

**Наурызов Ерасыл Сагидоллаевич**  
**Nauryzov Erasyl Sagidollaevich**

Магистрант

Masters student

**Полякова Ирина Марковна**

**Polyakova Irina Markovna**

Ассоциированный профессор

Associate Professor

Международная образовательная корпорация

International Educational Corporation

## **СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ СЕЙСМОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ ПО ПАРАМЕТРАМ УСТОЙЧИВОСТИ И НАДЕЖНОСТИ**

### **COMPARISON OF VARIOUS METHODS OF SEISMIC PROTECTION OF BUILDINGS BY STABILITY AND RELIABILITY PARAMETERS**

*Аннотация.* В настоящее время обеспечение надежной сейсмостойкости сооружений, зданий – это фактор, необходимый все больше в особенности при строительстве в сейсмически-активных зонах. Важно подчеркнуть, что в наши дни одним из основных подходов к повышению сейсмостойкости является использование разнообразных систем сейсмоизоляции. Так, в данной статье произведен анализ различных методов обеспечения конструктивной безопасности зданий в сейсмоопасных территориях, рассмотрены основные методы сейсмозащиты и указаны их ключевые преимущества и недостатки.

*Annotation.* Currently, ensuring reliable earthquake resistance of structures and buildings is a factor that is increasingly needed, especially during construction in seismically active areas. It is important to emphasize that nowadays one of the main approaches to improving seismic resistance is the use of various seismic isolation systems. Thus, this article analyzes various methods of structural protection of buildings in earthquake-prone areas, discusses the main methods of seismic protection and indicates their key advantages and disadvantages.

*Ключевые слова:* здание, фундамент, сейсмозащита, сейсмоизоляция, сейсмостойкость, демпфирование.

*Key words:* building, foundation, seismic protection, seismic insulation, earthquake resistance, dempening.

Проблематика вопросов о защите различных конструкций, зданий и сооружений от сейсмических воздействий стояла перед людьми со времен возникновения первых землетрясений в современной истории и остается актуальной в настоящее время.

В современном мире, с учетом развития техники и науки, особенно актуальными являются исследования в данном направлении.

Землетрясение является опасным видом стихийного бедствия, которое проявляется в виде колеблющей поверхности земли из-за геотектонических процессов, которые, непосредственно, возникают в мантии и земной коре. Таким образом, 60% от пострадавших всех катастроф выпадает на долю жертв при землетрясениях [4]. Соответственно, способы обеспечения безопасности зданий и сооружений от сейсмических нагрузок являются крайне актуальными, в особенности для Казахстана, так как динамично развивающиеся регионы (такие как, к примеру: Алматинская, Восточно-Казахстанская, Жамбылская и Южно-казахстанская область) находятся в сейсмически ненадежных зонах [1].

Важно подчеркнуть, что сейсмические воздействия передаются на здания, непосредственно, через его подземную часть, в первую очередь через фундаменты, соответственно, изолирование части надземного от подземной остается самым эффективным способом, позволяющим снизить сейсмические нагрузки на каркас. Данный способ защиты получил название сейсмоизоляции, применение которой позволит снизить амплитуду колебаний системы и снизить силы инерций в конструкциях зданий надземной части.

Стоит отметить, что больше 1500 лет строители отделяли конструкцию от ее основания с помощью использования в качестве промежуточного слоя прокладки из мягких материалов в уровне верха фундамента.

Так, к примеру, в III-VII вв. большинство крупнейших построек Средней Азии возводилось на песчаных подушках, а в X-XVII вв. стали применять подушки состоящий только из глины, однако с обязательным использованием слоя камыша в нижней части стены. Тем не менее, низкокачественные строительные материалы и несовершенная технология влекли за собой недолговечность данных сооружений.

В начале XX вв. случилась серия катастрофических землетрясений в Токио, Сан-Франциско, что послужило новым толчком к изучению безопасности зданий от колебаемого грунта, в том числе это позволило инженерам и ученым выявить причину вернуться вновь к вопросам изоляции подземной части зданий, которая была бы способна сократить инерционные силы в надземных конструкциях.

Однако увеличением прочности и жесткости сооружений зачастую не всегда можно добиться нужной сейсмостойкости сооружений, соответственно нужно знать и грамотно применять разнообразные методы сейсмозащиты.

