздействии.

- 4) После выверки сейсмоизолирующей опоры 2 сверху на нее закрепляют верхнюю соединительную пластину с верхней закладной деталью, оснащенной анкерными выпусками арматуры; в закладной детали нужно очистить отверстия под болты и обработать их смазочным материалом для изоляции и обеспечения возможности замены опоры. Для минимизации влияния точечного приложения вертикальной составляющей нагрузки от сейсмоизолирующей опоры и влияния неравномерных сейсмических колебаний в момент отклонения по вертикали (отрыва) шаровых тел качения от фундамента конструктивные элементы, расположенные выше слоя сейсмоизоляции, должны быть жесткими в горизонтальном и вертикальном направлениях. При возникновении такой области точечного контакта в зоне прилегания верхней закладной детали к сейсмоизолирующей железобетонной опоре может появиться участок необратимых пластических деформаций [5]. Поэтому в зоне прилегания верхней поверхности сейсмоизолирующей опоры с поверхностью верхней закладной детали необходим дополнительный промежуточный упругий элемент – прокладка из резины, зафиксированная на верхней поверхности сейсмоизолирующей опоры, при восприятии сейсмических воздействий работающая как амортизирующий элемент.
 - 5) Проводится антикоррозионная защита внешних соединительных болтов и пластин, обеспечивающую их надежную защиту от неблагоприятных факторов окружающей среды (преимущественно от воздействия влаги) и различных химических веществ, продлевая срок службы металлических и бетонных конструкций, предотвращая их разрушение и снижая затраты на их обслуживание.
 - 6) В соответствии с СП 14.13330.2018 для соединения всех сейсмоизолирующих опор в единую систему восприятия вертикальной
-

нагрузки и сейсмического воздействия и минимизации неравномерных сейсмических колебаний грунта предусмотрена жесткая система верхних перекрестных балок, жестко связанной с сейсмоизолированной частью здания, поэтому далее необходимо выполнить точечную сварку верхних анкерных выпусков стальной пластины со стержнями верхней арматуры надопорной конструкции.

- 7) На следующем шаге проводится возведение опалубки и бетонирование верхней надопорной монолитной перекрестной обвязочной балки над каждой сейсмоизолированной опорой. В соответствии с требованиями, представленными в СП 14.13330.2018 и [7] перед бетонированием отверстия для болтов в пластине следует защитить от попадания бетонной смеси, при достижении бетоном 75 % проектной мощности очистить отверстия под болты в закладной детали, обработать их смазочным материалом для обеспечения возможности замены опоры. Закрутить болты, соединяющие сейсмоизоляционную опору с верхней пластиной и закладной деталью.
 - 8) Первичные измерительные приборы и регуляторы болтами закрепляются в верхней части сейсмоизолирующей опоры, соединительные и питающие провода крепятся вдоль вертикальной поверхности сейсмоизолирующей опоры в огнеупорных гибких коробах. В соответствии с СП 14.13330.2018 степень огнестойкости системы сейсмоизоляции должна соответствовать требованиям к пожарной безопасности зданий ГОСТ 30247.0, ГОСТ 30403, ГОСТ Р 53292, ГОСТ Р 53295, СП 2.13130.
 - 9) После монтажа всех необходимых (кроме исполнительного механизма) для автоматической сейсмокомпенсации приборов в соответствии с [7] повторно проверяется горизонтальность, соосность и отметка по высоте верхней закладной детали, после чего сейсмоизолирующую
-

опору необходимо закрыть от повреждений деревянными рамами на период строительства.

