

Российские и зарубежные нормы сейсмического проектирования зданий и сооружений

А.М. Шаторная¹, В.А. Тарасов², А.В. Барабаш³, О.В. Жувак⁴, В.А. Рыбаков⁵

¹⁻⁵ Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье УДК 699.841

Аннотация

Несмотря на постоянный пересмотр нормативной документации по строительству в сейсмически опасных условиях, проблема обеспечения безопасности зданий и сооружений при землетрясении является актуальной. В статье проведено сравнение российских методов сейсмических расчетов зданий и сооружений и методов, которые используются в странах с развитым сейсмостойким строительством, таких как США, КНР, Япония. Также были изучены нормы, используемые в странах Евросоюза. В статье рассмотрены такие ключевые положения нормативных документов, как разработанные карты сейсмического районирования, учет местных геологических условий, спектры ответов, сдвиговые деформации и методы анализа и расчета конструкций. В результате проведенного сравнения были выявлены существенные различия, которые могут значительно влиять на корректность определения сейсмостойкости конструкций. Было установлено, что необходим серьезный пересмотр нормативной базы Российской Федерации для обеспечения безопасности населения, проживающего в сейсмоопасных районах.

Ключевые слова: гражданское строительство, нормативные документы, безопасность зданий и сооружений, сейсмические воздействия, сейсмостойкость, динамика сооружений, землетрясения

1. Введение

Ежегодно в мире происходит 1-2 катастрофических землетрясений, 10-15 землетрясений регионального масштаба, 100-150 - с разрушительными толчками. Помимо многочисленных человеческих жертв, такие природные бедствия наносят огромный экономический ущерб странам в сейсмически-активных поясах Земли. Уже более ста лет изучаются вопросы сейсмологии и теории сейсмостойкого строительства с целью минимизации последствий землетрясений. К концу 19 века были достигнуты значительные продвижения в этих направлениях, что положило начало развитию новых численных методов оценки сейсмического воздействия на протяжении 20 века.

Сейсмическое воздействие – это специальный термин, который в практике расчетов конструкций на сейсмостойкость обозначает колебательное движение грунта при землетрясении, создающее кинематическое возбуждение колебаний строительных конструкций [1].

Для защиты зданий от такого вида воздействий производят расчеты на прочность и устойчивость, применяют методы сейсмоизоляции зданий, используют особые конструктивные и объемно-планировочные решения при проектировании. Расчет на сейсмическую устойчивость относится к особым видам нагрузок, однако выделяется среди прочих своей сложностью для точного воспроизведения на практике. Сейсмическое воздействие не поддается точному предсказанию величины своей частоты и интенсивности, а также места расположения эпицентра, так как землетрясения носят случайный характер. Такая наука как сейсмология занимается изучением распространения сейсмических волн и применяет полученные данные для прогнозирования подземных толчков.

Несмотря на такую продолжительную работу, в современном мире до сих пор почти невозможно предсказывать землетрясения заблаговременно для полной эвакуации людей. Об этом можно судить на примере двух крупных землетрясений 2017 года в Иране и Мексике, в которых пострадало более 15 тысяч человек. Сейсмолог Пол Эрли однажды точно подметил: «Обычно людей убивают не сами землетрясения, а здания». Именно поэтому инженеры и ученые уделяют особое внимание теории проектирования сейсмостойких зданий и сооружений, которые не станут угрозой для жизни и здоровья населения в чрезвычайной ситуации.

В настоящее время около 30 наиболее экономически развитых стран мира (в том числе Россия) используют собственные нормы, которые регламентируют основные правила строительства в сейсмически опасных районах. В частности, для России и близлежащих стран эта проблема является жизненно важной в районах, расположенных в средиземноморско-азиатском и тихоокеанском поясах Земли: Кавказские горы и Камчатский край. Несмотря на разнообразие существующих строительных норм, все они базируются на основных теориях сейсмостойкости, развитие которых началось в 20 веке.

Первые шаги на пути точной оценки силы землетрясений были сделаны японским ученым Ф. Омори. С 1900 года в Японии стала применяться его шкала для оценки интенсивности сейсмических воздействий. После одного из крупнейших в истории землетрясений в 1906 года в Сан-Франциско в США стали проводиться масштабные исследования для выявления причин разрушения зданий и сооружений. Ф. Омори в свою очередь выдвинул первую теорию сейсмостойкости и провел ряд экспериментов по определению сейсмических сил в кирпичных столбиках, расположенных на платформе, перемещающейся горизонтально по гармоническому закону [2]. По его теории сооружение считается расположенным на сейсмической платформе, совершающей заданные колебания. В своем эксперименте Омори доводил кирпичные столбики до разрушения, проводя фиксацию наибольших ускорений и определяя соответствующие инерционные силы. При этом, в соответствии с его теорией, столбики считались недеформируемыми. В этом случае все точки сооружения считаются движущимися одновременно и имеют характер колебания подошвы сооружения.

После разрушительного землетрясения в городе Канто (Япония) в 1923 году Ф. Омори опубликовал первый в мире метод расчета сейсмостойких конструкций, основанный на его теории и проведенных экспериментах. Такая теория получила название «статической», так как согласно ей условная платформа и сооружения считаются жесткими и совершающими перемещение в заданном направлении с одним и тем же ускорением. Эта теория обладала рядом недостатков, а исследования показали, что поведение сооружения при землетрясении существенно зависит от характера колебаний во времени и динамических характеристик сооружения (собственных частот и собственных форм колебаний), то возникла необходимость о пересмотре данной теории и впоследствии она перестала использоваться.

Кроме того, основа статической теории, предполагающая недеформируемость сооружений, ограничивала возможности применения этой теории до достаточно жестких сооружений. Поиски новых методов, которые учитывали бы деформативные свойства конструкций, привели к появлению динамической теории.

В 1923 году японским ученым М. Мононобе была выдвинута динамическая теория расчетов взамен статической. Согласно ей расчетная модель здания или сооружения представляет собой консольный стержень с сосредоточенной массой на конце, точно опирающийся на основание. Сооружение считается расположенным на платформе, которая движется по определенному закону. Это позволяло брать в расчет

упругие свойства сооружений. При этом сооружения и его основания считаются деформируемыми, а перемещения основания носят колебательный характер.

Динамическая теория получила широкое распространение в мире. Однако появились предложения по её дальнейшему развитию. В 1933 г бельгийско-американский учёным Био М. Э впервые была выдвинута идея спектрального метода определения сейсмических сил. В начале 40-х годов 20 века в США был проведен масштабный инженерный анализ поведения сооружений при землетрясениях 1923 года в Сан-Франциско и 1933 года в городе Лонг-Бич. В результате был разработан новый спектральный метод в рамках динамической теории расчета сейсмостойкости. Чуть позже, в середине 40-х годов ученый из СССР Корчинский И.Л. разработал теоретические основы этого метода, взяв за основу реальные акселерограммы землетрясений. Это положило начало линейно-спектральной динамической теории расчета, которая используется практически во всех нормах расчета ведущих стран мира. В 21 веке благодаря появлению мощных вычислительных комплексов стало возможно выполнение расчетов на основе цифровых акселерограмм, численного преобразования Фурье и т.п.

Помимо линейно-спектрального метода расчета динамической теории, существуют и другие методы, такие как волновая теория, стохастическая теория, энергетический метод. Волновая теория является самой сложной и трудоемкой, так как базируется на сложном математическом алгоритме и нуждается в привлечении численных методов интегрирования уравнений движения. Её задача сводится к определению НДС в любой точке сооружения, в любой момент времени прохождения сейсмических волн. Стохастическая основана на вероятностных методах оценки. В большинстве современных норм ведущих стран, расположенных в сейсмоопасных районах, расчеты проводятся на эквивалентную статическую нагрузку, используя при этом основы динамического метода. В ходе расчетов определяются сейсмические нагрузки на каждый элемент и сравниваются с их несущей способностью по общим правилам расчета строительных конструкций. Такой подход к расчету сейсмостойкости зданий и сооружений получил название условно-статического метода расчета на сейсмические воздействия.

2. Обзор литературы

На сейсмостойкость сооружения оказывает влияние несколько основных факторов: конструктивные особенности, грунтовые условия, способы сейсмоизоляции и методы расчета здания на сейсмические воздействия.

Анализ эффективности конструктивных решений здания при землетрясении – первый важный аспект в работе проектировщика с таким видом нагрузок. Результаты проводимых исследований и натурных испытаний [3-7] освещают решения для сейсмостойкого строительства. В работе О.В. Мкртычева, В.Б. Дорожинского, Д.С. Сидорова [8] сравниваются результаты расчетов двух конструктивных схем зданий: с ядром жесткости и без. Однако, в обоих случаях было выявлено снижение сейсмостойкости здания из-за применения понижающего нормативного коэффициента K_1 , который отвечает за нелинейные деформации. Его использование считается необоснованным и опасным, так как его использование может повлечь за собой отрыв диафрагмы жесткости от основания.

Многочисленные исследования посвящены способам сейсмозащиты [4, 9-17]. Особый способ сейсмозащиты зданий - использование подвесных конструкций в строительстве. В статье Т.А. Белаш и П.Л. Рыбакова [14] произведен сравнительный расчет в ПК SOFiSTiK для пяти видов конструктивных схем здания, в одной из которых применяются подвесные конструкции. Для оценки результатов был выбран период собственных форм колебаний. Результаты расчетов показали, что подвесные конструкции позволяют увеличить период колебания у зданий в несколько раз в сравнении со зданиями с традиционными конструктивными схемами. Как известно, увеличение периода колебаний позволяет снизить сейсмическую нагрузку на несущие конструкции. В связи с этим был сделан вывод об эффективности применения подвесных инерционных систем в качестве сейсмозащиты.

Существуют работы, посвященные поиску альтернативных решений для строительства сейсмостойчивых зданий, одним из которых является применение легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК). В статье [18] М. Селикэг (M. Celikag) и С. Наими (S. Naimi) произвели сравнение железобетонного каркаса и каркаса из ЛСТК при строительстве средневысотных зданий на севере Кипра. В результате анализа плюсов и минусов обеих конструкций были выявлены преимущества ЛСТК, такие как: простота монтажа, малый вес несущих элементов, а также лучшая сейсмостойчивость, которая достигается благодаря эластичности стального каркаса, в котором для достижения этого свойства применяются дополнительные связи [19].

Несмотря на разнообразие исследований в области сейсмозащиты и разработке новых конструктивных решений, основное внимание уделяется поиску новых методик расчета и анализу существующих нормативных документов, так как основная проблема обрушения зданий кроется именно в них. В работах [20-24] рассматриваются экономические последствия обрушения зданий от землетрясений и проблемы в нормативно-правовой базе России, которые необходимо решить для улучшения безопасности в сейсмоопасных регионах. Существуют исследования, посвященные особенностям и проблемам сейсмоопасных регионов России и

ближайших стран-соседей [25-30]. Для отдельных регионов России, такие как Сибирь и Дальний Восток так же актуальны вопросы, связанные с влиянием интенсивности снеговой нагрузки на период колебания зданий [31-33].

Все исследования сходятся в выводах о необходимости совершенствования существующих норм и методик сейсмических расчетов. От выбора метода зависят полученные усилия от сейсмического воздействия, на основе которых проектируются несущие конструкции. Во многих современных нормах расчетов наиболее распространенным является линейно-спектральный метод. Исследования последних лет дают выводы о том, что этот метод не так совершенен, каким его считали, и многие вопросы требуют детального исследования, после чего требуется совершенствование существующих норм в ведущих странах мира, в том числе и в России [8, 15, 30, 33-42]. Предлагается также усовершенствовать подход к выбору исходных нагружений [43-44], а также улучшить расчеты при оценке сейсмостойкости уже существующих зданий [45-48]. Соснин А.В. [34] предлагает уточнить значение коэффициента K_w , который используется в СП 14.13330.2014 при линейно-спектральном методе расчета многоэтажных железобетонных зданий массового строительства. В статье были рассмотрены параметры, характеризующие их способность к рассеянию энергии колебаний. Было предложено уточнять вязкое затухание с учетом значения периода собственных колебаний T , а суммарное затухание – с учетом фактического срока эксплуатации. В другой работе [46] Соснин А.В. представляет анализ результатов расчёта существующего жилого 15-этажного здания с диафрагмами жёсткости. При разработке проектного решения здания применялся только линейно-спектральный метод, а при выполнении сопоставительного расчета использовался метод нелинейного статического анализа. Результаты сравнения показали, что при оценке упругопластической реакции здания можно выявить недостаток сейсмостойкости.

Исследование, проведенное Г.А. Джинчвелашвили и С.В. Булушевым [36] подтвердило выводы по поводу коэффициента K_1 [8]. Авторы провели сейсмический расчет 44-х этажного здания с использованием упругого динамического метода и сравнили с результатами, полученным расчетом по спектральному методу. Последний дал более высокие значения откликов по сейсмической нагрузке. Кроме этого было проанализировано влияние геометрической нелинейности на потери устойчивости. Так как при землетрясении любая конструкция может повести себя непредсказуемо, необходимо использовать несколько методов расчетов, отличных друг от друга и тщательнее анализировать ее поведение в процессе землетрясения.

В работе [49] рассмотрено влияние самого здания на исходные внешние сейсмические нагрузки. В современных нормах это влияние не учитывается, что приводит к снижению сейсмостойкости и прочности сооружений. Во избежание этого, необходимо использовать в расчетах наихудшие акселерограммы применительно для конкретного сооружения.

