

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2024, Том 16, № 2 / 2024, Vol. 16, Iss. 2 <https://esj.today/issue-2-2024.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/67SAVN224.pdf>

2.1.7. Технология и организация строительства (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Левинсков, К. Е. Особенности применения технологий строительства сейсмостойких зданий / К. Е. Левинсков, Е. М. Пугач // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/67SAVN224.pdf>

For citation:

Levinskov K.E., Pugach E.M. Features of the application of earthquake-resistant building construction technologies. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(2): 67SAVN224. Available at: <https://esj.today/PDF/67SAVN224.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 693.955; 693.956; 699.841

Левинсков Константин Евгеньевич¹

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
Москва, Россия
E-mail: konstantin.levinskov@yandex.ru

Пугач Евгений Михайлович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
Москва, Россия
Доцент кафедры «Технология и организация строительного производства»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: Tsp-tvz@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2832-1941>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=416367

Особенности применения технологий строительства сейсмостойких зданий

Аннотация. В статье рассмотрены технологии возведения сейсмостойких зданий путем повышения жесткости и прочности основных узлов, использования конструкций с повышенным демпфированием и создания систем активной сейсмической изоляции. Рассмотрены примеры практической реализации, конструктивные и технологические особенности, проведен анализ, построенный на установлении характеристик существующих технологий, условий производства строительно-монтажных и возможности осуществления ремонтных работ, сравнение существующих решений. В процессе проведения анализа, технологии строительства для зданий и сооружений, обладающих сейсмической устойчивостью, систематизированы, распределены по группам с выделением типов в зависимости от принципов воплощения сейсмической защиты. Анализ осуществлялся по следующим основным критериям: расход стали, пригодность к ремонту применяемых технологий, возможность внедрения сейсмической защиты при проведении реконструкции здания, способность поглощения сейсмического воздействия и доступность реализации. Установлено, что традиционные технические решения для увеличения жесткости и прочности, внедрения конструкций с повышенным демпфированием, используемые для зданий со сборными, монолитными и сборно-монолитными каркасами, требуют большого количества дополнительных ресурсов, характеризуются накоплением отказов в отдельных скрытых элементах под воздействием сейсмических нагрузок, обладают малой ремонтпригодностью.

¹ <https://vk.com/levinskov>

Применение изоляционных механизмов, обладающих высокой эффективностью поглощения сейсмической энергии, позволяет значительно сократить затраты ресурсов на возведение, за счёт использования конструкций высокой степени заводской готовности, механизировать процесс возведения, повысить ремонтпригодность. По результатам анализа даны рекомендации по проведению дополнительных исследований систем активной защиты в области конструирования, проработки технологии возведения, возможности использования при реконструкции существующих зданий и сооружений.

Ключевые слова: сейсмостойкое строительство; сейсмостойкие здания; возведение сейсмостойких зданий; конструкции с повышенным демпфированием; сейсмическая изоляция; кинематические фундаменты; сейсмостойкие крупнопанельные здания

Введение

Большая часть активно развивающихся районов Российской Федерации (Северный Кавказ, Крым, Юг Сибири, Алтай, Дальний Восток и другие) расположены в сейсмически опасных зонах, где крайне важным является вопрос сейсмостойкого строительства.² Согласно существующим оценкам, на территории 29 сейсмически активных регионов нашей страны находится 143 млн м² жилого фонда, которые не удовлетворяют требованиям сейсмостойкости [1].

В феврале 2023 года на территории Турции произошло мощное землетрясение магнитудой 7,7 баллов, ущерб достиг 34,2 млрд долларов США, из которых 18 млрд долларов — повреждение жилых зданий, 9,7 млрд — повреждение общественных зданий, 1,25 млн человек лишились жилья³ и погибло 46 104 тысячи человек.⁴ Несмотря на то, что последствия землетрясения не были зафиксированы на территории Российской Федерации, существуют опасения, что вызвано оно движением тектонических плит на север и, вероятно, вызовет повторные землетрясения уже на территории Крымского полуострова.⁵

Традиционно используемые при строительстве сейсмостойких зданий методы обладают общими недостатками: повышение сейсмичности строительной площадки неизбежно приводит к росту материальных и трудовых затрат [2], решения, повышающие сейсмостойкость, после влияния сейсмической активности характеризуются низкой ремонтпригодностью, возникновением и накоплением отказов в работе [3]. Применение сейсмоизоляционных механизмов позволит снизить материальные затраты [4] и повысить ремонтпригодность.

Методология исследования

Рассмотрены основные решения технологии возведения сейсмостойких зданий, определены конструктивные и технологические особенности. Проведен качественный анализ, построенный на установлении характеристик существующих технологий, условий производства строительно-монтажных работ.