Классификация систем и средств сейсмозащиты конструкций, зданий и сооружений была подробно рассмотрена и сформулирована Уздиным А.М., дополнена В.С. Семеновым и доработана Т.В. Верменко, за счет включения перспективных методов внешнего снижения сейсмических воздействий [9].

В наши дни насчитывают более 100 различных действующих патентов конструктивных решений сейсмоизоляции сооружений и зданий. Так, основные методы сейсмозащиты разделяют на следующие группы:

- Традиционные методы, которые применяются для основной массы конструкций, использующие увеличение прочности конструктивных элементов путем увеличения сечений, либо же с помощью использования материалов, которые отличаются повышенными прочностными характеристиками;
- Специальные методы, которые используют новейшие принципы, позволяющие обеспечить снижение сейсмических нагрузок на здания, а также которые применяются как для уникальных сооружений, так и для простых конструкций, при этом позволяя уменьшить затраты на строительство, одновременно увеличивая надежность возводимых зданий [9].

Стоит подчеркнуть, что большинство методов сейсмозащиты способствует снижению сейсмической реакции сооружений, как правило, в два, а то и три раза, что позволяет вести проектирование, при котором расчетная сейсмичность снижается на балл.

Абсолютно любые системы сейсмозащиты имеют свою область применения, которая зависит от основной конструкции сооружений, а также его этажности и характеристик различных землетрясений.

Говоря о системах сейсмоизоляции можно выделить следующие требования, которые к ним предъявляются:

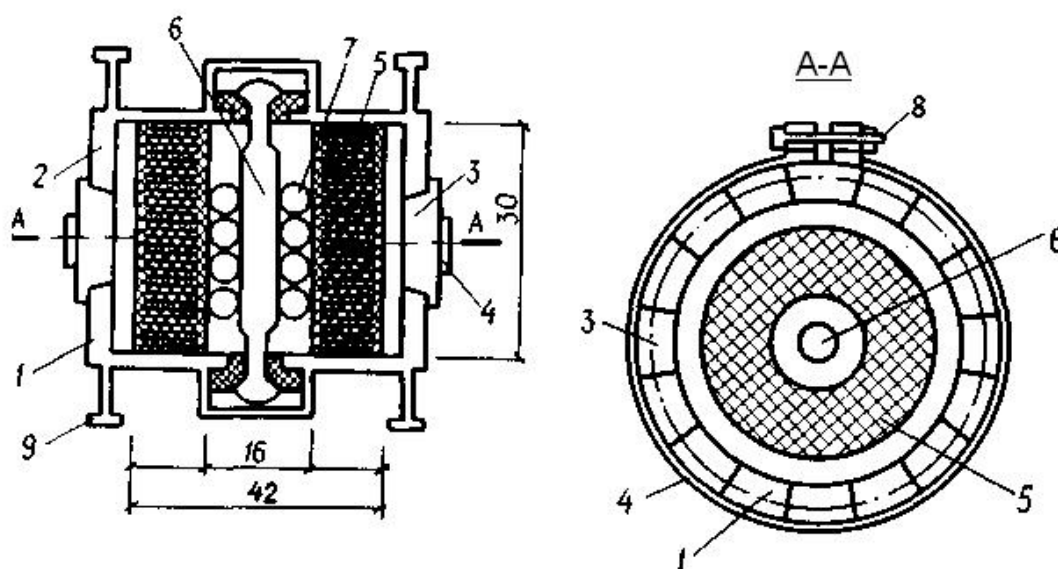
- обеспечение низкого уровня ускорений горизонтальных колебаний сооружений при сейсмических воздействиях;
- снижение сейсмических сил до конкретного уровня;
- обеспечение удовлетворительной адаптации конструкций при значительных смещениях, которые обычно происходят при сильном землетрясении;
- предотвращение усиления вертикальных колебаний сооружений при соответствующих колебаниях грунта;
- обеспечение общей устойчивости зданий при землетрясении;
- соблюдение строгих требований, которые предъявляются ко всем материалам, из которых были изготовлены элементы сейсмоизоляции, а также долговечность которых была проверена непосредственно на практике;
- обеспечение надежности работы в течение определенного времени под действием силы тяжести зданий, при воздействии ветра, а также при деформации основания;
- обеспечение в случае необходимости нетрудной заменяемости различных элементов системы сейсмоизоляции.