Б.С. Ордобаев [33] также провел исследование относительно методов расчета и рассмотрел новые концепции разрушения зданий и сооружений при землетрясениях. В работе подробно проанализирована колебательная модель землетрясения, взамен которой предложена импульсно-волновая (толчковая) модель землетрясения. Для подтверждения этого основополагающего факта и опровержения колебательной модели авторы предлагают впервые провести качественно новый эксперимент, а именно провести прямые, а не косвенные измерения сейсмических напряжений в несущих элементах зданий. После этого предлагается сравнить их с напряжениями, которые до сих пор определяются лишь косвенно путем расчетов, проведенных на основе анализа записанных при этом акселерограмм. Авторы утверждают, что реальные напряжения, создаваемые импульсами, окажутся существенно выше тех, которые будут вычислены на основе записанной здесь же акселерограммы.

Еще одним методом является энергетический метод динамического анализа сейсмостойкости сооружений, который набирает популярность в современных исследованиях. Например, в работе А.Д. Шивуа [50] проводится анализ подобных методов. Главная идея состоит в установлении эффективной связи между индексом интенсивности землетрясения, поступившей в систему энергией и фактическим повреждением сооружения. В статье проводится сравнение некоторых предложений по количественной оценке сейсмической энергии, поступившей в систему.

Проведены разнообразные расчеты зданий и сооружений с применением новых методов расчетов [49, 51-65]. Отдельное внимание уделяется взаимодействию грунтов с основаниями, учету особых геологических условий [66-70]. Изучаются особенности их сейсмических свойств и дается оценка их влияния на сейсмостойкое проектирование и строительство. В работе [71] выявлено, что для расчета на сейсмическую нагрузку необходимо учитывать совместную работу здания и основания. Для этого нужно использовать численные методы моделирования, такие как метод конечных элементов. Были рассмотрены вопросы моделирования зданий и оснований и анализ сходимости МКЭ.

Кроме исследований, посвященных методам расчета, существуют статьи о динамических испытаниях [12, 72], которые так же важны в теории сейсмостойкого строительства. Например, в работе группы исследователей ЛССИМС ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» [12] представлены результаты динамических испытаний на сейсмостойкость натурального фрагмента здания с сейсмоизоляцией. В результате натурных испытаний зданий с резинометаллическими опорами и его высокой корреляцией с математическими расчетами был сделан вывод об эффективности их применения.

В результате проводимых расчетов и натурных испытаний делаются многочисленные выводы о необходимости изменять нормативную базу России касательно сейсмостойкого строительства и безопасности зданий и сооружений [73-84]. Для совершенствования российских норм Путин В.В. дал распоряжение об их актуализации в соответствии с лучшими мировыми практиками, в связи с чем возрос интерес к их анализу и сопоставлению. Кроме того, зарубежные исследователи также изучают нормы ведущих зарубежных государств [66, 85-92].

Несмотря на разнообразие нормативных документов, можно выделить общие положения и принципы построения, характерные для многих документов, такие как: характеристики расчетов сейсмостойкости, уровни проектирования и сейсмической опасности, учёт местных инженерно-геологических условий, сдвиг и сейсмические силы, спектры ответов, определение усилий в элементах конструкций.

Карты сейсмического районирования

В Российской Федерации существует общее сейсмическое районирование - разделение территории на районы, в которых ожидается землетрясение той или иной интенсивности. При разработке таких карт учитывается историческое и инструментальное наблюдение за сейсмической активностью, карты геолого-физических и тектонических разведок. В данный момент в РФ действует комплект карт общего сейсмического районирования ОСР-2015: карты уровня А, В и С. К картам А относят здания нормальной и пониженной ответственности, к картам В и С – повышенной.

Следует также отметить, что выпущен комплект карт ОСР-2016, в котором появилась ещё одна карта – ОСР-2016-D, по которой рекомендуется строить здания наивысшей степени ответственности (например, АЭС). При этом, действующим комплектом карт является ОСР-2015, а карта D является необязательной на данный момент и носит рекомендательный характер для проектировщиков.

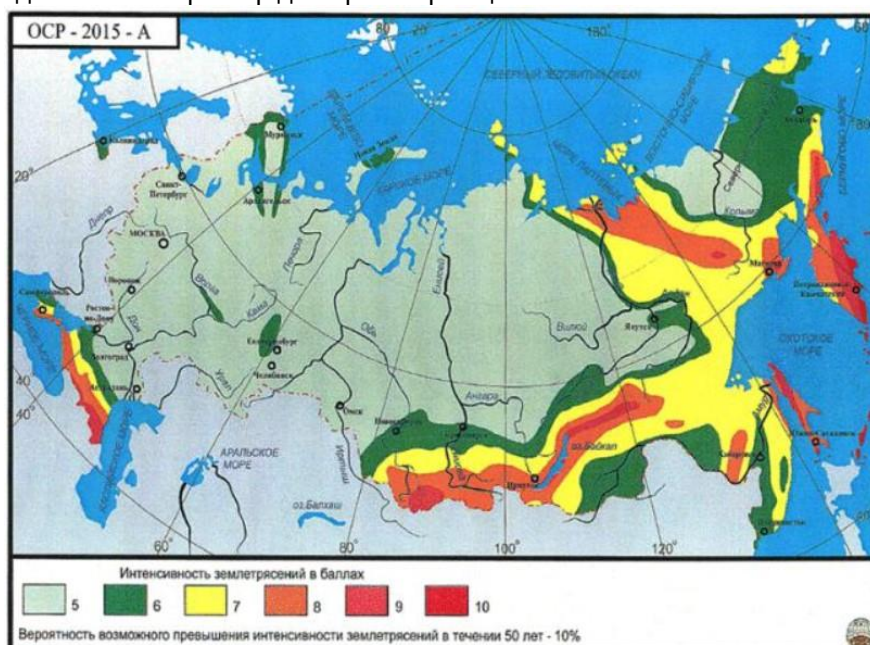


Рисунок 1. Карта ОСР-2015-А

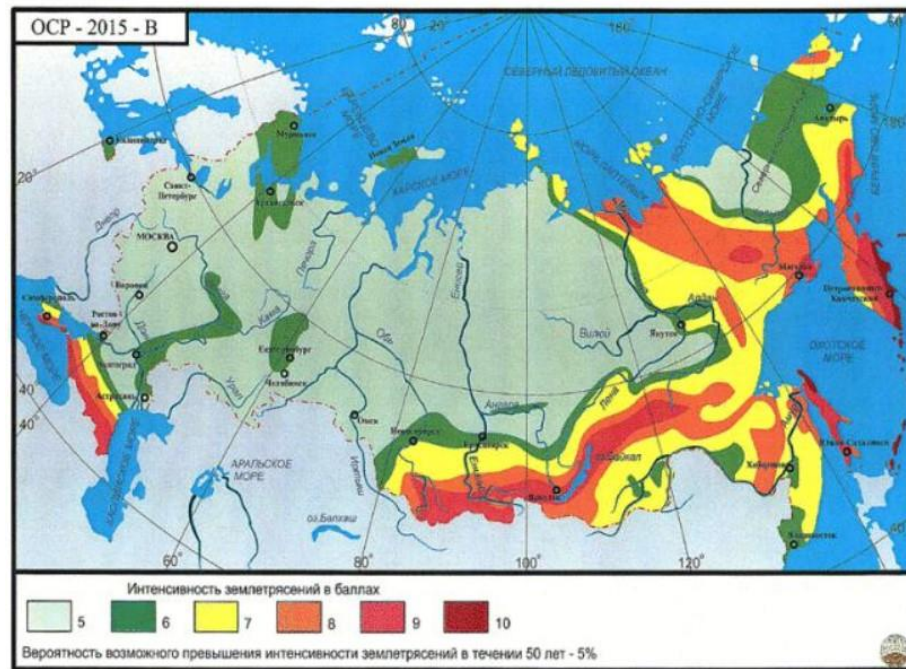


Рисунок 2. Карта ОСР-2015-В

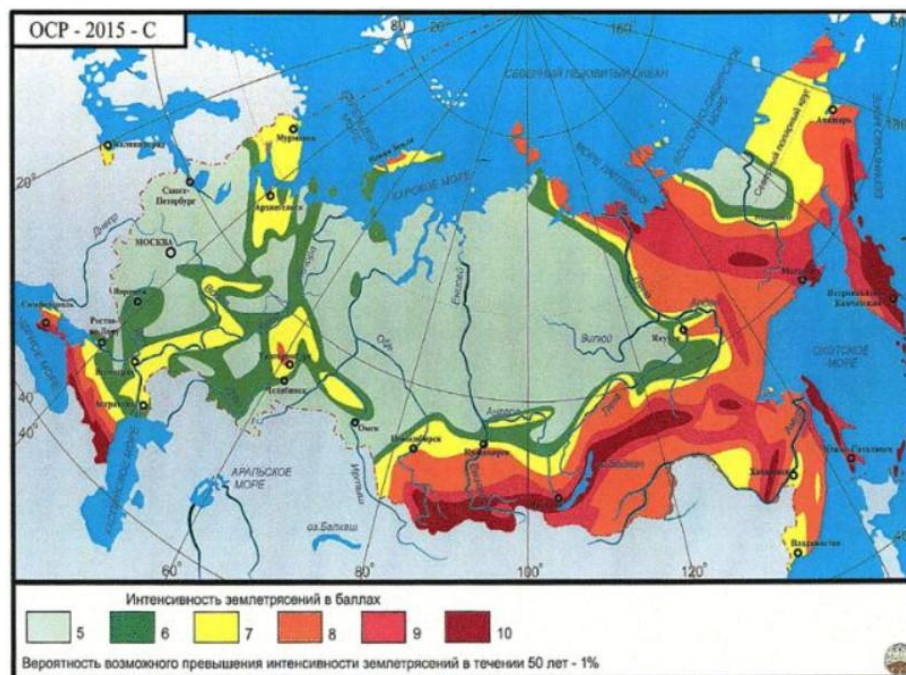


Рисунок 3. Карта ОСР-2015-С



Рисунок 4. Карта ОСР-2016-D

Таблица1. Превышение расчетной интенсивности землетрясения [93]

Карта	Вероятность превышений, %	В течение, лет	Период повторяемости сотрясений, лет
A	10	50	500
B	5	50	1000
C	1	50	5000
D*	0.5	50	10000

Первая карта сейсмического районирования (СР) была составлена Г.П. Горшковым в 1937. В СССР карты СР регулярно обновлялись каждые 10 лет, с учетом сведений о землетрясениях и в связи с совершенствованием методов оценки сейсмической опасности. В СССР карты СР-37, СР-49, СР- 57, СР-68 были разработаны в ИФЗ, а карта СР 78 была составлена в республиках и регионах, а потом сшита.

Необходимость совершенствования карты сейсмического районирования была связана с тем, что зоны, ранее считавшимися несейсмичными или слабосейсмичными, пострадали от значительных землетрясений. Вследствие того, что эти землетрясения происходили в тех районах, где не учитывалась сейсмостойкость в строительстве, разрушения часто оказывались катастрофическими. С начала 60-х годов XX века начали развиваться количественные методы оценки сейсмической опасности.

Несмотря на то, что в нашей стране были созданы первые нормативные карты сейсмического районирования (Г.П.Горшков и др.) и впервые разработаны методы вероятностных оценок сейсмических воздействий (С.В.Медведев, Ю.В. Ризниченко, В.И. Кейлис-Борок и др.), практически все карты сейсмического районирования (СР) территории бывшего СССР оказывались детерминистскими и не учитывали особенностей сейсмического режима регионов. В 1978 г. была выпущена карта общего сейсмического районирования территории СССР (СР-78), в которую были введены индексы 1, 2 и 3, якобы отражающие повторяемость сейсмических сотрясений один раз в 100, 1000 и 10000 лет. Как оказалось, карта оказалась недостаточно надежной и достоверной: она не отражала реальную сейсмическую опасность. В частности, в итоге подобной индексации выяснилось, что реальный инженерный риск, определяемый картой СР-78, не является единым для всех сейсмически опасных регионов страны.

В новых картах для оценки степени сейсмической опасности для объектов различных сроков службы и категорий ответственности была отражена расчетная интенсивность землетрясений, ожидаемых на данной местности с определенной вероятностью в течение заданного временного промежутка. В результате было принято решение создавать не одну карту, как ранее, а комплект вероятностных карт ОСР-97.

Основываясь на новой методологии, используя технологию современных географических информационных систем (ГИС) и полученную значительную базу исходных данных, в 1991-1997 гг. было

создано пять нормативных карт для разных периодов повторяемости сейсмических сотрясений - один раз в 100 лет (карта ОСП-97-0), в 500 лет, (карта ОСП-97-А), в 1000 лет (карта ОСП-97-В), 5000 лет (карта ОСП-97-С) и 10000 лет (карта ОСП-97-Д), что соответствует разной степени вероятности (39%, 10%, 5%, 1% и 0.5%) возможного превышения сейсмической интенсивности в течение 50 лет. Карта ОСП-97-А практически сразу же была выведена из-за слишком высокого риска, прогнозируемого этой картой.

Для территории Российской Федерации карты ОСП-97 стали нормативными, войдя в состав Строительных норм и правил (СНиП II-7-81*) "Строительство в сейсмических районах". В комплект карт вошли три (а не одна, как прежде) карты ОСП-97(А, В и С), предназначенные для обеспечения проектирования и сейсмостойкого строительства объектов разных категорий ответственности и сроков службы.