² ТАСС: «Эксперт: возведение сейсмоустойчивых зданий должно быть приоритетным на юге России». URL: <https://tass.ru/obschestvo/17026631>.

³ Российская газета: «Ущерб от землетрясений в Турции оценивается более чем в 34 миллиарда долларов» URL: <https://rg.ru/2023/02/28/ushcherb-ot-zemletriasenij-v-turcii-ocenivaetsia-bolee-chem-v-34-milliarda-dollarov.html>.

⁴ Коммерсантъ: «Число погибших в землетрясениях в Турции выросло до 46,1 тыс. человек» URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5862922>.

⁵ Российская газета: «Куда поведет турецкий разлом» URL: <https://rg.ru/2023/02/08/reg-ufo/sejzmolog-obiasnil-sviaz-tragedii-v-turcii-s-opasnostiu-zemletriasenij-v-iuzhnyh-regionah-rossii.html>.

Обзор существующих решений

Технологии возведения зданий и сооружений, обладающих сейсмической устойчивостью, условно можно поделить на несколько групп:

1. Увеличение жёсткости и прочности основных узлов.

Рассматриваемый принцип получил широкое распространение в монолитном строительстве. Возникающие усилия сейсмического воздействия, полностью поглощаются конструкцией. Для повышения сопротивления касательным напряжениям, увеличивают длину анкеровки стыков, степень армирования бетонных конструкций. Однако, поскольку силы сейсмического влияния являются динамическими, это накладывает определённые сложности при возведении конструкций. Например, на строительных площадках высокой сейсмичности запрещается вязка арматуры внахлестку; при диаметре арматуры более 20 мм во избежание образования шарнира пластичности во время работы динамических сил, соединение должно осуществляться либо с применением сварки, либо муфт.⁶ Главным недостатком данного решения являются большие затраты материальных и трудовых ресурсов, например, при проектировании плиты перекрытия, удельный расход арматуры на кубический метр бетона для нормальных условий составит 94,7 кг/м³, при проектном землетрясении 121,3 кг/м³ (рост удельного расхода на 22 %), а при максимальном расчётном землетрясении — 171,8 кг/м³ (увеличение на 45 %) [5].

Для минимизации количества рабочих швов и стыков, создания единого жёсткого монолитного диска перекрытия, прибегают к возведению способом подъёма готовых плит на домкратах. Кроме увеличения жёсткости в сравнении с иными методами возведения, данное решение отличается высоким уровнем механизации, сниженным расходом строительных материалов и трудовых ресурсов [6].

Отдельно стоит рассмотреть крупнопанельное домостроение. Для увеличения жёсткости строительных конструкций и более равномерного распределения усилий между панелями здания, устраивают жёсткие стыки: вдоль всего шва распределяют большое количество арматурных выпусков, закладных деталей и шпонок [7]. Главный недостаток такого решения — технологическая сложность качественного выполнения перearмированных швов: трудно достигается требуемая степень уплотнения бетонной смеси и заполнение пустот.

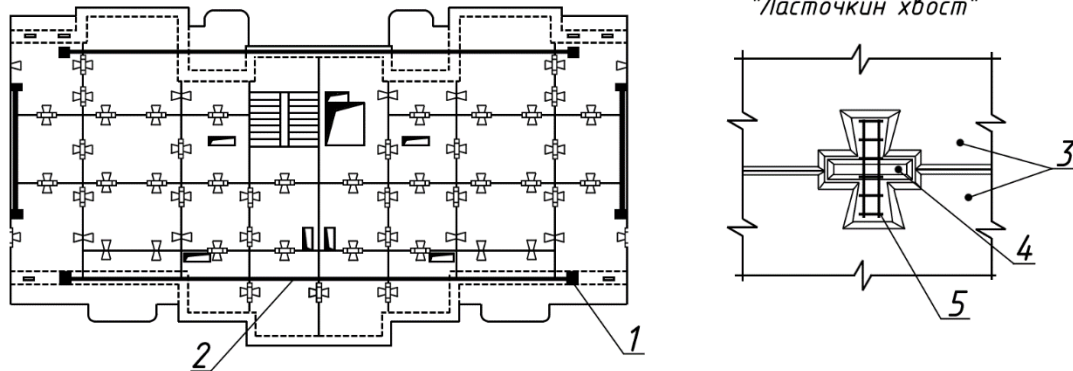
Существует иной, экспериментальный подход к возведению сейсмостойких крупнопанельных зданий, который основан на предположении, что касательные напряжения, возникающие между панелями перекрытия, воспринимаются бетоном. Исходя из этого, количество закладных деталей и выпусков арматуры вдоль сторон панелей уменьшают и смещают к торцам, а для обеспечения единства работы жёсткого диска перекрытия используют большие шпонки, расположенные поперёк линии шва плит перекрытия, например, типа «ласточкин хвост», которые способны воспринять сдвиговые усилия в швах плит перекрытия⁷. Для увеличения жёсткости перекрытия и повышения трещиностойкости бетонного заполнения швов, по периметру перекрытия устраивается напрягаемая арматура, которая после натяжения объединяет панели в единый жёсткий диск (рис. 1). Для уменьшения амплитуды колебаний здания под влиянием сейсмической активности, в каналах вертикальных швов между наружными стеновыми панелями прокладывают канатную арматуру, анкеруют в фундамент и, после возведения определенного количества этажей (9, 16), производят вертикальное натяжение и замоноличивание каналов. Данный подход позволил уменьшить металлоёмкость стыков и швов, упростить заполнение швов бетоном, уменьшить трудоёмкость и увеличить

