

Методы сейсмогашения и сейсмоизоляции с применением специальных устройств

М.А. Выскребенцева, Ву Ле Куен

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)

Аннотация: В статье рассмотрены современные методы сейсмогашения и сейсмоизоляции. Простой подход к решению вопроса сейсмозащиты – увеличение жёсткости и армирования конструкций можно использовать для большинства зданий простой конструктивной схемы, однако, применение специальных методов позволяет снизить стоимость строительства при сохранении высокой надёжности. Кроме того, для зданий сложной конструкции, уникальных и высотных бывает практически невозможно использовать традиционный подход. Необходимы новые действенные методы сейсмозащиты. Подобные решения предполагают изменение веса и жесткости, демпфирование системы в зависимости от её перемещений и скоростей. Таким образом, использование сейсмозащиты при верном конструировании способно существенно увеличить такие показатели как: надёжность зданий, безопасность, финансовые характеристики сооружения.

Ключевые слова: сейсмоизоляция, сейсмогашение, сейсмозащита, демпфирование, экономическая эффективность.

Вопрос защиты зданий и сооружений от сейсмического воздействия встал перед людьми со времени первых землетрясений в истории человечества и не утратил своей актуальности по сей день. Сегодня с развитием науки и техники, исследования в данном направлении являются особенно актуальными. Этот факт подчеркивают произошедшие в последнее время разрушительные землетрясения. Кроме того, в настоящее время происходит активное освоение сейсмически активных областей Дальнего Востока, Байкала, Краснодарского Края, Северного Кавказа [1, 2].

Поскольку сейсмические воздействия передаются на здание через его подземную часть, прежде всего, фундаменты, изоляция надземной части от подземной является самым естественным способом снижения сейсмических нагрузок на каркас. Такой способ защиты назван сейсмоизоляцией. Её

применение позволяет уменьшить амплитуды колебаний системы и снизить инерционные силы в конструкциях надземной части здания.

Более 1500 лет строители отделяли сооружение от его основания, используя в качестве промежуточного слоя в уровне верха фундаментов прокладки из мягких материалов. К примеру, в III-VII вв. многие крупные постройки Средней Азии создавались на песчаных подушках. В X-XVII веках применяли подушки из чистой глины с обязательным слоем камыша в нижней части стен. Однако, несовершенная технология и низкокачественные строительные материалы приводили к недолговечности данных мероприятий и изоляция со временем переставала выполнять свою функцию.

В начале XX вв. произошла серия разрушительных землетрясений (Сан-Франциско, Токио). Это дало инженерам и учёным вескую причину вновь вернуться к исследованиям защиты зданий от колебаний грунта, в том числе к вопросу изоляции подземной части зданий, способной сократить инерционные силы в надземных конструкциях.

На сегодняшний день сейсмоизоляция остается важным и актуальным вопросом, об этом свидетельствует тот факт, что системы сейсмоизоляции включены в нормативную базу РФ (п. 6.17 СП 14.13330.2014). Однако, авторы не дают подробной классификации способов сейсмоизоляции, методов расчета и конструктивных решений, поэтому необходимо углубленное изучение данного вопроса по современным научным работам российских и зарубежных учёных.

Увеличением жёсткости и прочности конструкций не всегда можно добиться требуемой сейсмостойкости сооружения. Необходимо знать и грамотно использовать различные методы сейсмозащиты. В них используются различные приемы снижения инерционных сил в системе: изменение массы и жёсткости отдельных конструкций или частей здания, демпфирование системы, создание инерционных масс, колеблющихся в

противофазе с каркасом и т.п. Многие решения запатентованы еще во 2-й половине XX века, но добавляется и много новых эффективных мероприятий. В настоящее время существует более 100 действующих патентов конструктивных решений сейсмоизоляции зданий и сооружений.

Повысить сейсмостойкость можно двумя способами:

- 1) традиционным – увеличением сечения конструкции;
- 2) специальным – снижением нагрузок за счет модификации динамической схемы работы здания или сооружения.

Традиционные методы применимы для основной массы сооружений, расчётный аппарат очень хорошо развит, накоплен значительный опыт строительства [3, 4]. Однако, для технически сложных и уникальных зданий данный подход часто неприменим, или даёт чрезмерно ресурсоёмкий и, соответственно, финансово неудовлетворительный результат. Специальные методы, о которых пойдёт речь ниже, применяются как для уникальных зданий (практически безальтернативно), так и для более простых, позволяя снизить затраты на строительство с одновременным увеличением надёжности возводимых зданий [5].

Существующие современные методы сейсмогашения и сейсмоизоляции с применением специальных устройств разделим на основные группы:

1. Сейсмоизолирующие системы с выключающимися связями;
 2. Резинометаллические опоры по методу Ю.Д. Черепинского;
 3. Системы сейсмозащиты с кинематическими опорами;
 4. Метод разделения инерционных масс;
 5. Метод со скользящим поясом;
 6. Системы с повышенным демпфированием;
 7. Динамические гасители колебаний.
-

1. Сейсмоизолирующие системы с выключающимися связями.