Карта ОСП-97-Д, предназначенная для безопасного размещения таких чрезвычайно ответственных объектов, как атомные станции, вошла в соответствующие нормы Минатома.

В нормативном документе Японии – Building Code of Japan (BCJ) - используется коэффициент зонирования сейсмической опасности Z [94]. При расчете сдвигового усилия коэффициент напрямую влияет на его величину. Ниже приведена карта для определения коэффициента.

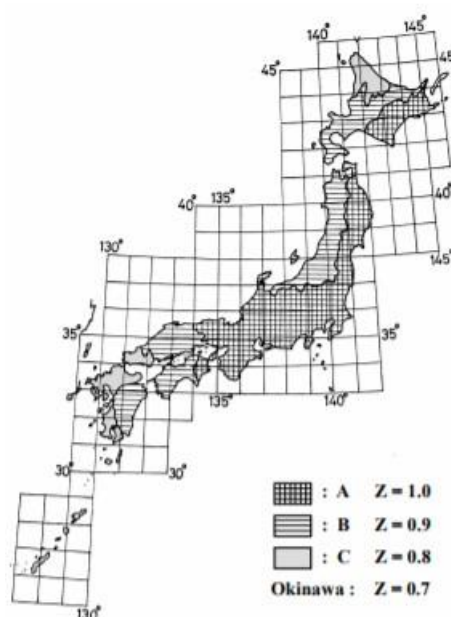


Рисунок 5. Определение фактора сейсмического зонирования Z [95]

В КНР используется районирование территории по ускорениям грунта и периодам спектра сейсмических откликов [96].

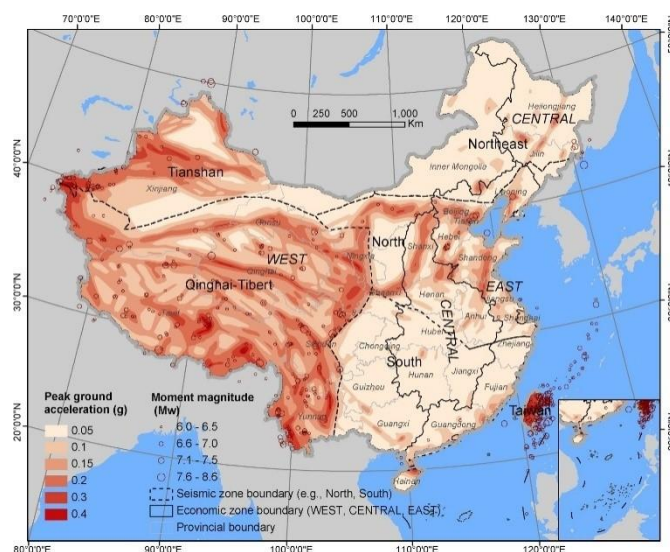


Рисунок 6. Районирование территории КНР по ускорениям грунта [97]

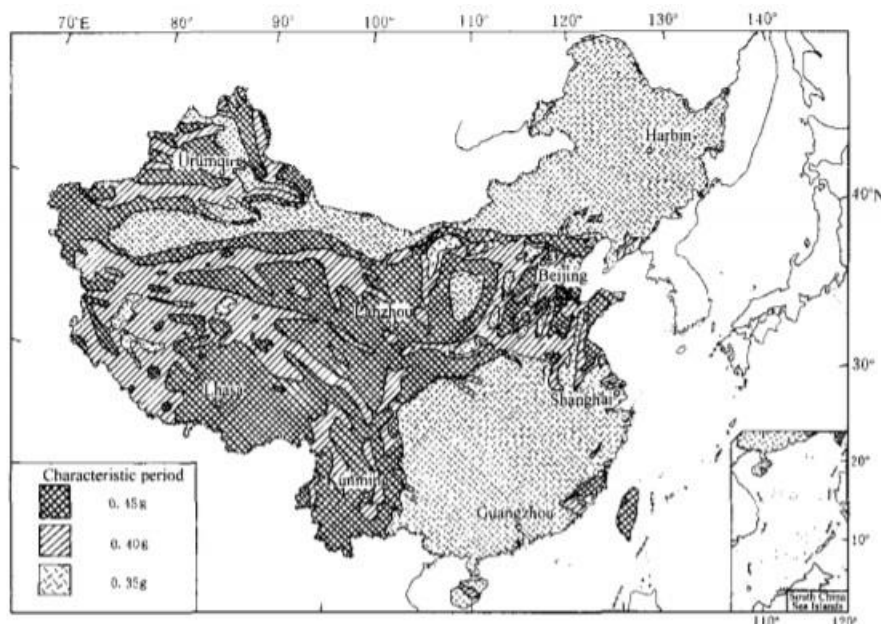


Рисунок 7. Районирование территории КНР по периодам спектра сейсмических откликов [97]

В Европе расчеты ведутся по Eurocode 8 (EN 1998). В странах, использующих данный нормативный документ, существуют собственные карты сейсмического районирования. Дифференцирование на зоны происходит по пиковым ускорениям грунта [98]. Ниже представлена карта на примере Великобритании.

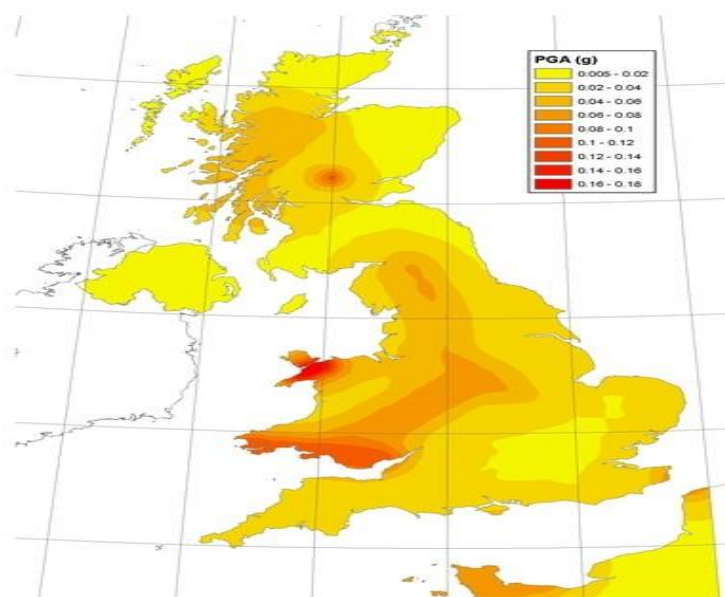


Рисунок 8. Районирование территории Великобритании в рамках Eurocode 8 по пиковым ускорениям грунта [99]

Учет инженерно-геологических условий

Основное требование сейсмостойкости фундаментов состоит в том, чтобы при совместном действии на них обычных нагрузок и сейсмических сил фундаменты не разрушились, не сдвигались и не опрокидывались, а основание не теряло устойчивости, тем самым обеспечивая общую устойчивость и прочность системы «сооружение - основание». К сейсмическим силам относятся силы взаимодействия между грунтом основания, испытывающим колебания при землетрясениях, и сооружением. По природе они являются инерционными, по характеру - динамическими.

Величина сейсмической нагрузки зависит не только от интенсивности колебаний, но и от динамических характеристик сооружения и его собственных колебаний, обусловленных начальными условиями движения грунта. Сейсмические воздействия, как и любые динамического характера нагрузки на основания, приводят к изменению свойств грунтов: увеличивается сжимаемость, особенно несвязных грунтов; уменьшается их предельное сопротивление сдвигу, вследствие вызванного вибрацией уменьшения трения между частицами.

Результатом передачи грунтом колебаний на сооружение являются колебательные движения как отдельных конструкций, так и сооружения в целом. При совпадении частот колебаний грунта с собственными частотами конструкций зданий возможны явления резонанса, представляющего угрозу прочности всего сооружения.

Установлено два главных причин влияния грунтовых условий на разрушительные последствия землетрясений. Первая связана с динамическими характеристиками грунтов в поверхностных слоях Земли, располагающихся на коренных породах глубинных слоев. Как показывают исследования, наличие более слабых грунтов над плотными породами приводит к увеличению интенсивности колебаний на поверхности. Вторая причина определяется несущей способностью самих грунтов.

Основными динамическими свойствами грунтов считают: сжимаемость и сопротивление сдвигу.

- Сжимаемость грунта - способность грунта уменьшаться в объеме под воздействием уплотняющих нагрузок называют сжимаемостью, осадкой или деформацией.
- Сопротивление сдвигу - предельным сопротивлением сдвигу (растяжению) называется способность грунта противостоять перемещению частей грунта относительно друг друга под воздействием касательных и прямых напряжений.

В общем случае различие интенсивности колебаний на грунтах разного состава объясняется их физическими свойствами, объективно влияющими на характер распространения сейсмических волн. Прежде всего, это плотность пород и скорость распространения волн. Известно, что амплитуда колебаний в среде обратно пропорциональна величине любого из этих параметров, в связи, с чем на более плотных коренных породах здания и сооружения страдают значительно меньше, чем на рыхлых и менее плотных.

На основании интерпретации многочисленных материалов по сейсмическому микрорайонированию С.В. Медведев (1962) разработал таблицу приращения сейсмической интенсивности в зависимости от литологического состава грунтов. Эта таблица приращения сейсмической интенсивности в зависимости от типа грунтов была уточнена и дополнена в СНиП II-7-81*.

С.В. Медведев подразделил грунты на 7 основных категорий. В зависимости от схожих динамических характеристик грунтов и их прочностных показателей, в нормах сейсмостойкого строительства выделяют несколько групп грунтов.

В настоящий момент на территории российской федерации действует свод правил [93], согласно которому грунты по сейсмическим свойствам делятся на не семь категорий, а на четыре. Классификация ведется по плотности грунта, скорости поперечных волн и отношению скоростей продольных и поперечных волн.

В Японии грунты разделяются на три типа. Классификация ведётся по базовому периоду колебаний грунта основания [95].

В нормах КНР грунты разделяются на шесть типов в зависимости от скоростей волн сдвига. При этом принимаются в расчёт слои грунта до глубины 30,5 м [96].

В Европейских нормах EN 1998 для учёта локальных сейсмогеологических условий грунты делятся на пять типов. Классификация грунтов ведётся по параметру "средняя скорость волн сдвига" [98].

В Американских нормах (NEHRP-1997, UBC-1997, ASCE-7) классификация грунтов производится по скоростям распространения волн сдвига. В этом случае грунты подразделяются на 6 типов. Так же, как и в Российских нормах, грунтовые условия определяются средними параметрами грунтовой толщи.

Таблица 2. Сводная таблица разделения грунтов по параметрам

Страна	Параметр классификации грунтов	Кол-во типов
РФ	Косвенно; словесное описание	4
Япония	Базовый период колебаний грунта	3
КНР	Скорость волн сдвига	6
Европа	Средняя скорость волн сдвига	5
США	Скорость волн сдвига	6

Влияние вышеперечисленных свойств грунтов на сейсмическое воздействие количественно отражается в том, какое приращение интенсивности дает определенное основание. В общем случае можно

условно выделить грунты высокой, средней и низкой сейсмической жесткости. В зависимости от жесткости грунта основания увеличивается, уменьшается или остается неизменной величина сейсмического ускорения основания.

Например, в СП.14.13330.2014 сейсмическое воздействие $0.2g$ (8 баллов) на грунтах средней сейсмической жесткости остается неизменным - $0.2g$; на скальных грунтах высокой сейсмической жесткости - уменьшается и становится $0,1g$; на мягких грунтах с низкой сейсмической жесткостью сейсмическое ускорение может увеличиться до $0,4g$. Количественно это отражается на изменении интенсивности на 1 балл: в сторону уменьшения - для грунтов 1й категории, в сторону увеличения - для грунтов 3 и 4 категории.

Следует отметить, что к грунтам 4й категории относят такие грунты, которые имеют свойство разжижаться при сейсмических воздействиях. Не рекомендуется использовать 4ую категорию грунтов в качестве оснований зданий и сооружений, несмотря на то, что нагрузка для таких грунтов увеличивается также на 1 балл, как и для 3й категории.

Для учета различных категорий грунтов в нормах всех стран предусмотрены различные спектры откликов, о которых идет речь в следующем пункте.

Спектры ответов

Спектр отклика (спектр ответа) однокомпонентной акселерограммы – это функция, связывающая между собой максимальное по модулю ускорение одномассового линейного осциллятора и соответствующий этому ускорению период (либо частоту) собственных колебаний того же осциллятора, основание которого движется по закону, определенному данной акселерограммой.

Ниже приведена сводная таблица учета спектра ответов.

Таблица 3. Сводная таблица различий норм по спектрам ответа

Страна	Спектр ответа	Обозначение
РФ	Спектральный коэффициент динамичности. Зависит от периода собственных колебаний здания или сооружения и от сейсмических свойств грунтов	β
Япония	Спектр ответа ускорения. Зависит от коэффициента зонирования сейсмической опасности, коэффициента усиления почвы и базового спектра ускорения скального грунта	S_a
КНР	Максимальный коэффициент горизонтального сейсмического воздействия	α_{max}
Европа	Спектр упругой реакции. Зависит от периода колебаний линейной системы с одной степенью свободы, расчетного ускорения грунта, граничных значений графика спектральных ускорений, значения, определяющего начало диапазона отклика постоянного смещения спектра, коэффициента грунта и коэффициента коррекции затухания	$S_e(T)$
США	Спектр ответа ускорения. Зависит от типа грунта и от периода	S_a

Практически во всех нормах разных стран спектры ответов строятся в виде семейства кривых, в зависимости от периода колебаний осциллятора для разных типов грунтов. В российских нормах для оценки сейсмических воздействий используется понятие «спектральный коэффициент динамичности» и приводится его график с двумя типами кривых – первая для I и II типа грунтов и вторая для III и IV.