⁶ СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах».

⁷ Махвиладзе Л.С. Узел соединения плит перекрытия внутренней стеновой панели SU 817167 А1 от 30.03.1981.

качество исполнения стыков. Экспериментальные здания, возводимые по данной технологии, представлены серией I-464АС, здесь общая прочность конструкций по сравнению с исходной серией была увеличена на 12,5 % [8].

Схема плиты перекрытия

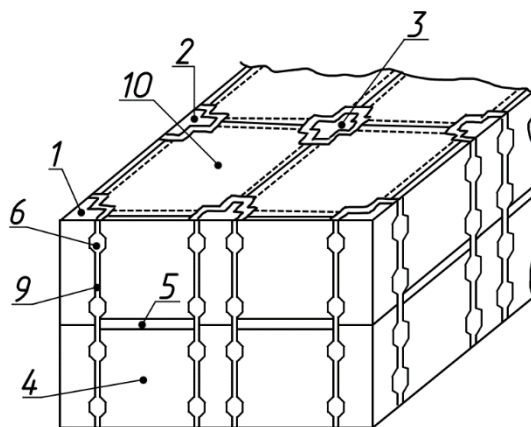


1 — анкера для натяжения арматуры; 2 — предварительно напряжённая арматура; 3 — плита перекрытия; 4 — шпонка стеновой панели; 5 — армокаркас

Рисунок 1. Схема перекрытия сейсмостойких крупнопанельных домов (составлено авторами)

Идея устройства в панелях шпонок, воспринимающих сдвиговое усилие, получила развитие в сборном железобетонном каркасе (рис. 2), выполненном из колонн крестового, таврового и уголкового сечений, панелей перекрытия. Несущие наружные стены выполнены из крупных панелей с восьмиугольными шпонками, позволяющими нести сдвиговое усилие.⁸

Однако большая часть крупнопанельных здания оказывается более металлоемкой, чем сборно-монолитные. Так при сравнительном анализе данных предприятий, занятых сборно-монолитным строительством и предприятий, практикующих крупнопанельное строительство на территории Крымского полуострова, выяснилось, что удельный расход металла в сборно-монолитных зданиях ниже на 32 % [9].



1, 2, 3 — колонны с уголковым, тавровым и крестообразным поперечным сечением, соответственно; 4 — стеновые панели; 5 — пояса с уширением в плоскости перекрытия; 6 — восьмиугольная шпонка; 9 — шов между стеновыми панелями; 10 — плиты перекрытия

Рисунок 2. Исполнение конструкции сейсмостойкого здания (составлено авторами)

⁸ Сапожников А.И. Крупнопанельное сейсмостойкое здание. Патент РФ 2111326 С1 от 20.05.1998.

2. Возведение зданий с повышенным демпфированием.

Соппротивление внешнему воздействию основывается на выполнении какой-либо работы силами сеймики в конструкциях зданий или на перераспределении возникающих в конструкциях усилий, благодаря чему удаётся значительно снизить воздействие землетрясения.

Принцип наиболее применим для крупнопанельных зданий. В швах стеновых панелей и плит перекрытия возникают силы трения, которые поглощают энергию сеймики [10; 11]. Поэтому общим требованием к крупнопанельным зданиям является увеличенная длина стыка за счёт форм шпонок и швов. Однако, здания с подобной работой швов могут выдержать сейсмичность до 7 баллов [12].

Существуют два разных подхода при возведении зданий по принципу повышенного демпфирования. Первый состоит в том, что необходимо увеличить массу здания. Из-за увеличенной массы, для приведения здания в движение, требуется большая сила сейсмического воздействия, как следствие, уменьшение амплитуды колебаний и снижение деформаций здания. Данный подход хорошо заметен на примере типовых многоквартирных зданий на территории Крымского полуострова: вертикальные конструкции выполняются из крупных блоков пильного известняка, в области перекрытий, для обеспечения единства работы, устраивают монолитный железобетонный сейсмопояс, что повышает концентрацию массы. Недостаток таких зданий — невозможность обеспечить нормальное сцепление между бетоном и блоками, что решается большим количеством анкеров и скоб, скрепляющих блоки, устройством шпонок в блоках. Однако, эти меры, значительно повышающие трудоёмкость, не устраняют проблему соединения материалов [13].