Существующие методы сейсмозащиты зданий по параметрам устойчивости и надежности можно разделить на следующие группы:

### 1. Сейсмоизолирующие системы с выключающимися связями.

Данный метод был разработан в ЦНИИСК им. Кучеренко, областью применения являются здания с жесткой конструктивной схемой гибкого первого этажа. Идея работы заключается в снижении жесткости несущих конструкций гибкого этажа в случае землетрясений, что позволит адаптировать несущую основу здания к сейсмическим воздействиям.

Выключающиеся элементы представляют собой, как правило, сварные стальные, бетонные шпонки, связевые металлические элементы, которые жестко прикреплены к основным несущим конструкциям в пределах гибкого этажа, обеспечивая связь вышележащих этажей с фундаментом до момента наступления землетрясения. Далее, во время движения земной коры и превышения амплитудой пороговых значений, выключающиеся элементы разрушаются, при этом снижая жесткость конструкций гибкого этажа (рис 1.) [1].



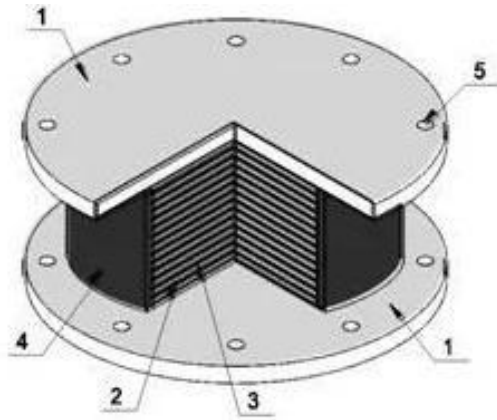
**Рисунок 3. Конструктивная схема опоры с выключающимися связями жесткости (с включающимися податливыми слоистыми опорами). 1 – нижняя часть кожуха; 2 – верхняя часть кожуха; 3 – клин; 4 – запорное кольцо; 5 – резинометаллическая опора; 6 – стабилизирующий стержень; 7 – стабилизирующие кольца; 8 – болтовое соединение запорного кольца; 9 – анкер.**

Важно отметить, что данные системы относятся к классу нестационарных динамических систем, позволяющих в процессе колебаний под действием определенных динамических нагрузок изменять свою характеристику во времени.

Таким образом, система с выключающимися связями является весьма надежной и эффективной в местах, где велика вероятность землетрясения с преобладанием высокочастотных колебаний.

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

Данная опора состоит из нижней (втулка с резьбой и болт) и верхней (опорная плита, обойма и конический сердечник) части, которые образуют замкнутую камеру с промежуточной подушкой из шариков и смазки (рис. 2). Нижняя часть служит для снижения трения, обеспечивает защиту от коррозии, создает напряжение в промежуточной подушке, при этом верхняя часть снижает удельное давление на внутреннюю поверхность опоры. Жесткость верхней части опоры имеют ребра и полость, которые полностью заполнены бетоном. Более того, опоры закреплены в опорные плиты с помощью анкерных болтов [3, 11, 2].



**Рисунок 2. Резинометаллическая опора: 1 – опорные пластины; 2 – резиновые прокладки; 3 – стальные пластины; 4 – наружная защитная резиновая оболочка; 5 – монтажные отверстия.**

Отметим, что специалисты из Новой Зеландии утверждают, что более эффективными являются именно те резинометаллические опоры, в конструкциях которых имеются поглотители колебаний в виде вертикального цилиндрического свинцового сердечника. Данный сердечник способен обеспечить высокую жесткость в вертикальном направлении.

Стоит подчеркнуть, что в настоящее время данная система сейсмоизоляции считается наиболее экономичной.