- 10) После установки сейсмоизолирующей опоры в проектное положение ослабляют болтовое соединение 9 стяжной стальной манжеты 8, на проушинах 10 стяжной стальной манжеты 8 свинчивают верхние гайки с анкерных болтов 5, снимают стяжную стальную манжету 8 с проушинами 10 с металлической рамы 3, выворачивают анкерные болты 5 из отверстий в монолитном фундаменте 1, стяжную стальную манжету с проушинами, анкерные болты и гайки можно использовать повторно при установке следующей сейсмоизолирующей опоры. Повторно проверяется горизонтальность, соосность и отметка по высоте верхней закладной детали.
 - 11) После установки всех 42 сейсмоизолирующих опор на расстоянии 20 см от опоры (40 см от металлической рамы) по периметру каждой опоры монтируют съемную опалубку 6 для создания фундаментного стакана высотой 0,5 м. Стенки стакана являются естественными ограничителями сейсмоизоляции опоры, обеспечивая устойчивость сейсмоизолированной части здания против опрокидывания и неконтролируемого скольжения, но в тоже время обеспечивается доступ в сейсмоизоляции опоры технического персонала при ее обслуживании или замене элементов или всей опоры в случае необходимости. Далее приступают к дозаливке фундамента на высоту 0,5 м. Для повышения прочности фундамента и уменьшения времени твердения бетона предлагается использовать высокопрочные фибро- и мелкозернистые бетоны, разработкой которых занимались авторы [8 - 10], а в работе [11] автором аргументированно доказывається рациональность применения инновационных бетонов для зданий с сейсмоизолирующими фундаментами.
-

- 12) При достижении бетоном 75 % проектной мощности снимают временную опалубку вокруг сейсмоизолирующих опор и приступают к монтажу исполнительных механизмов (демпферов), являющимися элементами системы автоматической сейсмокомпенсации и ограничителями против опрокидывания и неконтролируемого скольжения для обеспечения устойчивости сейсмоизолированной части здания.
- 13) Потенциальные ударные эффекты нивелируют за счет применения демпферов, поэтому следующим этапом является монтаж вязкоупругих демпферов, входящих в систему автоматической сейсмокомпенсации, в низу сейсмоизолирующей опоры. Монтаж исполнительного механизма заключается в болтовом крепеже гидроцилиндра к стенкам сейсмоизолирующей опоры и стакана фундамента и присоединении к регулируемому органу путем непосредственного соединения штока исполнительного механизма к штоку регулирующего органа, что обеспечивает одинаковые перемещения их выходных устройств и их равные скорости.
- 14) После проведения всех вышеописанных мероприятий можно приступать к возведению суперструктуры сейсмоизолированного здания (вышележащий конструкций высотного здания).

Таким образом, описана усовершенствованная организационно-технологическая схема производства работ по установке сейсмоизоляционных кинематических опор на нулевом цикле возведения высотного здания, предложены новые конструктивные решения временного точного крепления системы шаровых тел качения при монтаже железобетонной сейсмоизолирующей опоры и узла верхней закладной детали, позволяющее повысить надежность при эксплуатации сейсмоизолированных высотных зданий в сейсмоактивных районах.

Литература

1. Бурцева О.А., Чипко С.А. Система компенсации колебаний высотного сооружения в сейсмоактивной зоне // Инженерный вестник Дона, 2014, №1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_45_Chipko.pdf_2249.pdf.

2. Chipko S.A., Burtseva O.A., Kaznacheeva O.K., Cherpakov A.V. Vibration control for high-rise constructions // European Journal of Natural History. - 2012. - Vol. 4. - pp. 39-44.

3. Burtseva O.A., Chipko S.A., Abuladze N.R. Methods for Research of Nonconservative System States // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 463: International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies, 2-4 October 2018, Vladivostok, Russian Federation. – Номер статьи: 042035. – 8 p. // iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/463/4/042035/pdf, 1,02 Мб.

4. Бурцева О.А., Чипко С.А., Абуладзе Н.Р. Устройство компенсации колебаний высотных сооружений. Патент на изобретение RU 2693064 С1 Российская Федерация, МП E02D 27/34. Бюл. № 19. 2019. - № 2018136670. 5 с.

5. Андронов А.В., Семенов С.Ю., Шаленный В.Т. Развитие конструкций и технологии высокоточного монтажа трубобетонных колонн кинематических систем сейсмической защиты каркасов гражданских зданий // Строительство и техногенная безопасность. 2021. № 20 (72). С.15-22. DOI: 10.37279/2413-1873-2021-20-15-22.