Иной подход состоит в максимальном уменьшении массы за счёт применения облегчённых строительных материалов, что позволяет снизить нагрузку на строительные конструкции и амплитуду колебаний. В принятых ещё в советское время нормативах⁹ рекомендовалось возводить крупнопанельные здания из более лёгких керамзитобетонов, смена тяжёлого бетона на лёгкие в монолитных каркасных зданиях позволяет уменьшить нагрузку на несущие конструкции на 8 % [14]. Для малоэтажного и индивидуального жилищного строительства целесообразно применение облегчённых конструкций, в т. ч. деревянных каркасов [15] и пенополистирольных панелей [16].

Так же принцип конструкции с повышенным демпфированием широко применим при возведении общественных зданий и сооружений из рамно-связевых каркасов. Благодаря большому числу связей энергия землетрясения равномерно рассеивается между большим количеством стержней, что уменьшает нагрузку на каждый стержень в отдельности [17].

Рассмотренные методы — традиционные, их применение имеет недостатки, связанные с увеличением материальных и трудовых затрат [18]. Выполненные с использованием данных технологий конструкции зданий обладают низкой ремонтпригодностью, после нескольких циклов сейсмического воздействия возникают и накапливаются отказы, происходят разрушения.

3. Возведение зданий с активной системой сейсмоизоляции.

Системы сейсмоизоляции — специальные механизмы, которые устраивают между жёстким сейсмически-прочным фундаментом и несущими конструкциями здания, благодаря чему удаётся оградить конструкции здания от динамического воздействия землетрясений [19].

⁹ Рекомендации по проектированию крупнопанельных зданий для сейсмических районов М.: ЦНИИЭП жилища, 1985 г.

Выделяют несколько типов сейсмоизоляционных систем, различающиеся принципами работы:

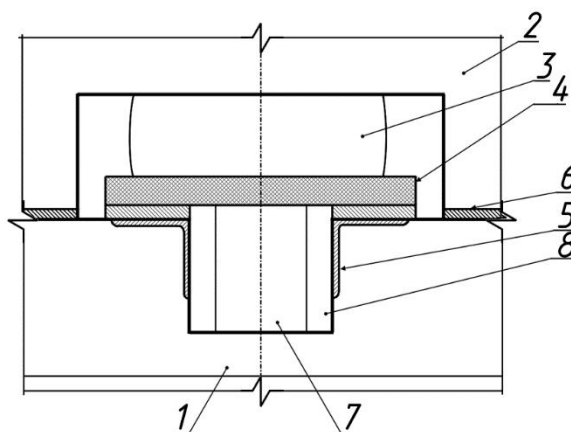
1. С гибкими стойками («гибкий первый этаж»).

Данное решение реализуется в монолитно-каркасных или крупнопанельных зданиях. Конструкции первого этажа создаются намеренно податливыми. Благодаря перераспределению усилий удаётся повысить сейсмостойкость здания, однако решение обладает и существенным недостатком — под воздействием низкочастотных колебаний, конструкции зданий достигают значительных перемещений, что приводит к разрушению гибких конструкций, а в последствии — всего здания.

Потому возведение гибкого первого этажа должно предполагать дополнительные демпфирующие устройства в конструкции здания [20].

2. Системы с резино- и резинометаллическими опорами.

В данной системе между вертикальными несущими конструкциями здания и фундаментом устанавливают специальные опоры. В основании, где будет смонтирован элемент механизма, устраивают специальный паз, который окантовывают уголковыми элементами (рис. 4). Далее устраивают специальные опоры под здание и монтируют изолирующий элемент: в паз устанавливают силовую установку и сверху резинометаллический элемент. Благодаря силовой установке элемент упирается верхней гранью в основание сооружения и сжимается до возникновения требуемых напряжений. Для сохранения этого состояния, между элементом и уголками устраивают дополнительный упор, силовую установку изымают и применяют в следующей точке монтажа. По окончании монтажа всех элементов, здание силами опор отрывают от фундамента, и извлекают специальный опорный элемент. Данное решение обладает широким спектром применения. Система безразлична к конструктивным особенностям и может быть смонтирована в зданиях как с каркасной, так и со стеновой несущими системами. Дополнительным плюсом является отложенный монтаж — возможность осуществления монтажа даже в готовом здании, что позволяет произвести реконструкцию имеющегося здания и повышение его сейсмостойкости.¹⁰