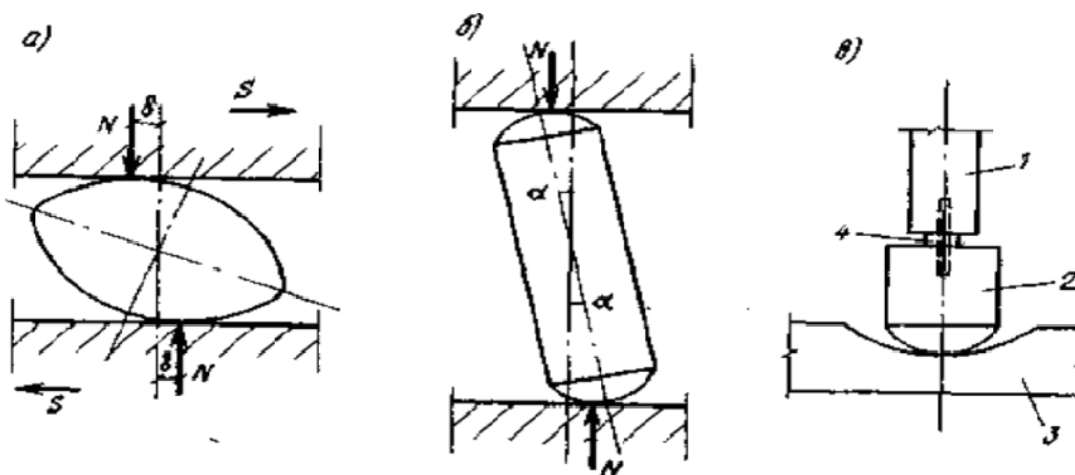
Таким образом, применение резинометаллических опор по методу Ю.Д. Черепинского позволяет обеспечить надежную защиту различных конструкций от сейсмических толчков.

### **3. Системы сейсмозащиты с кинематическими опорами.**

Опорные кинематические фундаменты обеспечивают высокий уровень снижения инерционных сил в конструкциях зданий, создавая шов скольжения между опертым на грунт фундаментом и надземной частью здания,

соответственно разделяя их перемещения в случае сейсмических воздействий (рис. 3).

Так, при существенных горизонтальных подвижках грунта опорные элементы значительно снижают перемещения надземной части здания относительно грунта.



**Рисунок 3. Кинематические опоры. а - эллипсоиды вращения; б - стойка со сферическими поверхностями торцов; в - опора конструкции. 1 - колонна; 2 - подколенник; 3 - опорная плита; 4 - центрирующая шайба.**

Однако к недостаткам метода можно отнести то, что в связи с увеличением этажности и, следовательно, массы здания, возникают концентрации напряжений в области установки опор, вследствие чего нужен значительный расход материалов для повышения надежности. Так, при высокой этажности устойчивость опор может быть неэффективна [13,7].

Более того, могут возникнуть существенные местные напряжения при наклонах стоек, соответственно, это влечет за собой затраты на дополнительную арматуру, а также рост расхода стали.

Таким образом, все вышеперечисленное, а также повышенная точность при монтаже влечет за собой увеличение трудоемкости и стоимости конструкций.



#### **4. Метод разделения инерционных масс.**

Основная задача метода состоит в сохранении эксплуатационных свойств и качеств конструкций и элементов зданий после землетрясений. Так, при землетрясении, здание в связи с инерционностью находится в спокойном состоянии и катится на плоскостных подшипниках качения. Нижняя часть фундамента объединена грунтовым соединением, в то время как целостность и жесткость верхней части обеспечивается диском покрытия цокольной части фундамента.

Кроме того, элементы качения располагаются по главным осям конструкции соответственно, здание зафиксировано в основных осях, а перекрестное положение осей приводит к вынужденному перемещению сооружения в горизонтальной плоскости относительно земной коры во всевозможных направлениях на  $360^\circ$  строго в пределах уступов фундаментов.

Таким образом, такое расположение элементов качения позволяет исключить кручение и срыв зданий и сооружений с фундаментов, что говорит об эффективности и надежности метода инерционных масс.

#### **5. Метод со скользящим поясом.**

Сооружения на сейсмоизолирующих опорных конструкциях скользящего типа характеризуются жесткой связью с основанием с помощью сил сухого трения, но лишь до момента достижения порога срабатывания сдвигающей силы от сейсмического воздействия. В свою очередь, пороговое значение имеет прямую зависимость от формы поверхностей материалов и трения, которые используются в скользящем поясе.

Необходимо отметить, что поглощение энергии колебаний и рассеяние ее при относительном проскальзывании опорных элементов сейсмоизолирующего устройства является важным в данной работе [14].

Стоит отметить, что такие сейсмоизолирующие устройства можно разделить на 2 группы поверхностей скольжения в зависимости от её формы:

- невозвратные (данная конструкция пребывает в состоянии устойчивого равновесия не только до сейсмических воздействий, но и после взаимного смещения конструкций пояса);

- конструкции с гравитационной восстанавливающей силой (данная форма способна вернуть сместившееся вследствие сейсмического толчка сооружение в исходную точку устойчивого равновесия за счет возникновения гравитационной восстанавливающей силы).