6. Шаленный В.Т. Конструктивно-технологические мероприятия для повышения надёжности активной и пассивной сейсмозащиты сборно-монолитных каркасов гражданских зданий в Крыму // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2020. № 6 (49). С.19-21.

7. Бубис А.А., Смирнова Л.Н., Гизятуллин И.Р., Гусев Б.В. Пособие по проектированию зданий с системами сейсмоизоляции и системами

динамического регулирования сейсмической реакции. Научно-исследовательский центр "Строительство. АААА-Б20-220110290019-1. 2020. 105 с.

8. Котляревская А.В., Вагурина Ю.А. История исследования и потенциал будущего применения бетонов на основе полимерных вяжущих // Инженерный вестник Дона, 2023, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2023/101352.

9. Газиев М.А., Батаев Д.К.-С., Мажиев К.Х., Мажиева А.Х. К вопросу о нормировании меры ползучести мелкозернистых автоклавных ячеистых бетонов с учетом фактора карбонизации // Инженерный вестник Дона, 2015, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3221.

10. Мажиева А.Х., Пинскер В.А., Батаев Д.К.-С., Газиев М.А., Байтиев В.А. Влияние фактора карбонизации на коэффициент поперечной деформации ползучести ячеистого бетона // Инженерный вестник Дона, 2016, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3629.

11. Мажиева А.М. Совершенствование методов расчета, сейсмоизолирующих конструкций и специальных мелкозернистых бетонов сейсмостойких зданий и сооружений: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. - ДГТУ. Ростов-на-Дону, 2020. – 24 с.

References

1. Burceva O.A., Chipko S.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, № 1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_45_Chipko.pdf_2249.pdf.

2. Chipko S.A., Burtseva O.A., Kaznacheeva O.K., Cherpakov A.V. European Journal of Natural History. 2012. Vol. 4. pp. 39-44.

3. Burtseva O.A., Chipko S.A., Abuladze N.R. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 463: International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies, 2-4 October 2018, Vladivostok, Russian Federation. Nomer stat'i: 042035. 8 p.

4. Burceva O.A., Chipko S.A., Abuladze N.R. Ustrojstvo kompensacii kolebanij vysotnyh sooruzhenij [Vibration compensation device for high-rise structures]. Patent na izobretenie RU 2693064 S1 Rossijskaja Federacija, MP E02D 27/34. Bjul. № 19. 2019. № 2018136670. 5 p.

5. Andronov A.V., Semenov S.Ju., Shalennyj V.T. Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'. 2021. № 20 (72). pp. 15-22 DOI: 10.37279/2413-1873-2021-20-15-22.

6. Shalennyj V.T. Prirodnye i tehnogennye riski. Bezopasnost' sooruzhenij. 2020. № 6 (49). pp. 19-21.

7. Bubis A.A., Smirnova L.N., Gizjatullin I.R., Gusev B.V. Posobie po proektirovaniju zdanij s sistemami sejsmoizoljaccii i sistemami dinamicheskogo regulirovanija sejsmicheskoj reakcii. [Manual for the design of buildings with seismic isolation systems and dynamic seismic response control systems]. Nauchno-issledovatel'skij centr "Stroitel'stvo. AAAA-B20-220110290019-1. 2020. 105 p.

8. Kotljarevskaja A.V., Vagurina Ju.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2023/101352.

9. Gaziev M.A., Bataev D.K-S., Mazhiev K.H., Mazhieva A.H. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3221.

10. Mazhieva A.H., Pinsker V.A., Bataev D.K-S., Gaziev M.A., Bajtiev V.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3629.

11. Mazhieva A.M. Sovershenstvovanie metodov rascheta, sejsmoizolirujushhih konstrukcij i special'nyh melkozernistyh betonov sejsmostojkih zdanij i sooruzhenij [Improvement of calculation methods, seismic insulating structures and special fine-grained concretes of earthquake-resistant



buildings and structures]: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.23.01. DGTU.
Rostov-na-Donu, 2020, 24 p.

Дата поступления: 21.10.2024

Дата публикации: 9.12.2024