1 — фундамент; 2 — здание; 3 — изолирующий элемент; 4 — упор; 5 — уголки; 6 — спецопоры; 7 — уголки; 8 — паз

Рисунок 4. Схема исполнения резиновой сейсмической изоляции здания (составлено авторами)

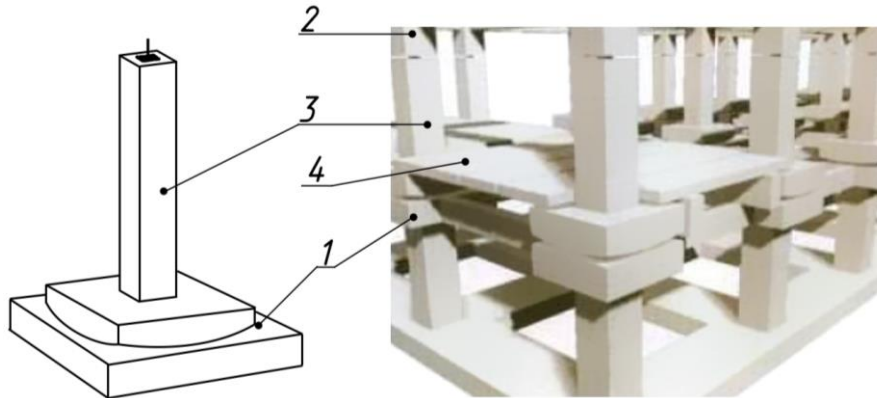
При изучении расчётных моделей учебно-административного корпуса Российского международного олимпийского университета в г. Сочи выяснилось, что внедрение

¹⁰ Дашевский М.А. Способ установки виброизоляторов здания, сооружения. Патент РФ 2233365 С1 от 27.07.2004.

резинометаллических опор позволяет уменьшить усилия в конструкциях здания в некоторых случаях на 56,5 % и перемещения верха здания до 45 % [21]. Но данная система обладает существенным недостатком — с течением времени упругий элемент изменяет свои свойства, развиваются пластические деформации, что существенно в зданиях, которые проектируются со сроком эксплуатации от 50 лет. Также такие элементы очень чувствительны к температурным изменениям, и воздействие пожара может оказать фатальное влияние на несущие конструкции здания. Требуется регулярный мониторинг за состоянием элементов и периодическое проведение капитального ремонта антисейсмического механизма. Однако в процессе эксплуатации даёт о себе знать высокая деформативность резины в горизонтальной плоскости [22] по причине чего в многоэтажных зданиях от ветровых нагрузок на верхних этажах возникают значительные горизонтальные перемещения.

3. «Кинематические фундаменты» Черепинского.

Принцип работы данной системы основан на переносе центра тяжести здания и возврате в устойчивое положение. Несущие конструкции работают совместно, благодаря чему здание способно переносить высокие сейсмические нагрузки [23]. Первоначально возводят жёсткий сейсмостойкий фундамент, после чего на него устанавливают железобетонные колонны со сфероидным основанием (рис. 5). Для обеспечения неподвижности, колонны в основании подпирают клиньями, после чего на колоннах осуществляют монтаж остальных конструкций здания. К сожалению, в отличие от систем с резинометаллическими изоляторами, данная система применима лишь в зданиях каркасной схемы. После возведения железобетонного каркаса, клинья в основании опор изымают. Между колоннами подземной части могут быть устроены железобетонные плиты для эксплуатируемых этажей подземной парковки. Благодаря заводскому изготовлению определённых типоразмеров колонн, процесс возведения отличается высоким уровнем механизации и качеством готовой продукции [24].



1 — оголовье колонн фундамента; 2 — здание; 3 — подвижная колонна; 4 — плиты перекрытия

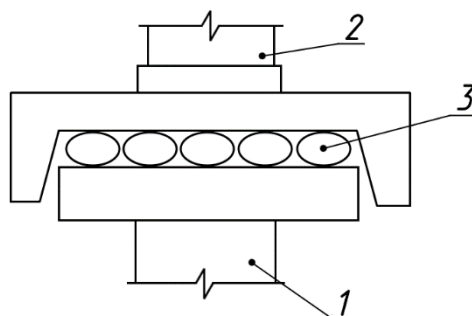
Рисунок 5. Колонна «Кинематического фундамента» Черепинского и исполнение цокольного этажа с применением данных колонн (составлено авторами)

Однако, задумка Черепинского не лишена недостатков. Меньшими из них являются сколы бетона в месте контакта подвижной колонны и восприимчивость к ветровым нагрузкам [25], более существенно — возможность опрокидывания и падения здания с кинематических опор при воздействии на него нагрузки приближённой к 8-ми баллам [26–28]. Решение требует дальнейшей доработки и применения дополнительных демпфирующих конструкций.