Таким образом, применение сейсмоизолирующего скользящего пояса исходя из результатов экспериментального проектирования и строительства позволит:

- существенно сократить расход стали (на 7-10 кг/м приведенной общей площади, либо на 7-12%;

- уменьшить сметную стоимость сооружений на 3-6%;

- увеличить область применения типовых конструкций с помощью застройки районов с высокой сейсмичностью, а также повышения высоты зданий и сооружений с использованием тех же конструкций.

## **6. Системы с повышенным демпфированием.**

Демпфирование – система, позволяющая переводить кинематическую энергию колебаний системы в другие виды энергии. Так, чтобы использовать данное свойство энергии, специальные устройства включают в конструкцию сооружений, для того, чтобы увеличить рассеивание энергии для снижения ускорений и инерционных сил в системе.

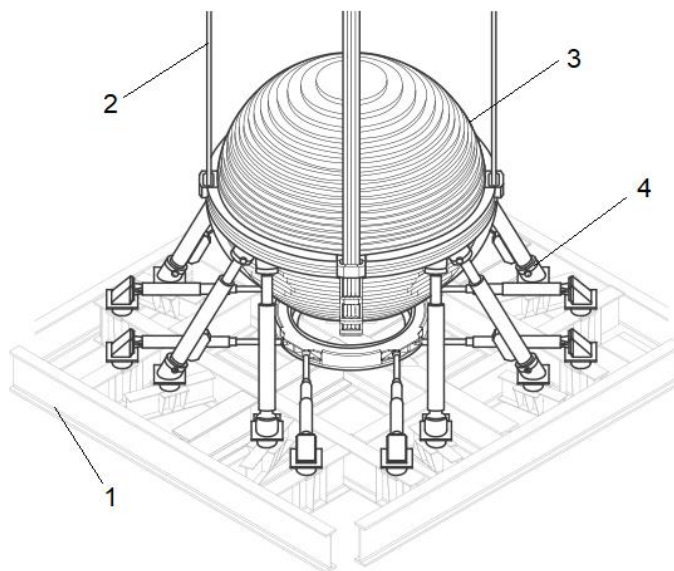
К недостаткам же данной системы можно отнести то, что в сооружениях с демпфирующими устройствами во время сейсмических воздействий возникают остаточные деформации, соответственно, изменяется положение конструкции на фундаменте, вследствие чего сооружения требуют восстановления

первоначального положения после землетрясения. Более того, значительно затрудняет расчет нелинейный характер работы системы.

Кроме того, наиболее эффективным способом снижения амплитуды колебания сооружения при землетрясении возможно с помощью вязких демпферов промышленного изготовления.

## 7. Динамические гасители колебаний.

Принципом действия динамического гасителя колебаний является передача энергии от сооружения гасителю, которые представляет собой массу, соединенную прочной связью с объектом защиты (рис. 4). Применение подобных систем характеризуется точным вычислением параметров динамического гасителя (массы, жесткости связей, высотной привязки). Это позволит обеспечить противофазность колебаний конструкции и динамического гасителя колебаний, что в итоге приведет к значительному снижению амплитуд колебаний и инерционных сил.



**Рис. 5. Конструкция демпфера.**

**1 – бамперная система; 2 – кабель; 3 – массовый блок; 4 – демпфер.**

Ярким примером использования динамических гасителей колебаний является небоскрёб Тайбэй 101, где между 87-м и 91-м этажами подвешен 660-тонный шар, являющийся средством борьбы с колебаниями здания во время ураганов и землетрясений.

Маятник колеблется, компенсируя перемещение конструкции от порыва ветра и колебания земли. Так, благодаря несовпадению колебаний конструкции и самого маятника по фазе, в момент перемещения верха здания, маятник движется в противоположном направлении. Таким образом, снижается амплитуда колебаний и, соответственно, дополнительные усилия в конструкциях.

Стоит отметить, что демпфер – это механизм, который корректирует собственные формы колебаний. Главная его характеристика состоит в том, что он обладает большой массой, которая может стабилизировать сооружения при динамических ветровых и сейсмических воздействиях.

Представленный в статье обзор методов сейсмозащиты указывает на то, что и в нашей стране, и за рубежом было предложено и разработано достаточное количество различных систем активной сейсмозащиты зданий. У ряда данных систем имеется практическое воплощение на некоторых объектах. Таким образом, это позволяет грамотно оценить их технологичность для строительного производства. Кроме того, вибрационные испытания осуществлялись на большом ряде объектов, это помогло собрать экспериментальные данные о поведении этих систем при динамических воздействиях.