Система с выключающимися связями была разработана в ЦНИИСК им. Кучеренко. Область её применения – здания жесткой конструктивной схемы с гибким первым этажом. Идея работы такой системы – снижение жёсткости несущих конструкций гибкого этажа при землетрясении. Считается, что область применения системы с выключающимися связями – это здания с периодом собственных колебаний не более $0,5 \dots 0,7$ с.

Конструктивно в состав первого этажа включают специальные элементы, повышающие жёсткость здания на стадии нормальной эксплуатации и выключающиеся из работы при достижении колебаниями определенных амплитуд. Таким образом происходит адаптация несущего остова здания к сейсмическим воздействиям [6-9].

Выключающиеся элементы могут представлять собой бетонные шпонки, сварные стальные шпонки, связевые металлические элементы и т.п., жестко закрепленные к основным несущим конструкциям в пределах гибкого этажа. Данные элементы обеспечивают жесткую связь вышележащих этажей с фундаментом до момента наступления землетрясения. Затем, при подвижках земной коры и превышении амплитудой пороговых значений, выключающийся элемент разрушается, снижая таким образом жёсткость конструкций гибкого этажа.

В местах, где вероятность землетрясения повышена, система с выключающимися связями достаточно эффективна [10, 13, 14, 15].

2. Резинометаллические опоры по методу Ю.Д. Черепинского.

Такая опора включает нижнюю и верхнюю части, образующие замкнутую камеру с промежуточной подушкой из шариков и смазки. Нижняя часть представляет собой втулку с резьбой (снижает трение, обеспечивает защиту от коррозии) и болт (создает предварительное напряжение в

промежуточной подушке). Верхняя часть имеет состав из опорной плиты, направляющей обоймы и конического сердечника (снижает удельное давление на внутреннюю поверхность опоры). Жесткость верхней части обеспечена ребрами и полостью, которая заполнена бетоном. Опоры закрепляются в опорные плиты при помощи анкерных болтов. Применение опор обеспечивает защиту зданий и сооружений от сейсмических толчков [11, 12, 16, 17].

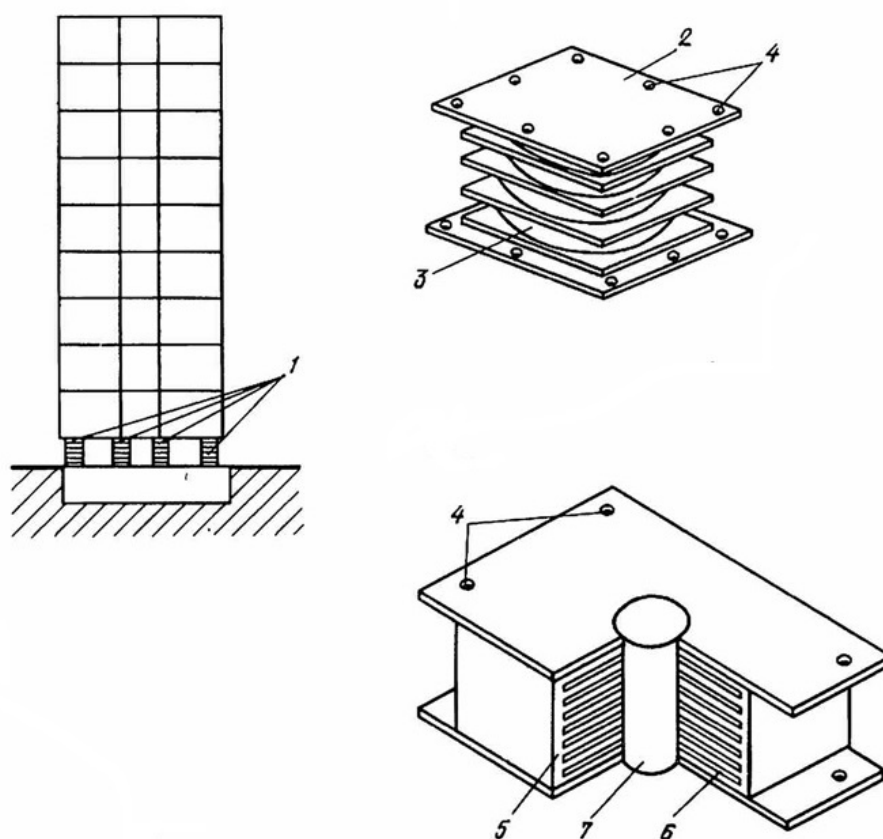


Рис. 1. – Сейсмоизоляция здания с помощью резинометаллических опор.

1 – Опора, 2 – Стальная плита, 3 – Слой неопрена, 4 – Отверстия для анкерных болтов, 5 – Резина, 6 – Сталь, 7 – Свинец.