4. Системы на шаровых сфероидах Назина.¹¹

¹¹ Назин В.В. Сейсмостойкое здание. Патент SU 545737A1 от 05.02.1977.

Существует только одно здание, возведенное с использованием подобной системы сейсмической изоляции, в г. Севастополе, спроектированное инженером Валентином Назиным, изучавшим вопросы сейсмического строительства на территории Крымского полуострова.



1- колонна, упирающаяся в плиту фундамента; 2 — колонна, упирающаяся в плиту перекрытия цокольного этажа; 3 — сфероиды

Рисунок 6. Принципиальная схема сборного блока механизма Назина (составлено авторами)

Для данного объекта был устроен жёсткий сейсмостойкий фундамент с 58 несущими полуколоннами. На каждую полуколонну установлены специально изготовленные сборные блоки с шаровыми сфероидами по 119 в каждом (рис. 6), по верх которых смонтированы верхние полуколонны и устроена плита перекрытия пола первого этажа. Вес здания равномерно рассеивался между всеми сфероидами, и благодаря их большому количеству возникала сила трения, гасящая сейсмические колебания. По окончании возведения проводились испытания посредством разрыва тарированной вставки бульдозерами ДЭТ-250, сбросом со здания груза весом 80 кН и ударом снаряда аналогичного веса в уровень перекрытий. Все испытания показали очень хорошую сейсмостойкость здания: силы колебаний уровня в 9 баллов гасились и воспринимались зданием, как 6 баллов [29]. К сожалению, несмотря на то что данный механизм обладает высокой эффективностью, он крайне трудоёмкий и сложный в возведении, нуждается в доработке технологии. В настоящее время сфероиды в механизме раздавлены и здание утратило свою сейсмостойкость.

Руководствуясь наличием особенностей технологий строительства сейсмостойких зданий, был произведен сравнительный анализ существующих решений. Для удобства рассмотрения технологиям были присвоены номера (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительный анализ технологий сейсмического строительства

1	Повышение жесткости и прочности несущих конструкций	
2	Применение конструкций с повышенным демпфированием	
	2.1	Создание конструкций с демпфирующими силами сухого трения
	2.2	Повышение и концентрация масс
	2.3	Понижение массы конструкций здания
	2.4	Устройство многосвязных несущих конструкций
3	Применение систем сейсмической изоляции	
	3.1	Конструкции «гибкого первого этажа»
	3.2	Резинометаллические опоры
	3.3	«Кинематические фундаменты» Черепинского
	3.4	Система Назина

Составлено авторами

Анализ осуществлялся по нескольким основным группам: расход стали, ремонтпригодность применяемых технологий, возможность внедрения сейсмической защиты при проведении реконструкции здания, способность поглощения сейсмического воздействия и

доступность реализации. Расход стали — ключевой технико-экономический показатель при проектировании железобетонных конструкций, и при использовании традиционных мер сейсмической защиты расход повышается, принимается при рассмотрении высоким. Применение строительных конструкций с повышенным демпфированием выделяется более низким расходом стали, благодаря перераспределяемой или снижаемой на здание сейсмической нагрузке (за исключением конструкций с увеличенным количеством связей в рамносвязевых каркасах), но наиболее экономичным по данному критерию является применение сейсмоизоляционных механизмов, позволяющих возводить здание без изменения конструкций — расход стали будет таким же, как и у аналогичного здания, построенного вне сейсмоопасных условий. Под высокой ремонтпригодностью подразумевается возможность замены отдельных изношенных элементов, устройство временного усиления в период проведения реконструкции; под низкой — наступление отказов в отдельных скрытых элементах конструкции под воздействием сейсмических нагрузок (разрыв арматуры, развитие пластических деформаций бетона) и невозможность восстановления таковых. Под возможностью внедрения дополнительных мер сейсмической защиты подразумевается: высокая пригодность — устройство при проведении реконструкции; низкая пригодность — реализация при наличии у здания определённых особенностей (конструктивная система здания, глубина заложения фундаментов); непригодность — невозможность использования в существующем здании. Способность поглощения сейсмического воздействия — способность здания выдержать землетрясение определённой балльности (согласно принятым нормам, балльность определяется по 12 балльной шкале MSK-64, 9 баллов — предельно пригодные для строительства условия). По доступности реализации можно выделить легкодоступные (при разработке проектной документации руководствуются общепринятой нормативно-технической документацией), и трудные (дополнительно требуется научно-техническое сопровождение и мониторинг). В таблице 2 представлены результаты анализа.