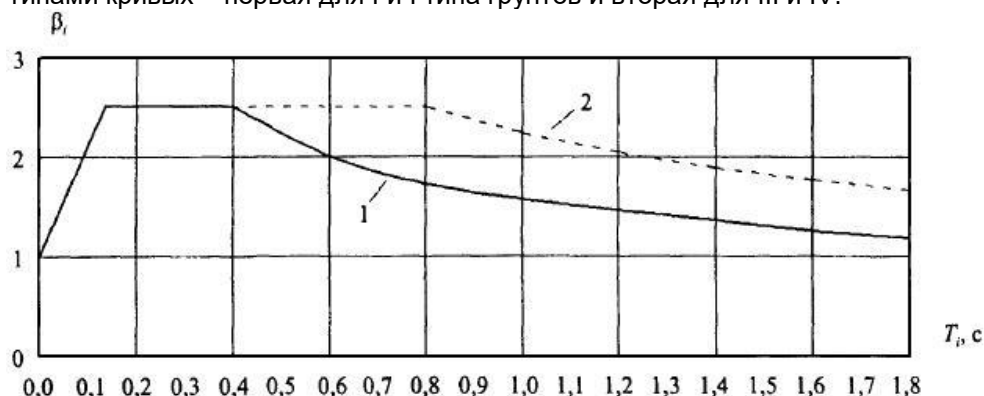


Рисунок 10. Динамический коэффициент β (СП.14.13330.2014)

В Еврокод-8 приводится график для спектра упругого отклика двух типов. По оси ординат откладывается ускорение, отнесенное к ускорению свободного падения, по оси абсцисс периоды колебаний [100]. В нормах США и нормах Японии аналогично Еврокод-8 приводится спектр отклика

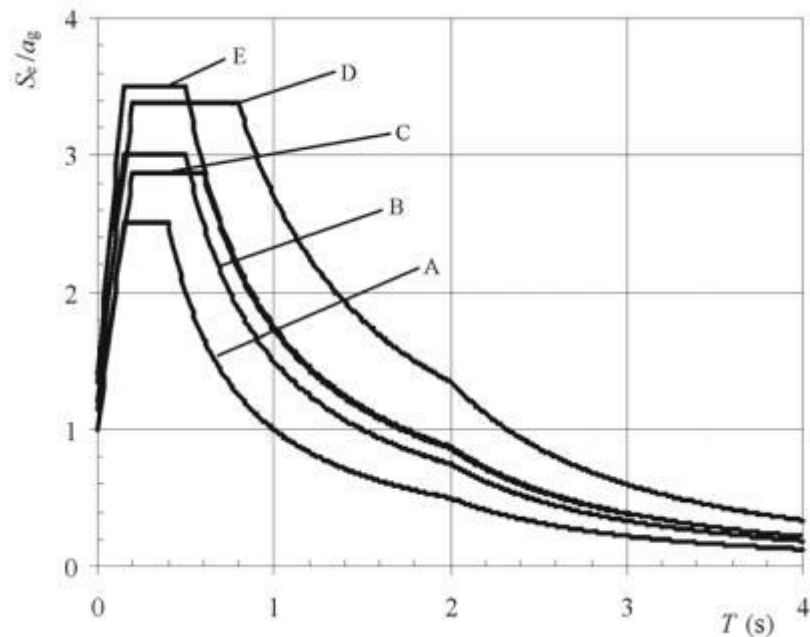


Рисунок 11. Тип 1 упругого спектра отклика для грунтов типа А-Е. (Еврокод-8 EN 1998-5:2004)

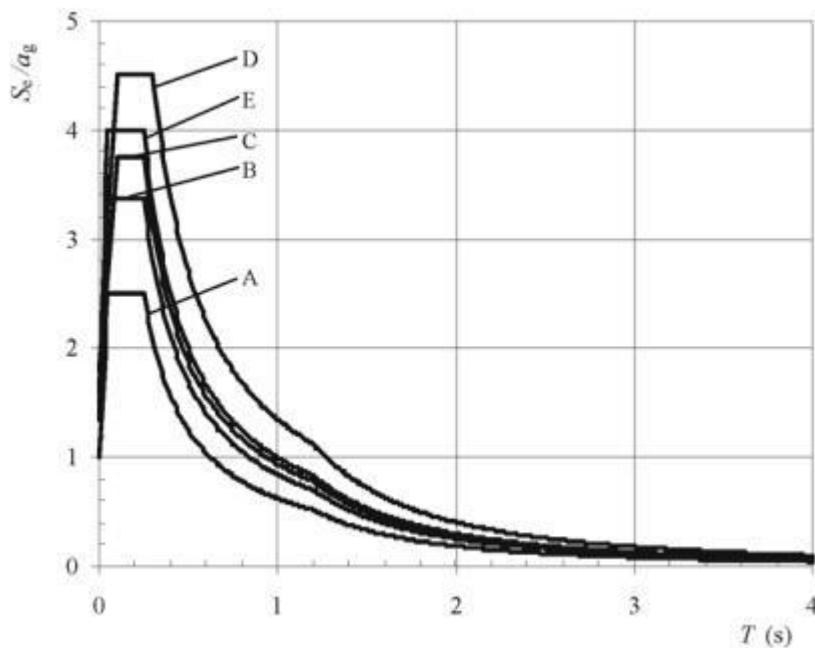


Рисунок 12. Тип 2 упругого спектра отклика для грунтов типа А-Е. (Еврокод-8 EN 1998-5:2004)

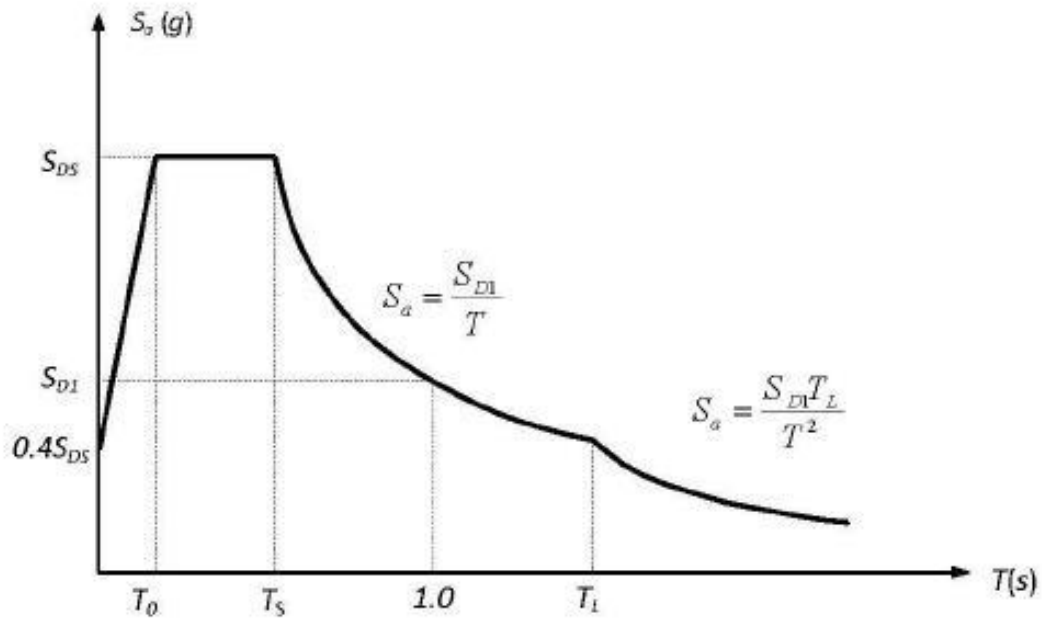


Рисунок 13. Спектр отклика (нормы США, ASCE 7-10/IBC 2012)

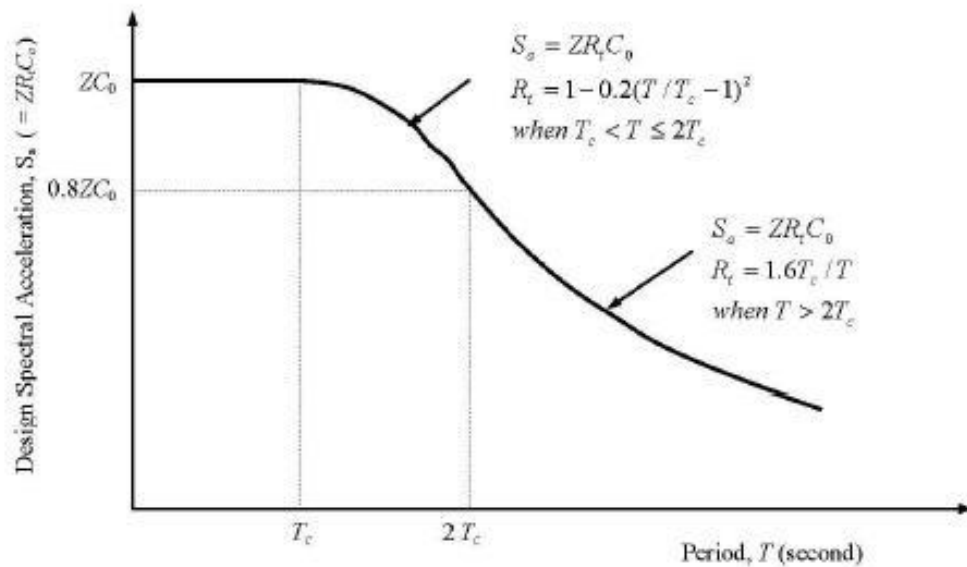


Рисунок 14. Спектр отклика (нормы Японии, BCJ)

В нормах Китая приводится график коэффициента сейсмического влияния α . Здесь можно провести аналогию с коэффициентом динамичности β в нормах России.

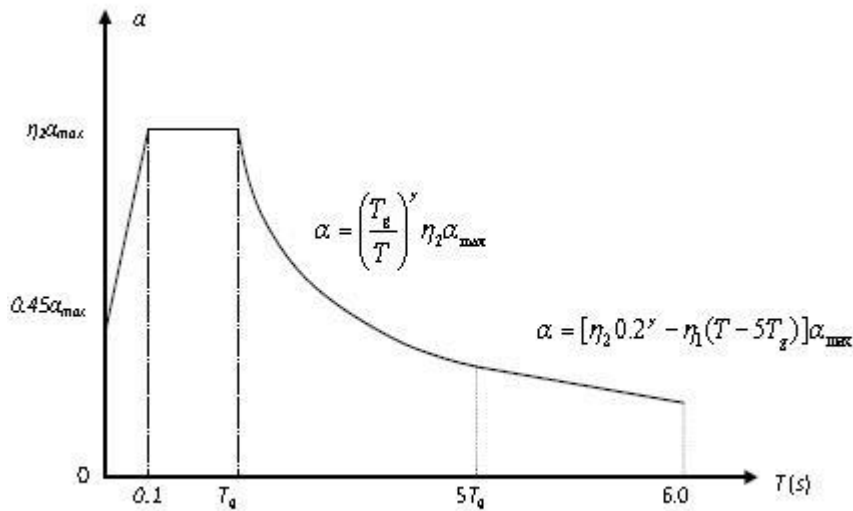


Рисунок 15. Коэффициент сейсмического влияния α . (нормы КНР, GB50011-2001)

Сдвиговые деформации (сдвиг) и сейсмические силы

Сейсмические волны делятся на волны сжатия и волны сдвига.

Волны сжатия, или продольные сейсмические волны, вызывают колебания частиц пород, сквозь которые они проходят, вдоль направления распространения волны, обуславливая чередование участков сжатия и разрежения в породах. Скорость распространения волн сжатия в 1,7 раза больше скорости волн сдвига, поэтому их первыми регистрируют сейсмические станции. Волны сжатия также называют первичными (Р-волны). Скорость Р-волны равна скорости звука в соответствующей горной породе. При частотах Р-волн, больших 15 Гц, эти волны могут быть восприняты на слух как подземный гул и грохот.

Волны сдвига, или поперечные сейсмические волны, заставляют частицы пород колебаться перпендикулярно направлению распространения волны. Волны сдвига также называют вторичными (S-волны). На заре сейсмологии велись споры о том, которые из волн – сжатия или сдвига вызывают основное смещение в случае локального землетрясения. Было установлено, что основное смещение вызвано S-фазой, потому что оно наблюдалось вторым (second) и следовало за более слабой Р-фазой, названной потому, что она вступала первой (prime).

Исследования в области сейсмологии установили, что существует ещё третий тип упругих волн — длинные или поверхностные волны (L-волны). Как оказалось, именно они вызывают самые сильные разрушения. Однако, сдвиговые деформации также вносят существенный вклад в деформации.

Под сдвиговой деформацией понимается такой вид деформации, когда в поперечном сечении балки действует только перерезывающая сила. При «чистом» сдвиге на гранях выделенного из бруса элемента действуют только касательные напряжения, и такие грани называются гранями «чистого» сдвига. Так как сдвиг сопровождается изменением формы тела, то деформации сдвига называют также деформациями формы.