3. Системы сейсмозащиты с кинематическими опорами.

Опорные кинематические фундаменты – достаточно простое с технической и технологической стороны решение, обеспечивающее, вместе с тем, высокий уровень снижения инерционных сил в конструкциях зданий.

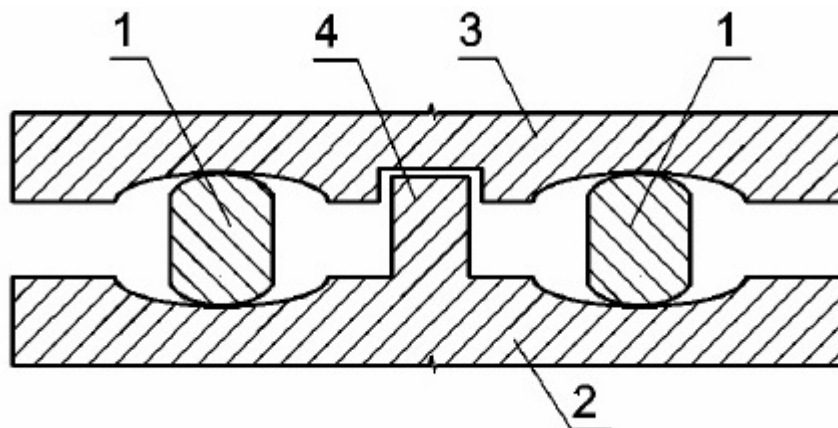


Рис. 2. – Конструктивное решение кинематического фундамента.

1 – Кинематические опоры, 2 - Опорный фундамент, 3 – Нижнее перекрытие здания, 4 – Демпферы скольжения.

Опорные кинематические фундаменты создают шов скольжения между опертым на грунт фундаментом и надземной частью здания, тем самым, разделяя их перемещения в случае сейсмических воздействий. Шов создаётся при помощи опорных элементов – тел вращения определённой формы, или иначе, кинематических опор, на которые опирается надземная часть здания [18, 19]. При значительных горизонтальных подвижках грунта опорные элементы существенно уменьшают перемещения надземной части здания относительно грунта [20, 21, 23]. Для снижения сил трения используются фторопластовые прокладки на контакте тел вращения с бетонными частями здания.

Недостаток метода: при увеличении этажности и, соответственно, массы здания появляются концентрации напряжений в области установки опор. Как следствие, большой расход материала для повышения надежности,

а также при большой этажности устойчивость и прочность опор могут быть не эффективными.

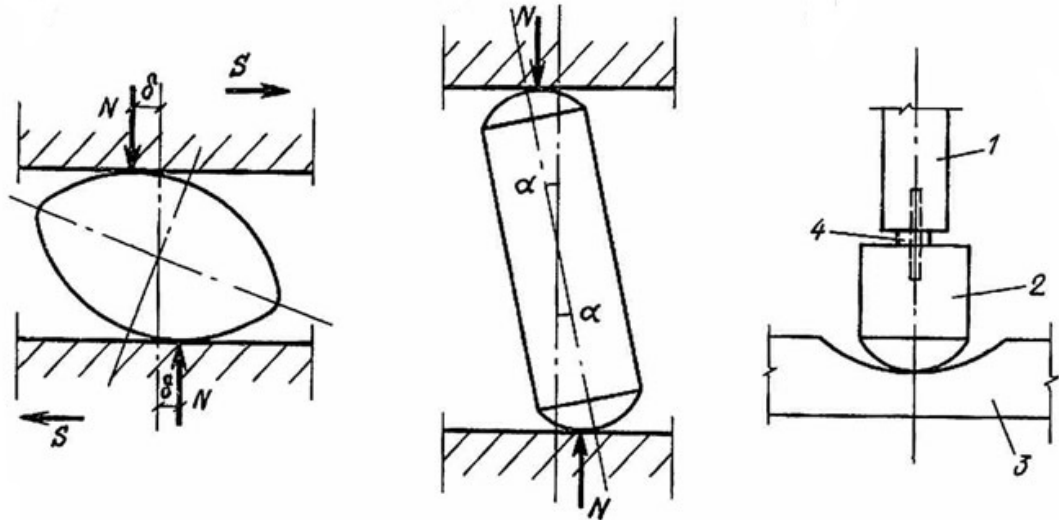


Рис. 3. – Кинематические опоры, используемые для сейсмоизоляции зданий.

1 – Колонна, 2 – Подлокотник, 3 – Опорная плита, 4 – Центрирующая шайба.

4. Метод разделения инерционных масс.