Таблица 2

Результаты анализа

Сравниваемые показатели	Технология сейсмического строительства									Значение
	1	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	
Расход стали	×				×					Высокий
		×	×	×		×				Повышенный
							×	×	×	Не изм.
Ремонтпригодность					×		×	×	×	Высокая
	×	×	×	×		×				Низкая
Возможность внедрения при реконструкции			×		×		×			Высокая пригодность
								×	×	Низкая пригодность
	×	×		×		×				Непригодность
Способность поглощения сейсмического воздействия		×	×	×				×		7
						×				8
	×				×		×		×	9
Доступность реализации	×	×	×	×	×					Легкие
						×	×	×	×	Трудные

Составлено авторами

Заключение

Возведение зданий на сейсмоизоляционном механизме не предполагает использование в конструкциях мер сейсмической защиты, что в дополнение к снижению строительных затрат придает зданию большую ремонтпригодность. Так как отказы накапливаются в обладающих

высокой ремонтпригодностью элементах систем сейсмической изоляции, здание способно пережить большее количество циклов сейсмического воздействия.

Решения с традиционными мерами сейсмической защиты активно применяют для разных конструктивных систем зданий, но их использование требует большого количества дополнительных ресурсов. Применение сейсмоизоляционных механизмов, обладающих высокой эффективностью поглощения сейсмической энергии, позволяет значительно сократить затраты ресурсов на возведение, за счёт использования конструкций высокой степени заводской готовности, механизировать процесс возведения, повысить ремонтпригодность. К сожалению, в настоящее время применение систем активной защиты в нашей стране не получило широкого распространения, необходимы дополнительные исследования в области конструирования, проработки технологии возведения, использования при реконструкции существующих зданий и сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурьев В.В., Дорофеев В.М., Булькин В.И. Инженерно-сейсмометрический мониторинг для расчета конструкций, прогноза сейсмостойкости и обеспечения сохранности гражданских объектов при эксплуатации // Academia. Архитектура и строительство. 2023. № 3, с. 119–131.
2. Кловский А.В., Мареева О.В. Сравнительный анализ параметров армирования колонн монолитных железобетонных безригельных каркасных зданий класса КС-3 при расчете на статические и сейсмические нагрузки // Природообустройство. 2018. № 4. с. 21–29.
3. Золина Т.В., Садчиков П.Н. Прогнозирование надежности здания при исследовании динамики его напряженно-деформированного состояния // Вестник МГСУ. 2015. № 10. с. 20–31.
4. Мартынов Н.В. Активная сейсмозащита: варианты развития и критический анализ практических возможностей [Текст]: монография / Симферополь: [б. и.], 2013. — 267 с.: ил.
5. Пономаренко А.В., Шенцова К.В., Аксенов В.Н. Анализ теоретического и фактического армирования плиты перекрытия при различных вариантах учёта сейсмического воздействия // ИВД. 2019. № 7(58). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-teoreticheskogo-i-fakticheskogo-armirovaniya-plity-perekrytiya-pri-razlichnyh-variantah-uchyota-seysmicheskogo-vozdeystviya>.
6. Крыжановская Д.М. Совершенствование монтажа железобетонных конструкций // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство, сборник статей. под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, В.П. Попова; Самарский государственный архитектурно-строительный университет. Самара, 2015, с. 414–416.
7. Киреева Э.И. Крупнопанельные здания с петлевыми соединениями конструкций // Жилищное строительство. 2013. № 9. с. 47–51.
8. Махвиладзе Л.С. Сейсмостойкое крупнопанельное домостроение М.: Стройиздат, 1987, 221 с.