Также, необходимо отметить, что в настоящее время одним из перспективных методов считают использование сразу нескольких систем сейсмозащиты (это так называемые комбинированные системы), что в свою очередь позволяет комбинировать их преимущества и ослабить влияние

неблагоприятных свойств, которые могут быть присущи отдельно каждой системе.

В завершении стоит сказать, что в случае, если существует вероятность землетрясения со значительными вертикальными ускорениями, важно проектировать системы активной сейсмозащиты, учитывая как вертикальные, так и горизонтальные колебания.

Занимаясь вопросом применения сейсмозащиты, стоит учитывать, что лишь не так много времени назад были начаты детальные исследования активных систем сейсмозащиты. Следовательно, полученных в результате проведенных исследований данных еще недостаточно для того, чтобы получить окончательные данные об эффективности и надежности вышеперечисленных методов.

Кроме того, снижение материальной составляющей на восстановление сооружений после предполагаемого землетрясения является актуальной задачей современного мира. Ее решение может осуществиться двумя способами:

- обеспечение сейсмостойкости зданий и сооружений на стадии проектирования;
- выполнение определенных указаний и конструктивных требований, когда ведутся строительные работы.

В любом случае, выбор определенной системы сейсмозащиты, как и конструирование сооружений должны быть произведены только при условии, что специализированные проектные и научные организации принимают в этом участие.

В заключении следует подчеркнуть, что на стадии проектирования необходимо обязательно осуществлять пространственный расчет конструкций минимум по двум вычислительным комплексам, применяя при этом различные варианты расчетных моделей (это необходимо для предотвращения возможных ошибок из-за математических погрешностей при расчете).

## Список литературы

1. Абовский, Н. П. Системный подход к сейсмоизоляции зданий при сложных грунтовых условиях / Н. П. Абовский, В. И. Палагушкин, М. В. Лапеев // Жилищное строительство, 2010. - № 3. - С. 7-10.
2. Аксенов В. Н., Аксенов Н. Б. Обследование и оценка технического состояния строительных конструкций. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2018. – 111 с.
3. 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.
4. Бабаларян, А. О. Инновационные методы сейсмозащиты зданий / А. О. Бабаларян, Р. А. Польщиков, О. А. Усольцева // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР В XXI ВЕКЕ. – 2017, Т. 2. – С. 132-137.
5. Выскребенцева, М. А. Методы сейсмогашения и сейсмоизоляции с применением специальных устройств / М. А. Выскребенцева, Ву Ле Куен // Инженерный вестник Дона. – 2019, №1. – С. 23-53.
6. Демьянович М. Г., Имаев В. С., Смекалкин О. П. Словарь терминов и понятий по сейсмогеологии, сеймотектонике и сейсмическому районированию. Иркутск-Нерюнгри: Институт Земной коры СО РАН, 2008. – 73 с.
7. Несветаев Г. В., Виноградова Е. В., Лопатина Ю. Ю. К вопросу выбора критериев эффективности бетонов // Научное обозрение - 2016, №2. – С. 34-41.
8. Подшивалов, М. Е. Активные системы сейсмической защиты / М. Е. Подшивалов, А.В. Изохватов // World science: problems and innovations. Сборник статей победителей VII Международной научно-практической конференции. – 2017., С 71-74.
9. Семенов, В. С. Современные системы сейсмозащиты зданий и сооружений. Классификация, основные конструктивные решения / В. С. Семенов, Т. В. Верременко // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. - 2012., Т. 12. № 6. - С. 65-70.
10. Сейсмостойкость зданий и сооружений: учебное пособие / сост. Л.С. Чигринская. Ангарская гос. тех. акад. Ангарск: Изд-во АГТА. - 2009, 107 с.
11. Смирнов, В. И. Сейсмоизоляция - современная антисейсмическая защита зданий в России / Смирнов В. И. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2013, № 4. - С. 41-54.
12. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах: Актуализированная редакция СНиП II-7–81. Министерство регионального развития РФ. М. – 2011, 88 с.
13. 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. - 2005. Том 2, 270 с.

14. Юсупов А. К. Проектирование сейсмостойких зданий на кинематических опорах. Махачкала: Издательство «Лотос» - 2006, 231 с.