Таблица 4. Сводная таблица различий норм по сдвиговым деформациям

Страна	Сдвиговые деформации (сдвиг) и сейсмические силы	Обозначение
РФ	Сейсмическая нагрузка зависит от массы здания, коэффициента, учитывающего назначение здания или сооружения и уровень его ответственности, коэффициент, допускающий допустимые повреждения, ускорения основания, коэффициента динамичности, коэффициента, учитывающего способность здания или сооружения к рассеиванию энергии и коэффициента, зависящего от форм деформаций	S
Япония	При обычном землетрясении сдвиг зависит от веса здания и от коэффициента зонирования сейсмической опасности, расчетного спектрального коэффициента и коэффициента сдвига. При серьезном землетрясении, кроме выше перечисленных значений, сдвиг зависит от коэффициента структурной характеристики, который учитывает влияние пластичности, и от коэффициента, учитывающего эксцентриситеты и вертикальную жесткость здания	Q_i Q_{um}

КНР	Сдвиг зависит от коэффициента сейсмического влияния и веса здания	F_{Ek}
Европа	Сдвиговые перемещения и сейсмические силы зависят от спектрального отклика и фундаментального периода конструкции	Q
США	Зависит от сейсмического веса, фактора сейсмической опасности и от коэффициента ответа	V

3. Методы анализа

Многие современные нормы различных стран переведены на двухуровневое сейсмостойкое проектирование. Уровень колебаний землетрясения первого типа, на которые должны рассчитываться все сооружения, не может быть превышен за время эксплуатации.

Уровень землетрясения второго типа, на которое также должны рассчитываться сооружения, значительно выше первого. Это землетрясение, которое происходит значительно реже землетрясения первого уровня и может обладать большой разрушительной силой.

В российских нормах при выполнении расчетов сооружений с учетом сейсмических воздействий следует применять две расчетные ситуации в зависимости от степени эксплуатационной важности проектируемого объекта: проектное землетрясение и максимальное расчетное землетрясение.

Проектное землетрясение (ПЗ) - землетрясение максимальной интенсивности на площадке строительства с повторяемостью один раз в 500 лет. Расчет на ПЗ ведется в области упругого деформирования конструкций и целью предотвращения частичной или полной потери эксплуатационных свойств сооружением. Расчет на ПЗ выполняется обязательно для всех типов зданий.

Максимальное расчетное землетрясение (МРЗ) - землетрясение максимальной интенсивности на площадке строительства с повторяемостью один раз в 1000 лет и один раз в 5000 лет - для объектов повышенной ответственности. Принимают по комплектам карт ОСР-2015 В и С соответственно. Цель расчетов на МРЗ - предотвращение глобального обрушения сооружения или его частей, создающего угрозу безопасности людей. Формирование расчетных моделей сооружений проводят с учетом возможности развития в несущих и ненесущих элементах конструкций неупругих деформаций и локальных хрупких разрушений.

Методы расчета конструкций в российских нормах также делятся в зависимости от степени ответственности сооружений. Существует два динамических метода расчета: линейно-спектральный и прямой динамический анализ.

Линейно-спектральный анализ использует в своих расчетах обозначенный в нормах спектр отклика (соответствующий категории грунта) и позволяет приближенно раскладывать сейсмическую нагрузку на формы колебаний. Прямой динамический метод позволяет произвести расчет на заданные акселерограммы с использованием прямого интегрирования без разложения по формам, что дает более точный результат. Если по линейно-спектральному методу необходимо выполнять расчет всех проектируемых зданий, то прямому динамическому анализу дополнительно подвергаются только конструкции высотных зданий (более 50 м) и большепролетных (более 30 м), а также здания и сооружения высокого уровня ответственности.

Отражение этих двух расчетных ситуаций ПЗ и МРЗ имеет место в коэффициенте K_0 в выражении для расчетной сейсмической нагрузки (1), который учитывает назначение сооружения и его ответственность.

Расчеты, соответствующие МРЗ, следует, как правило, выполнять во временной области с применением инструментальных или синтезированных акселерограмм. Максимальные амплитуды инструментальных или синтезированных ускорений в уровне основания сооружения следует принимать не менее 1,0, 2,0 или 4,0 м/с при сейсмичности площадок строительства 7, 8 и 9 баллов, соответственно, и умножать на коэффициент. К.

В расчетах на МРЗ следует осуществлять проверку несущей способности конструкций, включая общую устойчивость сооружения или его частей, при максимальных горизонтальных перемещениях, с учетом вертикальной составляющей сейсмических ускорений. [93] При этом при расчете на МРЗ не допускается образование повреждений или неупругих деформаций, что отражается в коэффициенте $K_1 = 1$ в выражении для расчетной сейсмической нагрузки (1).

$$S_{ik}^j = K_0 K_1 S_{0ik}^j \quad (1)$$

Где:

- S_{ik}^j – расчетная сейсмическая нагрузка (силовая или моментная) по направлению обобщенной координаты с номером j, приложенная к узловой точке k расчетной динамической модели и соответствующая i-й форме собственных колебаний зданий или сооружений

- S_{0ik}^j – значение сейсмической нагрузки для i -й формы собственных колебаний здания или сооружения, определяемое в предположении упругого деформирования конструкций.

В Японии также существует двухуровневая система расчетов на сейсмические воздействия. На первом этапе выполняется линейный расчет системы и расчет по допускаемым напряжениям. На втором этапе, когда здание необходимо рассчитать на боковую перегрузку, производится нелинейный статический или динамический анализ.

В КНР выполняется расчет по эквивалентным статическим нагрузкам для обычных зданий и методом анализа модельного спектра ответов для зданий выше 40 м или сложной конфигурации.

В США, так же как и в КНР, используется метод расчета на эквивалентные статические нагрузки, анализа модального спектра ответов и временного анализа.

4. Заключение

Сравнивая сейсмический расчет зданий и сооружений по российским нормам и нормам стран, преуспевающих в сейсмостойком строительстве, можно заключить, что наши документы требуют пересмотра и совершенствования. Несмотря на небольшие поправки к СП 14.13330.2014 “Строительство в сейсмических районах”, а также на пересмотр карт общего сейсмического районирования, здания, запроектированные на расчетную сейсмическую нагрузку, не выдерживают таковой. Необходимо, ориентируясь на опыт европейских и азиатских ученых, внести более существенные коррективы в расчет конструкций, использовать методики расчета и моделирования, в реальности отражающие поведение здания или сооружения при той или иной сейсмической опасности. Необходим пересмотр поведения здания, работающего совместно с грунтовыми условиями, а также расчета трещиностойкости бетона при горизонтальных сейсмических нагрузках.

Литература

- [1]. Бирбраер А. Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость. СПб.: Изд-во Наука, 1998. - 254 с.
- [2]. Синицын С. Б. Теория сейсмостойкости. Курс лекций. М.: Изд-во МГСУ, 2014.
- [3]. Абдыкеева Ш. С. Некоторые вопросы сейсмостойкости несущих железобетонных конструкций зданий и сооружений // Вестник КРСУ. 2015. Т. 15. № 1. С. 84-85.
- [4]. Чигринская Л. С., Щербин С. А. Использование обрешеченных металлическим профилем панелей при строительстве сейсмостойких зданий // Вестник ТГАСУ. 2013. № 3. С. 140-149.
- [5]. Чылбак А. А. Воздействие сейсмических сил на здания и сооружения // Вестник Технические и физико-математические науки. 2016. № 3. С. 100-104.
- [6]. Путина Г. В., Скопцов Д. Ю. Особенности проектирования и строительства зданий и сооружений в сейсмических районах // Труды Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева. (VII Всероссийская научно-практическая конференции молодых ученых с международным участием Россия молодая). 2015.
- [7]. Brunesi E., Nascimbene R., Casagrande L. Seismic analysis of high-rise mega-braced frame-core buildings // Engineering Structures. 2016. No 115. pp. 1-17.
- [8]. Мкртычев О. В., Дорожинский В. Б., Сидоров Д. С. Исследование сейсмостойкости железобетонных зданий различных конструктивных схем // Вестник МГСУ. 2015. № 12. С. 66-75.
- [9]. Арутюнян А. Р. Современные методы сейсмоизоляции зданий и сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 3. С. 56-60.
- [10]. Муравьев Н.П. Современный метод сейсмоизоляции зданий на примере РМО // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2013. № 1. С. 212-218.
- [11]. Кудлай Д. А. Оценка сейсмического воздействия на здание с сейсмоизоляцией // Строительство и техногенная безопасность. 2016. №3 (55). С. 24-27.
- [12]. Петряшев Н. О., Петряшев С. О., Петросян А. Е.

References

- [1]. Birbrayer A. N. Raschet konstruktсий na seysmostoykost. SPb.: Izd-vo Nauka, 1998. - 254 s.
- [2]. Sinitsyn S. B. Teoriya seysmostoykosti. Kurs lektсий. M.: Izd-vo MGSU, 2014.
- [3]. Abdykeyeva Sh. S. Nekotoryye voprosy seysmostoykosti nesushchikh zhelezobetonnykh konstruktсий zdaniy i sooruzheniy // Vestnik KRSU. 2015. T. 15. № 1. S. 84-85.
- [4]. Chigrinskaya L. S., Shcherbin S. A. Ispolzovaniye obramlennykh metallicheskim profilem paneley pri stroitelstve seysmostoykikh zdaniy // Vestnik TGASU. 2013. № 3. S. 140-149.
- [5]. Chylbak A. A. Vozdeystviye seysmicheskikh sil na zdaniya i sooruzheniya // Vestnik Tekhnicheskkiye i fiziko-matematicheskkiye nauki. 2016. № 3. S. 100-104.
- [6]. Putina G. V., Skoptsov D. Yu. Osobennosti proyektirovaniya i stroitelstva zdaniy i sooruzheniy v seysmicheskikh rayonakh // Trudy Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. T.F. Gorbacheva. (VII Vserossiyskaya nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiyem Rossiya moloda). 2015.
- [7]. Brunesi E., Nascimbene R., Casagrande L. Seismic analysis of high-rise mega-braced frame-core buildings // Engineering Structures. 2016. No 115. pp. 1-17.
- [8]. Mkrtychev O. V., Dorozhinskiy V. B., Sidorov D. S. Issledovaniye seysmostoykosti zhelezobetonnykh zdaniy razlichnykh konstruktivnykh skhem // Vestnik MGSU. 2015. № 12. S. 66-75.
- [9]. Arutyunyan A. R. Sovremennyye metody seysmoizolyatsii zdaniy i sooruzheniy // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2010. № 3. S. 56-60.
- [10]. Muravyev N.P. Sovremennyy metod seysmoizolyatsii zdaniy na primere RMO // Dalniy Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa. 2013. № 1. S. 212-218.
- [11]. Kudlay D. A. Otsenka seysmicheskogo vozdeystviya na zdaniye s seysmoizolyatsiyey // Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost. 2016. №3 (55). S. 24-27.
- [12]. Petryashev N. O., Petryashev S. O., Petrosyan A. Ye.