Способ подразумевает применение плоскостного подшипника в сейсмических фундаментах и включает 3 мероприятия:

- 1) Разделение инерционных масс (массив здания отделяется от земной коры, при помощи установки плоскостного подшипника качения в тело фундамента на уступах фундамента);
- 2) Установка на каждом уступе фундамента сминаемых демпферов-гасителей между опорной и подвижной частями фундамента из деформируемых материалов (обеспечение поглощения ударных воздействий инерционных горизонтальных нагрузок и относительную фиксацию здания в проектном положении);
- в) Устройство сминаемых поясов по периметру зданий в уровнях подвижной части фундамента материалами обратной засыпки или особыми

конструкциями из деформируемых материалов в промежутках расчетной амплитуды колебаний земной коры. Сминаемый пояс предусматривает фиксацию здания в проектном положении и поглощение энергии сейсмических колебаний [22].

Главная цель применения метода разделения инерционных масс - сохранить эксплуатационные качества и свойства конструкций и элементов зданий и сооружений после землетрясения.

Во время землетрясения здание из-за инерционности остается в покое и перекатывается на плоскостных подшипниках качения. Нижнюю часть фундамента в единое целое объединяет грунтовое основание, а жесткость верхней части фундамента обеспечивается диском перекрытия цокольной части фундамента.

Элементы качения расположены по главным осям здания, здание или сооружение остается зафиксированным в основных осях, а их перекрестное положение предусматривает вынужденное перемещение здания в горизонтальной плоскости относительно земной коры в любом направлении на 360° строго в пределах уступов фундаментов. При таком расположении элементов качения исключается кручение и срыв здания с фундаментов.

5. Метод со скользящим поясом.

Конструкции здания на сейсмоизолирующих опорных конструкциях скользящего типа имеют жёсткую связь с основанием за счёт сил сухого трения до тех пор, пока сдвигающая сила от сейсмического воздействия не достигнет порога срабатывания. Пороговое значение зависит от формы поверхностей трения и материалов, используемых в скользящем поясе. Важным в работе данного пояса является поглощение энергии колебаний и рассеяние её при относительном проскальзывании опорных элементов сейсмоизолирующего устройства [24-26]. В зависимости от формы

поверхностей скольжения сейсмоизолирующие устройства данного типа разделяют на 2 группы: 1) невозвратные; 2) конструкции с гравитационной восстанавливающей силой [23].

Устройства первой группы имеют горизонтальные площадки скольжения. Вся конструкция находится в состоянии устойчивого равновесия как до воздействия сеймики, так и после взаимного смещения конструкций пояса. Ко второй группе относят устройства с наклонными или криволинейными поверхностями скольжения. Такая форма обеспечивает возврат сместившегося вследствие сейсмического толчка сооружения в начальное положение устойчивого равновесия за счет возникновения гравитационной восстанавливающей силы. При наклонных плоскостях сила будет постоянной по величине, при криволинейных плоскостях скольжения возвращающая сила является позиционной, то есть зависящей от взаимного расположения элементов конструкции.

б. Системы с повышенным демпфированием.

Демпфирование позволяет переводить кинематическую энергию колебаний системы в другие виды энергии. Для использования этого свойства энергии в конструкцию зданий включают специальные устройства, задачей которых является увеличение рассеивания энергии для снижения ускорений и инерционных сил в системе.

Из недостатков следует отметить, что в зданиях с демпфирующими устройствами при сейсмических воздействиях появляются остаточные деформации, то есть, изменяется положение сооружения на фундаментах, из-за чего здания требуют восстановления начального положения после землетрясения. Кроме того, нелинейный характер работы системы значительно затрудняет расчет.

7. Динамические гасители колебаний.

Одним из способов снизить нагрузки от динамики сооружения является уменьшение амплитуды и частоты его колебаний. Для зданий башенного типа эффективно применение систем с повышенными параметрами затухания, включающих в себя динамические гасители колебаний.

Использование таких систем подразумевает точное вычисление параметров динамического гасителя: его массы, жёсткости/вязкости связей, высотной привязки. Всё это должно обеспечить противофазность колебаний здания и динамического гасителя колебаний, что в конечном итоге приводит к значительному снижению инерционных сил и амплитуд колебаний. Подобное регулирование системы осложняет: а) широкий диапазон свойств сейсмических воздействий, б) изменение характеристик жесткости элементов в зависимости от величины усилий в них, в) неопределенный характер работы элементов (деформационных швов и др.)