9. Пушкарёв Б.А., Арбузова Т.А., Здоровенко А.А. Анализ эффективности строительства сборно-монолитных жилых многоэтажных зданий каркасно-связевой схемы с применением лёгких бетонов в сейсмических районах Крыма // Строительство и техногенная безопасность. 2014. № 52. с. 74–79.
10. Белаш Т.А., Зенченкова Д.В. Сейсмостойкие конструкции крупнопанельных зданий // Academia. Архитектура и строительство, СПб.: Российская академия архитектуры и строительных наук, 2019, № 3, С. 130–137.
11. Масляев А.В. Особенности возведения крупнопанельных зданий в сейсмоопасных районах // Жилищное строительство. 2016. № 3. с. 64–68.
12. Ашкинадзе Г.Н., Соколова М.Е. Железобетонные стены сейсмостойких зданий. Исследования и основы проектирования М.: Стройиздат, 1988. 504 с.
13. Поляков С.В., Измайлов Ю.В., Коноводченко В.И., Оруджев Ф.М., Поляков Н.Д. Каменная кладка из пильных известняков, Кишинёв: Карта Молдовеняскэ, 1973, с. 344.
14. Хитрук С.А., Ромаскевич С.А. Варианты проектирования в сейсмических районах // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: Сборник статей XL Международной научно-практической конференции, Пенза, 15 декабря 2020 года. — Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. — С. 309–311.
15. Инжутов И.С., Рожков А.Ф., Никитин В.М. К проблеме малоэтажного домостроения в Сибири // Вестник ТГАСУ. 2007. № 1. с. 75–81.
16. Ким Д.А. Строительство малоэтажных купольных зданий с применением пенополистирольных панелей // ИВД. 2020. № 1(61). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stroitelstvo-maloetazhnyh-kupolnyh-zdaniy-s-primeneniem-penopolistirolnyh-paneley>.
17. Литвинова Э.В., Литвинов Б.А. Инновационные системы сейсмозащиты зданий и сооружений за рубежом // Строительство и техногенная безопасность. 2013. № 47. с. 69–78.
18. Измайлов Ю.В. Сейсмостойкие монолитные здания Кишинёв: Карта Молдовеняскэ, 1989. 290 с.
19. Дурнев Р.А., Кочетов О.С., Поляков И.А. Новые конструкции сейсмостойких зданий и сооружений // Технологии гражданской безопасности. 2014. № 4(42). с. 10–15.
20. Белаш Т.А. Использование эффекта «гибкого этажа» в зданиях жестких конструктивных систем // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2023. № 2. С. 45–53.
21. Мкртычев О.В., Бунов А.А. Оценка сейсмостойкости здания с сейсмозащитой в виде резинометаллических опор // Вестник МГСУ. № 8. 2013. с. 21–28
22. Алипур М., Гусман Курай Ф.Р., Абу Махади М.И. Система сейсмической изоляции и сейсмические демпферы // Системные технологии. 2019. № 2(31). с. 58–64.
23. Бутырский С.Н., Ковальчук О.А. О применении демпфирующих виброгасящих элементов в конструкции здания при сейсмозаведении // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 9. с. 30–34.

24. Черепинский Ю.Д. Сейсмоизоляция зданий. Строительство на кинематических фундаментах (сборник статей) — М.: Blue Apple, 2009 г. — с. 46.
25. Тяпин А.Г. Плоские колебания жесткого сооружения на кинематических опорах Ю.Д. Черепинского // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2020. № 3. С. 5–18.
26. Арутюнян А.Р. Современные методы сейсмоизоляции зданий и сооружений // Magazine of Civil Engineering. 2010. № 3. с. 56–60.
27. Белаш Т.А. Нетрадиционные способы сейсмозащиты транспортных зданий и сооружений: монография. — М.: ФБГУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2017. — 175 с.
28. Уздин А.М., Сандович Т.А., Аль-Насер-Мохомад Самих Амин. Основы теории сейсмостойкого строительства зданий и сооружений. — С.-Петербург: Изд-во ВНИИГ имени Б.Е. Вендеева, 1993. — с. 176.
29. Назин В.В. Новейшие сейсмостойкие конструкции и железобетонные механизмы сейсмоизоляции зданий и сооружений. — М.: Стройиздат, 1993 — 135 с.

Levinskoy Konstantin Evgenievich

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia
E-mail: konstantin.levinskoy@yandex.ru

Pugach Evgeniy Mihailovich

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia
E-mail: Tsp-tvz@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2832-1941>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=416367

Features of the application of earthquake-resistant building construction technologies

Abstract. The article discusses technologies for the construction of earthquake-resistant buildings by increasing the rigidity and strength of the main connection of struction, using structures with increased damping and creating active seismic isolation systems. Examples of practical implementation, design and technological features are considered, an analysis is carried out based on the establishment of characteristics of existing technologies, production conditions for construction and installation and the possibility of carrying out repair work, comparison of existing solutions. In the process of analysis, construction technologies for buildings and structures with seismic resistance are systematized, divided into groups with the allocation of types depending on the principles of implementation of seismic protection. The analysis was carried out according to the following main criteria: steel consumption, suitability for repair of the applied technologies, the possibility of introducing seismic protection during the reconstruction of the building, the ability to absorb seismic effects and the availability of implementation. It has been established that traditional technical solutions for increasing rigidity and strength, the introduction of structures with increased damping, used for buildings with prefabricated, monolithic and prefabricated monolithic frames, require a large amount of additional resources, are characterized by the accumulation of failures in individual hidden elements under the influence of seismic loads, and have low maintainability. The use of isolation mechanisms with high efficiency of seismic energy absorption makes it possible to significantly reduce the cost of resources for construction, through the use of structures with a high degree of factory readiness, mechanize the construction process, and increase maintainability. Based on the results of the analysis, recommendations are given for conducting additional studies of active protection systems in the field of design, development of construction technology, and the possibility of using them in the reconstruction of existing buildings and structures.

Keywords: earthquake-resistant civil engineering; earthquake-resistant buildings; construction of earthquake-resistant buildings; structures with increased damping; seismic insulation; kinematic foundations; earthquake-resistant large-panel buildings