- Натурные динамические испытания на сейсмостойкость архитектурно-строительной системы КУПАСС // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2016. № 2. С. 13-23.
- [13]. Чылбак А. А. Методика оценки прочности сейсмоизолированного здания при сейсмическом воздействии // Вестник Технические и физико-математические науки. 2013. № 3. С. 100-104.
- [14]. Белаш Т. А., Рыбаков П. Л. Здания с подвесными конструкциями в сейсмических районах // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 5. С. 17-26.
- [15]. Pechersky E., Pirogow S., Sadowski G., Yambartsev A. Dynamics of Tectonic Plates // Информационные процессы. 2015. Т. 15. № 1. С. 51-65.
- [16]. Золотков А. С. Вибрационные испытания фрагментов монолитных зданий до разрушения // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 1. С. 14-21.
- [17]. Тарасов В.А., Барановский М.Ю., Редькин А.В., Соколов Е.А., Степанов А.С. Системы сейсмоизоляции // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 4 (43). С. 117-140.
- [18]. Celikag M., Naimi Building S.. Construction in North Cyprus: Problems and Alternatives Solutions. Procedia Engineering. 2011. Vol. 14. Pp. 2269–2275.
- [19]. Рыбаков В. А. Применение полусдвиговой теории В.И. Сливкера для анализа напряженно-деформированного состояния систем тонкостенных стержней // Дис. на соиск. учен. степ. к. т. н. Спец. – 2012. – Т. 1. – №. 04.
- [20]. Архиреева И. Г. Об экономических аспектах последствий сильного землетрясения // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. № 6. С. 15-18.
- [21]. Масляев А. В. О необходимости внесения требования федерального закона РФ № 384-ФЗ по защите жизни и здоровья людей в зданиях при землетрясении в федеральные нормативные документы // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 37 (56). С. 57-62.
- [22]. Масляев А. В. Обоснование защиты жизни и здоровья населения России в зданиях при землетрясении в федеральных законах и нормативных документах РФ // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 39 (58). С. 94-100.
- [23]. Масляев А. В. Парадигма Федеральных Законов и нормативных документов РФ для сейсмозащиты зданий повышенной ответственности при землетрясении // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 41 (60). С. 74-84.
- [24]. Смирнов В. И. Сейсмоизоляция — современная антисейсмическая защита зданий в России // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. № 4. С. 41-54.
- [25]. Губанова М. А., Петрищевский А. М. Связь сейсмичности с глубинным геологическим строением Приамурья и Маньчжурии // Региональные проблемы. 2011. Т. 14. № 2. С. 51-56.
- [26]. Петрищевский А. М., Васильева М. А. 3D-тектонический анализ полей сейсмичности в южных районах дальнего востока России // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. №3. С. 25-39.
- [27]. Столяров В. Г., Бабаевская Л. В. Сейсмостойкое строительство и сейсмические риски на Северном Кавказе // Геоэкология. Инженерная геодезия. Гидрогеология. Геоэкология. 2013. № 5. С. 442-453.
- Naturnyye dinamicheskiye ispytaniya na seysmostoykost arkhitekturno-stroitelnoy sistemy KUPASS // Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy. 2016. № 2. S. 13-23.
- [13]. Chylbak A. A. Metodika otsenki prochnosti seysmoizolirovannogo zdaniya pri seysmicheskom vozdeystvii // Vestnik Tekhnicheskiye i fiziko-matematicheskiye nauki. 2013. № 3. S. 100-104.
- [14]. Belash T. A., Rybakov P. L. Zdaniya s podvesnymi konstruktseyami v seysmicheskikh rayonakh // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2016. № 5. S. 17-26.
- [15]. Pechersky E., Pirogow S., Sadowski G., Yambartsev A. Dynamics of Tectonic Plates // Informatsionnyyeprotsessy. 2015. T. 15. № 1. S. 51-65.
- [16]. Zolotkov A. S. Vibratsionnyye ispytaniya fragmentov monolitnykh zdaniy do razrusheniya // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2012. № 1. S. 14-21.
- [17]. Tarasov V.A., Baranovskiy M.Yu., Redkin A.V., Sokolov Ye.A., Stepanov A.S. Sistemy seysmoizolyatsii // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2016. № 4 (43). S. 117-140.
- [18]. Celikag M., Naimi Building S.. Construction in North Cyprus: Problems and Alternatives Solutions. Procedia Engineering. 2011. Vol. 14. Pp. 2269–2275.
- [19]. Rybakov V. A. Primneniye polusdvigovoy teorii V.I. Slivkera dlya analiza napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya sistem tonkostennykh sterzhney // Dis. na soisk. uchen. step. k. t. n. Spets. – 2012. – T. 1. – №. 04.
- [20]. Arkhireyeva I. G. Ob ekonomicheskikh aspektakh posledstviy silnogo zemletryaseniya // Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnostsooruzheniy. 2013. № 6. S. 15-18.
- [21]. Maslyayev A. V. O neobkhodimosti vneseniya trebovaniya federalnogo zakona RF № 384-fz po zashchite zhizni i zdorovya lyudey v zdaniyakh pri zemletryaseni v federalnyye normativnyye dokumenty // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2014. № 37 (56). S. 57-62.
- [22]. Maslyayev A. V. Obosnovaniye zashchity zhizni i zdorovya naseleniya rossii v zdaniyakh pri zemletryaseni v federalnykh zakonakh i normativnykh dokumentakh RF // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2015. № 39 (58). S. 94-100.
- [23]. Maslyayev A. V. Paradigma Federalnykh Zakonov i normativnykh dokumentov RF dlya seysmozashchity zdaniy povyshennoy otvetstvennosti pri zemletryaseni // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2015. № 41 (60). S. 74-84.
- [24]. Smirnov V. I. Seysmoizolyatsiya — sovremennaya antiseysmicheskaya zashchita zdaniy v Rossii // Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnostsooruzheniy. 2013. № 4. S. 41-54.
- [25]. Gubanova M. A., Petrishchevskiy A. M. Svyaz seysmichnosti s glubinnym geologicheskim stroyeniyem Priamurya i Manchzhurii // Regionalnyye problemy. 2011. T. 14. № 2. S. 51-56.
- [26]. Petrishchevskiy A. M., Vasilyeva M. A. 3D-tektonicheskiy analiz poley seysmichnosti v yuzhnykh rayonakh dalnego vostoka Rossii // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2015. T. 326. №3. S. 25-39.
- [27]. Stolyarov V. G., Babayevskaya L. V. Seysmostoykoye stroitelstvo i seysmicheskiye riski na Severnom Kavkaze // Geokologiya. Inzhenernaya geodeziya. Hidrogeologiya. Geokriologiya. 2013. № 5. S. 442-453.
- [28]. Gordeyev Ye. I., Fedotov S. A., Chebrov V. N. Detalnyye seysmologicheskiye issledovaniya na Kamchatke v 1961–

- [28]. Гордеев Е. И., Федотов С. А., Чебров В. Н. Детальные сейсмологические исследования на Камчатке в 1961–2011 гг., Основные результаты // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 3-17.
- [29]. Етирмишли Г. Д., Казымова С. Э., Казымов И. Э. Расчет станционных поправок (сайт-эффект) на основе сейсмического сигнала // Геология и геофизика юга России. 2015. № 4. С. 154-163.
- [30]. Салтыков В. А., Кугаенко Ю. А., Кравченко Н. М., Коновалова А. А. Параметрическое представление динамики сейсмичности Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 65.
- [31]. Кравченко Г. М., Труфанова Е. В., Аргустамян К. Г. Учет влияния снеговой нагрузки на динамические параметры каркаса здания // Труды конференции (Проблемы, перспективы и направления инновационного развития науки). 2017. С. 67-71.
- [32]. Тюрина О. Е., Тюрин Д. А. Формирование и развитие нормативной базы в области учета снеговой нагрузки // Материалы конференции (Влияние науки на инновационное развитие). 2016. С. 60-62.
- [33]. Ордобаев Б. С. О фундаментальной концепции сейсмостойкости и сейсмоустойчивости зданий при сильнейших землетрясениях // Вестник КРСУ. 2015. Т. 15. № 9. С. 133-137.
- [34]. Соснин А. В. К вопросу учёта диссипативных свойств многоэтажных железобетонных каркасных зданий массового строительства при оценке их сейсмостойкости // Современная наука и инновации. 2017. № 1. С. 114-131.
- [35]. Масляев А. В. Обоснование защиты жизни и здоровья населения России в зданиях при землетрясении в федеральных законах и нормативных документах РФ // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 39 (58). С. 94-100.
- [36]. Джинчвелашвили Г. А., Булушев С. В. Колебания высотных зданий при сейсмическом воздействии с учетом физической и геометрической нелинейности // Строительство: наука и образование. 2014. № 2. С. 1.
- [37]. Palcak F. Application of TRIZ Approach in the Research Into Seismic Resistance // Университетский научный журнал. 2014. № 10 (10). С. 82-92.
- [38]. Назаров Ю. П., Позняк Е. В. Определение коэффициента динамичности в расчетах на сейсмостойкость // Строительство: наука и образование. 2015. № 1. С. 2.
- [39]. Тяпин А. Г., Антонов Н. А. Модальное демпфирование с учетом грунтового основания // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2016. № 2. С. 40-45.
- [40]. Сеитов Б. М., Ордобаев Б. С., Эргешов Э. С. Тенденция и развитие методов расчета строительных конструкций по сейсмостойкости и сейсмоустойчивости // Известия вузов Кыргызстана. 2015. № 7. С. 10-16.
- [41]. Тяпин А. Г. Неклассическое демпфирование в системе "Основание-сооружение" и вопрос применимости спектрального метода расчета усилий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2016. № 4. С. 44-49.
- [42]. Тяпин А. Г. Различия в нормативных подходах к расчету на сейсмические воздействия гражданских сооружений и сооружений АЭС. Часть III. Линейно-спектральная теория // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2015. № 1. С. 43-46.
- [43]. Джинчвелашвили Г. А., Мкртычев О. В. Основные 2011 гг., Osnovnyye rezultaty // Vulkanologiya i seysmologiya. 2013. № 1. С. 3-17.
- [29]. Yetirmishli G. D., Kazymova S. E., Kazymov I. E. Raschet stantsionnykh popravok (sayt-effekt) na osnove seysmicheskogo signala // Geologiya i geofizika yuga Rossii. 2015. № 4. С. 154-163.
- [30]. Saltykov V. A., Kugayenko Yu. A., Kravchenko N. M., Konovalova A. A. Parametricheskoye predstavleniye dinamiki seysmichnosti Kamchatki // Vulkanologiya i seysmologiya. 2013. № 1. С. 65.
- [31]. Kravchenko G. M., Trufanova Ye. V., Argustamyan K. G. Uchet vliyaniya snegovoy nagruzki na dinamicheskiye parametry karkasa zdaniya // Trudy konferentsii (Problemy, perspektivy i napravleniya innovatsionnogo razvitiya nauki). 2017. С. 67-71.
- [32]. Tyurina O. Ye., Tyurin D. A. Formirovaniye i razvitiye normativnoy bazy v oblasti ucheta snegovoy nagruzki // Materialy konferentsii (Vliyaniye nauki na innovatsionnoye razvitiye). 2016. С. 60-62.
- [33]. Ordobayev B. S. O fundamentalnoy kontseptsii seysmostoykosti i seysmoustoychivosti zdaniy pri silneyshikh zemletryaseniyaх // Vestnik KRSU. 2015. Т. 15. № 9. С. 133-137.
- [34]. Sosnin A. V. K voprosu ucheta dissipativnykh svoystv mnogoetazhnykh zhelezobetonnnykh karkasnykh zdaniy massovogo stroitelstva pri otsenke ikh seysmostoykosti // Sovremennaya nauka i innovatsii. 2017. № 1. С. 114-131.
- [35]. Maslyayev A. V. Obosnovaniye zashchity zhizni i zdorovya naseleniya rossii v zdaniyakh pri zemletryaseniі v federalnykh zakonakh i normativnykh dokumentakh RF // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2015. № 39 (58). С. 94-100.
- [36]. Dzhinchvelashvili G. A., Bulushev S. V. Kolebaniya vysotnykh zdaniy pri seysmicheskom vozdeystviі s uchetom fizicheskoy i geometricheskoy nelineynosti // Stroitelstvo: nauka i obrazovaniye. 2014. № 2. С. 1.
- [37]. Palcak F. Application of TRIZ Approach in the Research Into Seismic Resistance // Universitetskinauchnyy zhurnal. 2014. № 10 (10). С. 82-92.
- [38]. Nazarov Yu. P., Poznyak Ye. V. Opredeleniye koeffitsiyenta dinamichnosti v raschetakh na seysmostoykost // Stroitelstvo: nauka i obrazovaniye. 2015. № 1. С. 2.
- [39]. Tyapin A. G., Antonov N. A. Modalnoye dempfirovaniye s uchetom gruntovogo osnovaniya // Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnostsooruzheniy. 2016. № 2. С. 40-45.
- [40]. Seitov B. M., Ordobayev B. S., Ergeshov E. S. Tendentsiya i razvitiye metodov rascheta stroitelnykh konstruksiy po seysmostoykosti i seysmoustoychivosti // Izvestiya vuzov Kyrgyzstana. 2015. № 7. С. 10-16.
- [41]. Tyapin A. G. Neklassicheskoye dempfirovaniye v sisteme "Osnovaniye-sooruzheniye" i vopros primenimosti spektralnogo metoda rascheta usiliy // Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnostsooruzheniy. 2016. № 4. С. 44-49.
- [42]. Tyapin A. G. Razlichiya v normativnykh podkhodakh k raschetu na seysmicheskiye vozdeystviya grazhdanskikh sooruzheniy i sooruzheniy AES. Chast III. Lineynosppektralnaya teoriya // Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy. 2015. № 1. С. 43-46.
- [43]. Dzhinchvelashvili G. A., Mkrtcheyev O. V. Osnovnyye raschetnyye polozheniya obespecheniya seysmostoykosti sooruzheniy // Bezopasnost v stroitelstve i arkhitekture. 2016. № 1. С. 115-121