Яркий пример использования динамических гасителей колебаний – это небоскрёб Тайбэй 101, расположенный в Тайбэе (Тайвань). Количество этажей составляет 101 этаж, высота достигает 509,2 м, вместе со шпилем. Между 87-м и 91-м этажами внутри здания подвешен 660-тонный шар. Этот шар является средством борьбы с колебаниями здания при ураганах и землетрясениях. Специально для этого здания после серии расчётов и испытаний моделей, был запроектирован и изготовлен 660-тонный металлический маятник, выполняющий функции инерционного гасителя колебаний. Маятник колеблется, компенсируя перемещения сооружения от порывов ветра или колебаний земли. Благодаря несовпадению колебания здания и маятника по фазе (в идеале должна быть противофаза), но близких значений периода колебаний, в момент перемещения верха здания, маятник совершает своё движение в противоположном направлении. Подобным образом ребёнок умеет затормаживать качели простыми наклонами

туловища, не касаясь земли или других опор. На уровне горизонтальной средней линии к шару присоединены 8 вязкостных демпфирующих механизмов – гидравлических амортизаторов. При раскачивании демпфера из этих устройств выжимается жидкость, что способствует поглощению энергии и дополнительному гашению ускорения. Благодаря работе всей системы, снижаются амплитуды колебаний, и, как следствие, дополнительные усилия в конструкциях. Амплитуда маятника составляет до 10 см при раскачивании сооружения ветром и до 1,5 метров при землетрясении.

Инерционный демпфер (Tuned Mass Damper) – это механизм для корректировки собственных форм колебаний. Определяющей его характеристикой является большая масса, способная стабилизировать здание при динамических ветровых и сейсмических воздействиях [27-29].

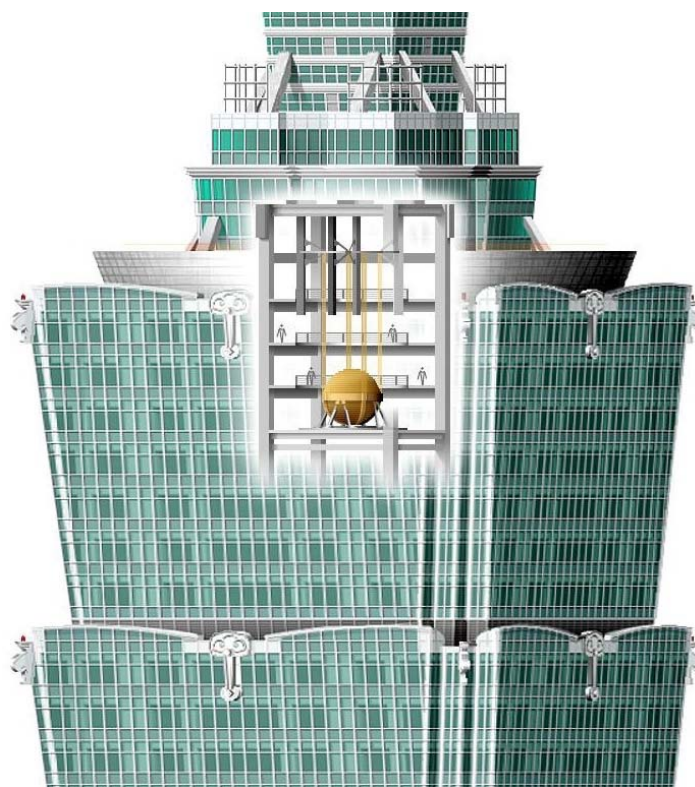


Рис. 4. – Инерционный демпфер на высотном здании Тайбэй 101.

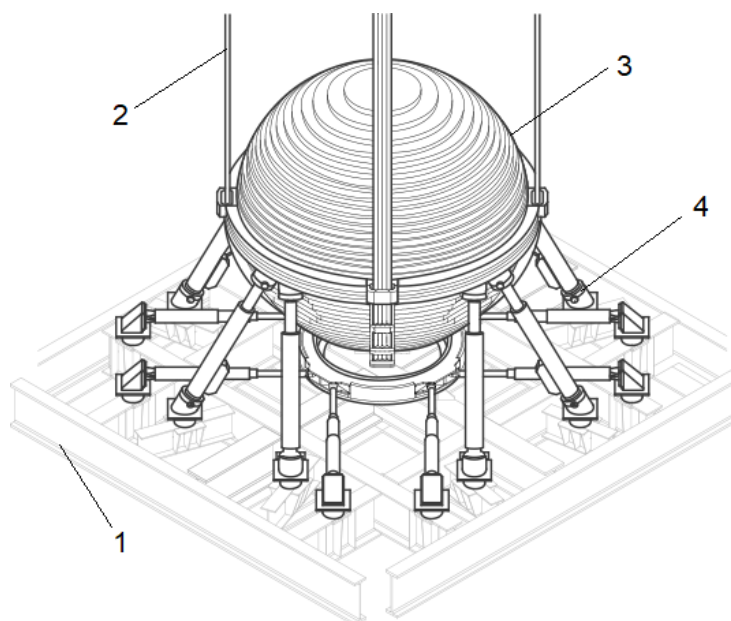


Рис. 5. – Конструкция демпфера.

1 – Бамперная система, 2 – Кабель, 3 – Массовый блок, 4 – Демпфер.

Настоящая статья носит обзорный характер и является попыткой проанализировать и систематизировать имеющуюся информацию о современных методах сейсмоизоляции и сейсмозащите зданий. Многие из рассмотренных моделей требуют дальнейших корректировок и исследований в области конструирования, расчётного обоснования и практических испытаний [30, 31, 32].

Цель у рассмотренных мероприятий одна – снизить экономические потери на обеспечение сейсмозащиты при сохранении высокой надежности и безопасности зданий [33-36]. Как следствие, улучшаются эксплуатационные качества зданий и повышается комфортность для людей, находящихся или проживающих в здании.

Литература

1. Абовский, Н.П., Сибгатулин В.Г., Палагушкин В.И., Инжутов И.С., Худобердин И.Р. Сейсмика. Сейсмобезопасность. Конструктивная безопасность. Некоторые проблемные вопросы нормирования и научного обеспечения сейсмобезопасности в Красноярском крае. 2010 – с. 61.
2. Лутиков А.И., Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности Северного Кавказа в детальном масштабе // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013 - №5. с. 41-45.
3. Аксёнов Н.Б., Аушев М.В. Исследование влияния соотношения жесткостей конструктивной системы на динамические параметры многоэтажного здания в зависимости от сейсмичности площадки // Инженерный вестник Дона, 2017, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4416.
4. Аксенов В.Н., Аксенов Н.Б. Обследование и оценка технического состояния строительных конструкций. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2018. с.112.
5. Годустов И.С., Заалишвили В.Б. Сейсмоизолирующий фундамент и способ возведения здания на нём. / Заявка на выдачу патента РФ от 29.10.2007 №2007140020/20 (043812) МПК E02D 27/34, E04H 9/02.
6. Годустов И.С., Заалишвили В.Б. Способ адаптации к смене типа горизонтальных нагрузок опор сейсмоизоляции. / Патент РФ. RU 2062833 C1, RU 2049890 C1, RU 2024689 C1.
7. Современные методы сейсмозащиты зданий, М.: Стройиздат, 1989. с.320.
8. Тяпин А.Г. Демпфирование в прямом и модальном методах: эффект искусственного «урезания» коэффициентов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2012 - №4. с. 24-26
9. Жунусов Т.Ж., Черепинский Ю.Д. д.т.н., Лапин В.А. Инструкция по проектированию зданий с использованием сейсмоизолирующих фундаментов КФ. РДС РК-07-6-98, Комитет РК. 2003 – с.19.



10. Кулов А.Р., Кулов Р.П., Кулова Х.Р., Фардзинов Г.Г. Сейсмостойкое строительство. Метод опирания строительного объекта на землю // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2015 - №2. с. 67.
 11. Саргсян А.Е., Джинчвелашвили Г.А. Оценка сейсмостойкости и сейсмоустойчивости сооружений с сейсмоизолирующими опорами. // Транспортное строительство. 1998. №11. С.19-23.
 12. Абаканов М.С. Одноэтажные каркасные здания для сейсмических районов с шарнирными узлами соединения конструкций покрытия с колоннами // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011 - №6. с. 62
 13. Абовский, Н.П., Палагушкин В.И., Лапеев М.В. Системный подход к сейсмоизоляции зданий при сложных грунтовых условиях / Жилищное строительство. 2010. с. 56.
 14. Аксенов В.Н., Маилян Д.Р. Работа железобетонных колонн из высокопрочного бетона // Бетон и железобетон. -2008.-№ 6. -С. 5-8.
 15. Аксенов Н.Б., Маилян Д.Р., Аксенов В.Н. Расчет железобетонных конструкций по новым нормам - Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2010. - 21 с.
 16. Смирнов И.И., Захарова К.В. К расчету упругопластических торсионов энергопоглощающих устройств // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (Ч.2). URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1312.
 17. Мкртычев О.В. Мкртычев А.Э. Анализ эффективности резинометаллических опор при строительстве высотных зданий в сейсмических районах // «ВЕСТНИК НИЦ «Строительство», Выпуск № 2, 2017, с. 126-137.
 18. Несветаев Г.В., Виноградова Е.В., Лопатина Ю.Ю. К вопросу выбора критериев эффективности бетонов // Научное обозрение. 2016. №2. С. 34-41.
-