- расчетные положения обеспечения сейсмостойкости сооружений // Безопасность в строительстве и архитектуре. 2016. № 1. С. 115-121
- [44]. Мкртычев О. В., Джинчвелашвили Г. А., Дзержинский Р. И. Философия многоуровневого проектирования в свете обеспечения сейсмостойкости сооружений // Геология и геофизика Юга России. 2016. № 1. С. 71-78
- [45]. Кабанцев О. В. О достоверности оценки сейсмостойкости зданий на основе результатов диагностики методом импульсного воздействия малой интенсивности // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. № 2. С. 46-50.
- [46]. Соснин А. В. Особенности оценки дефицита сейсмостойкости железобетонных каркасных зданий методом нелинейного статического анализа в SAP2000 // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2015. № 6 (14). С. 97-110.
- [47]. Галиуллин Р.Р., Ларионов В.И., Нигметов Г.М., Савин С.Н., Самарин В.В., Суцев С.П. О практическом применении метода динамических испытаний для оценки категории технического состояния и сейсмостойкости зданий и сооружений при слабых и сильных импульсных воздействиях // Сейсмостойкое строительство. Безопасность зданий и сооружений. 2014. №3. С. 52-59
- [48]. Wang G., Wang W., Katayoun B. A., Dojcinovski D. Seismic instrumentation of high-rise buildings // Progress in Natural Science. 2009. No 19. pp. 23-227.
- [49]. Мкртычев О. В., Андреев М. И. Расчет уникального высотного здания на землетрясения в нелинейной динамической постановке // Вестник МГСУ. 2016. № 6. С. 25-33.
- [50]. Шивуа А. Д. Анализ энергетических методов оценки сейсмической энергии, поступившей в систему при землетрясении // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 6 (47). С. 96-103.
- [51]. Ордобаев Б. С. О совершенствовании теории сейсмостойкого строительства // Наука и новые технологии. 2014. № 5. С. 15-19.
- [52]. Дроздов В. В. Пшеничкина В. А. Расчет зданий повышенной этажности по критерию предельно допустимого риска // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. С. 117
- [53]. Соснин А. В. Расчетная оценка сейсмостойкости многоэтажного железобетонного рамно-связевого каркаса по критерию необрушения методом спектра несущей способности (в среде SAP2000) // Научные исследования и разработки молодых ученых. 2015. № 6. С. 76-89.
- [54]. Ордобаев Б. С. Особенности работы зданий при импульсных воздействиях и меры сейсмозащиты // Наука, новые технологии и инновации. 2012. № 1. С. 21-24.
- [55]. Егупов К. А. Распределение сейсмической нагрузки, действующей на многоэтажное каркасное здание // Вестник Астраханского Государственного технического университета. 2014. № 1 (57). С. 35-41.
- [56]. Мухачев А.Г. Математические модели расчета параметров напряженно-деформированного состояния и сейсмоизоляции сооружений. Юж.-Урал. Гос. Ун-т, ЭТФ. – Миасс : ЭТФ ЮУрГУ, 2016. – 20 с.
- [57]. Синцов В. П., Митрофанов В. А., Синцов А. В. Применение металлического каркаса для 16-ти этажного здания в сейсмоопасном районе // Металлические конструкции. 2009. Т. 15. № 1. С. 79-83.
- [58]. Артемьева Л. М. Динамический расчет многоэтажного каркасного здания на действие импульсов [44]. Mkrtychev O. V., Dzhinchvelashvili G. A., Dzerzhinskiy R. I. Filosofiya mnogourovnevnogo proyektirovaniya v svete obespecheniya seysmostoykosti sooruzheniy // Geologiya i geofizika Yuga Rossii. 2016. № 1. S. 71-78
- [45]. Kabantsev O. V. O dostovernosti otsenki seysmostoykosti zdaniy na osnove rezultatov diagnostiki metodom impulsnogo vozdeystviya maloy intensivnosti // Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnostsooruzheniy. 2013. № 2. S. 46-50.
- [46]. Sosnin A. V. Osobennosti otsenki defitsita seysmostoykosti zhelezobetonnykh karkasnykh zdaniy metodom nelineynogo staticheskogo analiza v SAP2000 // Tekhnicheskoye regulirovaniye v transportnom stroitelstve. 2015. № 6 (14). S. 97-110.
- [47]. Galiullin R.R., Larionov V.I., Nigmatov G.M., Savin S.N., Samarin V.V., Sushchev S.P. O prakticheskom primenenii metoda dinamicheskikh ispytaniy dlya otsenki kategorii tekhnicheskogo sostoyaniya i seysmostoykosti zdaniy i sooruzheniy pri slabyykh i silnykh impulsnykh vozdeystviyakh // Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnostzdaniy i sooruzheniy. 2014. №3. S. 52-59
- [48]. Wang G., Wang W., Katayoun B. A., Dojcinovski D. Seismic instrumentation of high-rise buildings // Progress in Natural Science. 2009. No 19. pp. 23-227.
- [49]. Mkrtychev O. V., Andreyev M. I. Raschet unikalnogo vysotnogo zdaniya na zemletryaseniya v nelineynoy dinamicheskoy postanovke // Vestnik MGSU. 2016. № 6. S. 25-33.
- [50]. Shivua A. D. Analiz energeticheskikh metodov otsenki seysmicheskoy energii, postupivshey v sistemu pri zemletryaseni // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2014. № 6 (47). S. 96-103.
- [51]. Ordobayev B. S. O sovershenstvovanii teorii seysmostoykogo stroitelstva // Nauka i novyye tekhnologii. 2014. № 5. S. 15-19.
- [52]. Drozdov V. V. Pshenichkina V. A. Raschet zdaniy povyshennoy etazhnosti po kriteriyu predelno dopustimogo riska // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2012. № 5. S. 117
- [53]. Sosnin A. V. Raschetnaya otsenka seysmostoykosti mnogoetazhnogo zhelezobetonnoho ramno-svyazevogo karkasa po kriteriyu neobrusheniya metodom spektra nesushchey sposobnosti (v srede SAP2000) // Nauchnyye issledovaniya i razrabotki molodykh uchenykh. 2015. № 6. S. 76-89.
- [54]. Ordobayev B. S. Osobennosti raboty zdaniy pri impulsnykh vozdeystviyakh i mery seysmozashchity // Nauka, novyye tekhnologii i innovatsii. 2012. № 1. S. 21-24.
- [55]. Yegupov K. A. Raspredeleniye seysmicheskoy nagruzki, deystvuyushchey na mnogoetazhnoye karkasnoye zdaniye // Vestnik Astrakhanskogo Gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2014. № 1 (57). S. 35-41.
- [56]. Mukhachev A.G. Matematicheskiye modeli rascheta parametrov napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya i seysmoizolyatsii sooruzheniy. Yuzh.-Ural. Gos. Un-t, ETF. – Miass : ETF YuUrGU, 2016. – 20 s.
- [57]. Sintsov V. P., Mitrofanov V. A., Sintsov A. V. Primneneniye metallicheskogo karkasa dlya 16-ti etazhnogo zdaniya v seysmoopasnom rayone // Metallicheskiye konstruksii. 2009. T. 15. № 1. S. 79-83.
- [58]. Artemyeva L. M. Dinamicheskii raschet mnogoetazhnogo karkasnogo zdaniya na deystviye impulsov sinusoidalnoy formy // Vestnik Yuzhno-Uralskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: stroitelstvo i Arkhitektura. 2005. № 13 (53). S. 52-56.
- [59]. Nizomov D. N., Kalandarbekov I. Dinamicheskii raschet

- синусоидальной формы // Вестник Южно-Уральского Государственного Университета. Серия: строительство и Архитектура. 2005. № 13 (53). С. 52-56.
- [59]. Низомов Д. Н., Каландарбеков И. Динамический расчет многоэтажных зданий на основе метода сосредоточенных деформаций // Известия Академии Наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. 2007. № 1. С. 98-106.
- [60]. Мондрус В.Л., Шутовский С.Н. К вопросу расчета зданий периодической конструкции // Сборник научных трудов МАДИ (Вопросы строительной механики и надежности машин и конструкций). М.: Изд-во МГСУ, 2012. С. 45-51.
- [61]. Ахметова Л. Р., Беличенко М. Ю. Расчет здания из сборного железобетонного каркаса на действие сейсмической нагрузки с пульсационной составляющей // Материалы конференции (Наука сегодня: глобальные вызовы и механизмы развития). 2017. С. 6-8.
- [62]. Марчук Н. И., Тимофеева В. А., Игнатикова Н. Н. Расчет многоэтажного здания на сейсмические воздействия // Новая наука: опыт, традиции, инновации. 2017. Т. 2. № 4. С. 199-201.
- [63]. Ливановский Н. Н. Расчет на сейсмические воздействия и прогрессирующее обрушение трехэтажного здания с неполным каркасом в RVK SCAD // Материалы конференции Тоского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. С. 45-52.
- [64]. Ватин Н. И., Егармин К. А., Сысоев Г. Ю., Врублевская М. А. Анализ работы рамных узлов одноэтажного стального каркаса в условиях высокой сейсмичности с использованием ПК SCAD // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 2 (29). С. 34-44.
- [65]. Музаев И. Д., Харебов К. С., Музаев Н. И. Математическое моделирование процесса усиления или ослабления эффекта сейсмического воздействия на высотное сооружение // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. № 3. С. 24-27.
- [66]. Gaile L., Sprince A., Pakrastinsh L. Specific Challenges of Adopting Eurocodes in Latvia // Procedia Engineering. 2013. No 57. pp. 294-301.
- [67]. Коломенский С. И., Позняк Е. В. Анализ сейсмической реакции модели каркасного здания с учетом угловых движений грунта // Труды МЭИ (22-я международная научно-техническая конференция "Радиоэлектроника, электротехника и энергетика") 2016. С. 234.
- [68]. Реквава П. А. Сейсмические воздействия при близких разрушительных землетрясениях и возможности современного проектирования-исследования сейсмостойкости крупнопанельного здания с супершироким шагом стен // Геология и геофизика юга России. 2016. № 2. С. 153-163.
- [69]. Кравченко Г. М., Савельева Н. А., Шарипов Э. Р. Исследование напряженно-деформированного состояния каркаса здания с учетом совместной работы системы "здание-основание-грунт" // Сборник конференции. (Концепция динамического равновесия в новых технологиях). 2017. С. 42-45.
- [70]. Чураков А. А., Пшеничкина В. А. Оценка влияния статистической изменчивости жесткостных параметров системы "тонкостенный составной стержень-основание" на ее динамические характеристики // Вестник Адыгейского государственного университета. mnogoetazhnykh zdaniy na osnove metoda sosredotochennykh deformatsiy // Izvestiya Akademii Nauk Respubliki Tadzhikistan. Otdeleniye fiziko-matematicheskikh, khimicheskikh, geologicheskikh i tekhnicheskikh nauk. 2007. № 1. S. 98-106.
- [60]. [60] Mondrus V.L., Shutovskiy S.N. K voprosu rascheta zdaniy periodicheskoy konstruktсии // Sbornik nauchnykh trudov MADi (Voprosy stroitelnoy mekhaniki i nadezhnosti mashin i konstruktсии). M.: Izd-vo MGSU, 2012. S. 45-51
- [61]. Akhmetova L. R., Belichenko M. Yu. Raschet zdaniya iz sbornogo zhelezobetonnoy karkasa na deystviye seysmicheskoy nagruzki s pulsatsionnoy sostavlyayushchey // Materialy konferentsii (Nauka segodnya: globalnyye vyzovy i mekhanizmy razvitiya). 2017. S. 6-8.
- [62]. Marchuk N. I., Timofeyeva V. A., Ignatikova N. N. Raschet mnogoetazhnogo zdaniya na seysmicheskiye vozdeystviya // Novaya nauka: opyt, traditsii, innovatsii. 2017. T. 2. № 4. S. 199-201.
- [63]. Livandovskiy N. N. Raschet na seysmicheskiye vozdeystviya i progressiruyushcheye obrusheniye trekhetazhnogo zdaniya s nepolnym karkasom v RVK SCAD // Materialy konferentsii Toskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnoy universiteta. 2016. S. 45-52.
- [64]. Vatin N. I., Yegarmin K. A., Sysoyev G. Yu., Vrublevskaya M. A. Analiz raboty ramnykh uzlov odnoetazhnogo stalnogo karkasa v usloviyakh vysokoy seysmiki s ispolzovaniyem PK SCAD // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2015. № 2 (29). S. 34-44.
- [65]. Muzayev I. D., Kharebov K. S., Muzayev N. I. Matematicheskoye modelirovaniye protessa usileniya ili oslableniya effekta seysmicheskogo vozdeystviya na vysotnoye sooruzheniye // Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy. 2013. № 3. S. 24-27.
- [66]. [66] Gaile L., Sprince A., Pakrastinsh L. Specific Challenges of Adopting Eurocodes in Latvia // Procedia Engineering. 2013. No 57. pp. 294-301.
- [67]. Kolomenskiy S. I., Poznyak Ye. V. Analiz seysmicheskoy reaktсии modeli karkasnogo zdaniya s uchetom uglovyykh dvizheniy grunta // Trudy MEI (22-ya mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya "Radioelektronika, elektrotekhnika i energetika") 2016. S. 234.
- [68]. Rekvava P. A. Seysmicheskiye vozdeystviya pri blizhnikh razrushitelnykh zemletryaseniyyakh i vozmozhnosti sovremennogo proyektirovaniya-issledovaniye seysmostoykosti krupnopanelnogo zdaniya s supershirokim shagom sten // Geologiya i geofizika yuga Rossii. 2016. № 2. S. 153-163.
- [69]. Kravchenko G. M., Savelyeva N. A., Sharipov E. R. Issledovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya karkasa zdaniya s uchetom sovmestnoy raboty sistemy "zdaniye-osnovaniye-grunt" // Sbornik konferentsii. (Kontseptsiiyadinamicheskogoravnovesiya v novykh tekhnologiyakh). 2017. S. 42-45.
- [70]. Churakov A. A., Pshenichkina V. A. Otsenka vliyaniya statisticheskoy izmenchivosti zhestkostnykh parametrov sistemy "tonkostennyy sostavnoy sterzhen-osnovaniye" na yeye dinamicheskiye kharakteristiki // Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4: yestestvenno-matematicheskkiye i tekhnicheskiiyenuki. 2007. № 4. S. 84-89.
- [71]. Maskaleva V., Rybakov V. The Analysis of Convergence of Finite Element Method for a Foundation Slab on the Bilinear Subgrade // Applied Mechanics and Materials. – Trans Tech Publications, 2015. – T. 725. – S. 842-847
- [72]. Shareyko M.A. Chislennoye modelirovaniye v zadachakh