19. Шишков Ю.А. Сейсмоизоляция фундаментов с учетом основных причин и характера разрушений зданий при землетрясениях. «Проектирование и строительство в Сибири». - 2003.-2.-с.12-16.
 20. Ушаков А. С. Методы сейсмоизоляции фундаментов сооружений// Технические науки: проблемы и перспективы: материалы Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, март 2011 г.). — СПб.: Реноме, 2011. — С. 180-186.
 21. Черепинский Ю.Д. Сейсмоизоляция зданий. Строительство на кинематических опорах (Сборник статей). - М.: Blue Apple. 2009. 47 с.
 22. Макаров С.Б., Панкова Н.В., Тропкин С.Н. Как работают амортизаторы в задачах сейсмозащиты зданий. Исследование вопроса на SIMULIA ABAQUS // Сейсмостойкое строительство, безопасность сооружений. – 2017, №4.с. 36.
 23. Шишков Ю.А. Сейсмостойкие фундаменты быстровозводимых зданий в отдаленных районах Горного Алтая // Труды Международной конференции по геотехнике. «Взаимодействие сооружений и оснований: методы расчета и инженерная практика». С.Петербург, 26-28 мая 2005 г. Том 2, с.265-270.
 24. Юсупов А. К. Проектирование сейсмостойких зданий на кинематических опорах. - Махачкала: Издательство «Лотос», 2006.– 231 с.
 25. M. Y. H. Bangash Concrete and Concrete Structures: Numerical Modelling and Applications – 1989. 687 p.
 26. Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Брыксин А.А. Результаты исследования здания с резинометаллической сейсмоизоляцией методом стоячих волн (на примере здания гражданского строительства национального университета Тайваня, г. Тайбэй). Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2017 - №2. с. 53-59.
 27. Тяпин А.Г. Сейсмоизоляция под фундаментом сооружения, взаимодействующего с основанием. Часть 4: частичное снятие ограничений.
-



- // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2017 - №2.с. 42-46.
28. M. Y. H. Bangash Manual of Numerical Methods in Concrete: Modelling and Applications Validated by Experimental and Site-Monitoring Data – 2001. 944 p.
29. Аксенов В.Н. Причины аварий и требования к безопасности зданий // Строительство-2014. Современные проблемы промышленного и гражданского строительства. Материалы международной научно-практической конференции. -Ростов н/д: Рост. гос. строит. ун-т, 2014. - С.17-18.
30. Mailyan D., Aksenov V., Aksenov N. Energy-efficient reinforced concrete columns made of concrete, grade B90...B140 // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. Vol. 692. pp. 536-542.
31. Polskoy P.P., Mailyan D.R., Dedukh D.A., Georgiev S.V. Design of reinforced concrete beams in a case of a change of cross section of composite strengthening reinforcement // Global Journal of Pure and Applied Mathematics. 2016. Vol. 12. № 2. pp. 1767-1786.
32. Аксенов Н.Б., Задорожная А.В. Исследование влияния параметров триангуляции в среде ПК Сапфир на результаты расчёта // Инженерный вестник Дона. 2017, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4077
33. Амосов А.А., Сеницын С.Б. Основы теории сейсмостойкости сооружений. - М.: АСВ. 2001. 96 с.
34. Смирнов И.И., Захарова К.В., Авилкин В.И., Стрельников Г.П. К использованию торсионных энергопоглотителей для сейсмозащиты сооружений// Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (Ч.2). URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1314.
35. Маилян Д.Р., Польской П.П., Георгиев С.В. Свойства материалов, используемых при исследовании работы усиленных железобетонных
-

конструкций // Инженерный вестник Дона, 2013, №2. URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1673/.

36. Годустов И.С. Способ снижения горизонтальной инерционной нагрузки объекта на сейсмоизолирующем кинематическом фундаменте. / Патент РФ. RU 2342493 C2 (МПК E02D 27/34).

References

1. Abovskij, N.P., Sibgatulin V.G., Palagushkin V.I., Inzhutov I.S., Hudoberdin I.R. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. 2010. № 4. 78 p.
2. Lutikov A.I., Ovsyuchenko A.N., Rogozhin E.A. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. 2013, №5. pp.41-45.
3. Aksenov N.B., Aushev M.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4 URL:
ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1312.
4. Aksenov V.N., Aksenov N.B. Obsledovaniye i otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh konstruktsiy [Inspection and evaluation of the technical condition of building structures]. Rostov-na-Donu: DGTU, 2018. p.112.
5. Godustov I.S., Zaalishvili V.B. Sejsmoizoliruyushchij fundament i sposob vozvedeniya zdaniya na nyom [Seismic insulating foundation and method of erecting a building on it]. Zayavka na vydachu patenta RF ot 29.10.2007 №2007140020.20 (043812) MPK E02D 27.34, E04N 9.02.
6. Godustov I.S., Zaalishvili V.B. Sposob adaptacii k smene tipa gorizontal'nyh nagruzok opor sejsmoizolyacii. [The method of adaptation to the change of the type of horizontal loads of the seismic insulation supports], Patent RF. RU 2062833 CI, RU 2049890 CI, RU 2024689 S1.
7. Sovremennyye metody sejsmozashchity zdaniy [Modern methods of seismic protection of buildings], M.: Strojizdat, 1989. 320 p.
8. Tyapin A.G. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. 2012, №4. pp. 24-26.



9. T.ZH. ZHunusov, YU.D. CHerepinskiy d.t.n., V.A. Lapin. Instrukciya po proektirovaniyu zdaniy s ispol'zovaniem sejsmoizoliruyushchih fundamentov KF. (Instruction on the design of buildings using seismic insulating foundations KF) RDS RK-07-6-98, Komitet RK. 2003 p.19.
 10. Kulov A.R., Kulov R.P., Kulova H.R., Fardzinov G.G. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. 2015, №2. p. 67.
 11. Sargsyan A.E., Dzhinchvelashvili G.A. Transportnoe stroitel'stvo. 1998. №11. pp.19-23.
 12. Abakanov M.S. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. 2011, №6. p. 62.
 13. Abovskij, V.I. Palagushkin, M.V. Lapeev. ZHilishchnoe stroitel'stvo.2010. p.56.
 14. Aksenov V.N., Mailyan D.R. Beton i zhelezobeton. 2008. № 6. pp. 5-8.
 15. Aksenov N.B., Mailyan D.R., Aksenov V.N. Beton i zhelezobeton. Rostov n D: Rost. gos. stroit. Unt, 2010. 21 p.
 16. Smirnov, I.I., Zaharova, K.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4 (part 2) URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1312.
 17. Mkrtichev O.V. Mkrtichev A.EH. «VESTNIK NIC «Stroitel'stvo» Vypusk № 2, 2017, pp. 126-137.
 18. Nesvetaev G.V., Vinogradova E.V., Lopatina YU.YU. Nauchnoe obozrenie. 2016. №2. pp. 34-41.
 19. SHishkov YU.A. Sejsmoizolyaciya fundamentov s uchetom osnovnyh prichin i haraktera razrushenij zdaniy pri zemletryasenyah. «Proektirovanie i stroitel'stvo v Sibiri» [Seismic insulation of foundations, taking into account the main causes and nature of the destruction of buildings during earthquakes. "Design and construction in Siberia"]. 2003. 2. pp.12-16.
-



20. Ushakov A. S. Metody sejsmoizolyacii fundamentov sooruzhenij Tekhnicheskie nauki: problemy i perspektivy: materialy Mezhdunar. nauch. konf. (g. Sankt-Peterburg, mart 2011 g.). SPb.: Renome, 2011. pp. 180-186.
 21. CHerepinskiy YU.D. Sejsmoizolyaciya zdaniy. Stroitel'stvo na kinematicallyh oporah (Sbornik statej) [Seismic insulation of buildings. Construction on kinematic bearings]. M.: Blue Apple. 2009. 47 p.
 22. Makarov S.B., Pankova N.V., Tropkin S.N. Sejsmostojkoe stroitel'stvo, Bezopasnost' sooruzhenij. 2017 №4. p. 36.
 23. SHishkov YU.A. Trudy Mezhdunarodnoj konferencii po geotekhnike. «Vzaimodejstvie sooruzhenij i osnovanij: metody rascheta i inzhenernaya praktika». S.Peterburg, 26-28 maya 2005 g. Tom 2, pp.265-270.
 24. YUsupov A. K. Proektirovanie sejsmostojkih zdaniy na kinematicallyh oporah. [Design of seismic resistant buildings on kinematic bearings] Mahachkala: Izdatel'stvo «Lotos», 2006. 231 p.
 25. M. Y. H. Bangash Concrete and Concrete Structures: Numerical Modelling and Applications, 1989. 687 p.
 26. Lisejkin A.V., Seleznev V.S., Bryksin A.A. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. 2017 №2. pp. 53-59.
 27. Tyapin A.G. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. 2017 №2. pp. 42-46
 28. M. Y. H. Bangash Manual of Numerical Methods in Concrete: Modelling and Applications Validated by Experimental and Site-Monitoring Data 2001. 944 p.
 29. Aksenov V.N. Stroitel'stvo 2014. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Rostov nd: Rost. gos. stroit. unt, 2014. pp.17-18.
 30. Mailyan D., Aksenov V., Aksenov N. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. Vol. 692. pp. 536-542.
 31. Polskoy P.P., Mailyan D.R., Dedukh D.A., Georgiev S.V. Global Journal of Pure and Applied Mathematics. 2016. Vol. 12. № 2. pp. 1767-1786.
-



32. Aksenov N.B., Zadorozhnaya A.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4077.
33. Amosov A.A., Sinicyn S.B. Osnovy teorii sejsmostojkosti sooruzhenij. [Fundamentals of the theory of seismic stability of structures] M.: ASV. 2001. 96 p.
34. Smirnov, I.I., Zaharova, K.V., Avilkin, V.I., Strel'nikov, G.P. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4 (part 2). URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1314
35. Mailyan D.R., Pol'skoy P.P., Georgiyev S.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1673.
36. Godustov I.S. Sposob snizheniya gorizontal'noj inercionnoj nagruzki ob"ekta na sejsmoizoliruyushchem kinematicheskom fundamente. [A method for reducing the horizontal inertial load of an object on a seismically insulating kinematic foundation] Patent RF. RU 2342493 S2 (MPK E02D 27/34).