- Серия 4: естественно-математические и технические науки. 2007. № 4. С. 84-89.
- [71]. Maskaleva V., Rybakov V. The Analysis of Convergence of Finite Element Method for a Foundation Slab on the Bilinear Subgrade // *Applied Mechanics and Materials*. – Trans Tech Publications, 2015. – Т. 725. – С. 842-847
- [72]. Шарейко М.А. Численное моделирование в задачах сейсмического микрорайонирования для обеспечения безопасности особо ответственных объектов // Сборник конференции (Человек, семья и общество: история и перспективы развития). 2013. С. 314-316
- [73]. Тяпин А. Г. Различия в нормативных подходах к расчету на сейсмические воздействия гражданских сооружений и сооружений АЭС. Часть IV. Нелинейный расчет // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2015. № 3. С. 17-20.
- [74]. Курбацкий Е. Н., Мазур Г. Э., Мондрус В. Л. Критический анализ нормативной документации по расчету сооружений на землетрясения // *Academia. Архитектура и строительство*. 2017. № 2. С. 95-102.
- [75]. Масляев А. В. Сейсмозащита города при землетрясении в зависимости от уровня ответственности жилых зданий // *Вестник Волгоградского Государственного Архитектурно-строительного университета*. 2013. № 33 (52). С. 57-62.
- [76]. Алехин В.Н., Иванов Г.П., Плетнев М.В., Кокотихин И.Ю., Ушаков О.Ю. Расчет зданий и сооружений на сейсмические воздействия // *Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН*. 2011. № 2. С. 78-81
- [77]. Панасюк Л. Н. Кравченко Г. М. Расчет каркаса монолитного здания на прогрессирующее разрушение с учетом динамических эффектов // *Материалы конференции (Строительство - 2015: современные проблемы строительства)*. 2015. С. 456-459.
- [78]. Тяпин А. Г. Различия между нормами расчета на сейсмические воздействия как потенциальные направления развития норм гражданского строительства // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2016. № 1. С. 29-32.
- [79]. Степанов А. А., Коновалов А. В., Клячков В. А., Манайчев К. А., Сабуров М. А., Вторушин А. Г., Гаврилов А. В., Томилов Д. Е. Технологии моделирования и оценки сейсмических воздействия на здания и сооружения в результате возникновения сильных землетрясений // *Материалы конференции (Информационные технологии в высокопроизводительные вычисления)*. 2015. С. 172-177.
- [80]. Смирнов В. И., Бубис А. А. Обсуждение проекта свода правил: «здания сейсмостойкие и сейсмоизолированные. Правила проектирования // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2014. № 3. С. 22-33.
- [81]. Тяпин А. Г. Различия в нормативных подходах к расчету на сейсмические воздействия гражданских сооружений и сооружений АЭС. Часть 1. Разница в расчетных воздействиях // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2014. № 5. С. 11-15.
- [82]. Мазманыан М. А. Телоян А. Л. К расчету сдвиговых усилий при импульсно-сейсмических воздействиях на здание // *Информационная среда ВУЗа*. 2016. № 2. С. 444-447.
- [83]. Голубев В. И. Методика отображения и интерпретации результатов полноволновых сейсмических расчетов // *Труды Московского физико-технического института*. 2014. Т. 6. № 1 (21). С. 154-161.
- seismicheskogo mikrorayonirovaniya dlya obespecheniya bezopasnosti osobo otvetstvennykh ob'ektov // *Sbornik konferentsii (Chelovek, semya i obshchestvo: istoriya i perspektivy razvitiya)*. 2013. S. 314-316
- [73]. Tyapin A. G. Razlichiya v normativnykh podkhodakh k raschetu na seismicheskiye vozdeystviya grazhdanskikh sooruzheniy i sooruzheniy AES. Chast IV. Nelineyny raschet // *Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy*. 2015. № 3. S. 17-20.
- [74]. Kurbatskiy Ye. N., Mazur G. E., Mondrus V. L. Kriticheskiy analiz normativnoy dokumentatsii po raschetu sooruzheniy na zemletryaseniya // *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo*. 2017. № 2. S. 95-102.
- [75]. Maslyayev A. V. Seysmozashchita goroda pri zemletryaseni v zavisimosti ot urovnya otvetstvennosti zhilykh zdaniy // *Vestnik Volgogradskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2013. № 33 (52). S. 57-62.
- [76]. Alekhin V.N., Ivanov G.P., Pletnev M.V., Kokovikhin I.Yu., Ushakov O.Yu. Raschet zdaniy i sooruzheniy na seismicheskiye vozdeystviya // *Akademicheskii vestnik URALNIIPROEKT RAASN*. 2011. № 2. S. 78-81
- [77]. Panasyuk L. N. Kravchenko G. M. Raschet karkasa monolitnogo zdaniya na progressiruyushcheye razrusheniye s uchetom dinamicheskikh effektiv // *Materialy konferentsii (Stroitelstvo - 2015: sovremennyye problemy stroitelstva)*. 2015. S. 456-459.
- [78]. Tyapin A. G. Razlichiya mezhd normami rascheta na seismicheskiye vozdeystviya kak potentsialnyye napravleniya razvitiya norm grazhdanskogo stroitelstva // *Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy*. 2016. № 1. S. 29-32.
- [79]. Stepanov A. A., Konovalov A. V., Klachkov V. A., Manaychev K. A., Saburov M. A., Vtorushin A. G., Gavrilov A. V., Tomilev D. Ye. Tekhnologii modelirovaniya i otsenki seismicheskikh vozdeystviya na zdaniya i sooruzheniya v rezultate vozniknoveniya silnykh zemletryaseni // *Materialy konferentsii (Informatsionnyye tekhnologii v vysokoproizvoditelnyye vychisleniya)*. 2015. S. 172-177.
- [80]. Smirnov V. I., Bubis A. A. Obsuzhdeniye proyekta svoda pravil: «zdaniya seysmostoykiye i seysmoizolirovannyye. Pravilaproektirovaniya // *Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy*. 2014. № 3. S. 22-33.
- [81]. Tyapin A. G. Razlichiya v normativnykh podkhodakh k raschetu na seismicheskiye vozdeystviya grazhdanskikh sooruzheniy i sooruzheniy AES. Chast 1. Raznitsa v raschetnykh vozdeystviyakh // *Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy*. 2014. № 5. S. 11-15.
- [82]. Mazmanyanyan M. A. Teloyan A. L. K raschetu sdvigovykh usiliy pri impulsno-seismicheskikh vozdeystviyakh na zdaniye // *Informatsionnaya sreda VUZa*. 2016. № 2. S. 444-447.
- [83]. Golubev V. I. Metodika otobrazheniya i interpretatsii rezultatov polnovolnovykh seismicheskikh raschetov // *Tруды Московского физико-технического института*. 2014. Т. 6. № 1 (21). S. 154-161.
- [84]. Kolesnikov A. V. Raschet zdaniy i sooruzheniy na seismicheskiye vozdeystviya s uchetom nelineynykh effektiv // *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzhya*. 2011. № 6. S. 186-191.
- [85]. Panasyuk L. N., VuNgokTuyen, Tyurina V. S., Chubka Yu. Sh., Chan Kuok Vyat. Osobennosti modelirovaniya seismicheskogo vozdeystviya na mnogoetazhnyye zdaniya po normam Vyetnama // *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2017. № 1.

- [84]. Колесников А. В. Расчет зданий и сооружений на сейсмические воздействия с учетом нелинейных эффектов // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 6. С. 186-191.
- [85]. Панасюк Л. Н., ВуНгокТуен, Тюрин В. С., Чубка Ю. Ш., Чан Куок Вьет. Особенности моделирования сейсмического воздействия на многоэтажные здания по нормам Вьетнама // Инженерный вестник Дона. 2017. № 1.
- [86]. Хуэн Л. Т. Т. Краткое сравнение сейсмических норм Европы, Японии, России // Вестник МГСУ. 2009. № 4. С. 262-265.
- [87]. Costanzo S., D'Aniello M., Landolfo R. Seismic design criteria for Chevron CBFs European vs North American codes (part 1) // Journal of constructional steel research. 2017. No 135. pp. 83-96.
- [88]. Costanzo S., D'Aniello M., Landolfo R. Seismic design criteria for chevron CBFs Proposals for the next EC8 (part 2) // Journal of constructional steel research. 2017. No 138. pp. 17-37.
- [89]. Bojórquez J., Ruiz S. E., Ellingwood B., Reyes-Salazar A., Bojórquez E. Reliability-based optimal load factors for seismic design of buildings // Engineering Structures. 2017. No 151. pp. 527-539.
- [90]. Gia Toai Truong, Jong-Chan Kim, Kyoung-Kyu Choi. Seismic performance of reinforced concrete columns retrofitted by various methods // Engineering Structures. 2017. No 134. pp. 217-235.
- [91]. Pelletier K., Léger P. Nonlinear seismic modeling of reinforced concrete cores including torsion // Engineering Structures. 2017. No 136. pp. 380-392.
- [92]. Yeganeh N., BolouriBazaz J., Akhtarpour A. Seismic analysis of the soil-structure interaction for a high-rise building adjacent to deep excavation // Soil dynamics and earthquake engineering. 2015. No 79. pp. 149-170.
- [93]. СП 14.13330.2014
- [94]. Midorikawa M., Hiraishi H., Okawa I., Iiba M., Teshigawara M., Isoda H. Development of seismic performance evaluation procedures in Building Code of Japan // 12th World Conference on Earthquake Engineering. 2000. pp. 1-8
- [95]. Ishiyama Y. Earthquake damage and seismic code for buildings in Japan // Conference paper (13th World Conference on Earthquake Engineering). 2004
- [96]. Gao M. New national seismic zoning map of China // Acta seismologica sinica. 2003. Vol. 16. № 6. pp. 639-645
- [97]. Wu J., Wang C., He X., Wang X., Li N. Spatiotemporal changes in both asset value and GPD associated with seismic exposure in China in the context of rapid economic growth from 1990 to 2010 // Environmental research letters. 2017. № 12. pp. 1-9
- [98]. Solomos G., Pinto A., Dimova S. A review of the seismic hazard zonation in national building codes in the context of Eurocode 8 // JRC Scientific and Technical reports. 2008.
- [99]. Электронный ресурс. URL: http://www.earthquakes.bgs.ac.uk/hazard/uk_hazard_map.html (дата обращения: 25.10.2017)
- [100]. Yu G., Chock G. Comparison of the USA, China and Japan seismic design procedures // Conference paper (Civil Engineering Conference in the Asia Region CECAR 7, At Honolulu, Hawaii). 2016
- [86]. Khuen L. T. T. Kratkoye sravneniye seysmicheskikh norm Yevropy, Yaponii, Rossii // Vestnik MGSU. 2009. № 4. S. 262-265.
- [87]. Costanzo S., D'Aniello M., Landolfo R. Seismic design criteria for Chevron CBFs European vs North American codes (part 1) // Journal of constructional steel research. 2017. No 135. pp. 83-96.
- [88]. Costanzo S., D'Aniello M., Landolfo R. Seismic design criteria for chevron CBFs Proposals for the next EC8 (part 2) // Journal of constructional steel research. 2017. No 138. pp. 17-37.
- [89]. Bojórquez J., Ruiz S. E., Ellingwood B., Reyes-Salazar A., Bojórquez E. Reliability-based optimal load factors for seismic design of buildings // Engineering Structures. 2017. No 151. pp. 527-539.
- [90]. [90] Gia Toai Truong, Jong-Chan Kim, Kyoung-Kyu Choi. Seismic performance of reinforced concrete columns retrofitted by various methods // Engineering Structures. 2017. No 134. pp. 217-235.
- [91]. Pelletier K., Léger P. Nonlinear seismic modeling of reinforced concrete cores including torsion // Engineering Structures. 2017. No 136. pp. 380-392.
- [92]. Yeganeh N., BolouriBazaz J., Akhtarpour A. Seismic analysis of the soil-structure interaction for a high-rise building adjacent to deep excavation // Soil dynamics and earthquake engineering. 2015. No 79. pp. 149-170.
- [93]. SP 14.13330.2014
- [94]. Midorikawa M., Hiraishi H., Okawa I., Iiba M., Teshigawara M., Isoda H. Development of seismic performance evaluation procedures in Building Code of Japan // 12th World Conference on Earthquake Engineering. 2000. pp. 1-8
- [95]. Ishiyama Y. Earthquake damage and seismic code for buildings in Japan // Conference paper (13th World Conference on Earthquake Engineering). 2004
- [96]. Gao M. New national seismic zoning map of China // Acta seismologica sinica. 2003. Vol. 16. № 6. pp. 639-645
- [97]. Wu J., Wang C., He X., Wang X., Li N. Spatiotemporal changes in both asset value and GPD associated with seismic exposure in China in the context of rapid economic growth from 1990 to 2010 // Environmental research letters. 2017. № 12. pp. 1-9
- [98]. Solomos G., Pinto A., Dimova S. A review of the seismic hazard zonation in national building codes in the context of Eurocode 8 // JRC Scientific and Technical reports. 2008.
- [99]. Электронный ресурс. URL: http://www.earthquakes.bgs.ac.uk/hazard/uk_hazard_map.html (дата обращения: 25.10.2017)
- [100]. Yu G., Chock G. Comparison of the USA, China and Japan seismic design procedures // Conference paper (Civil Engineering Conference in the Asia Region CECAR 7, At Honolulu, Hawaii). 2016

Шаторная А.М., Тарасов В.А., Барабаш А.В., Жувак О.В., Рыбаков В.А., Российские и зарубежные нормы сейсмического проектирования зданий и сооружений // Alfabuild. 2018. №4(6). С. 92-114

Shatornaya A., Tarasov V., Barabash A., Zhuvak O., Rybakov V. Russian and foreign standards of seismic design of buildings and structures. Alfabuild, 2018, 4(6), Pp. 92-114(rus)

Russian and foreign standards of seismic design of buildings and structures

A. Shatornaya¹, V. Tarasov², A. Barabash³, O. Zhuvak⁴, V. Rybakov⁵

¹Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

Article info

review article

Abstract

Despite the constant reviews of regulatory documentation for construction in seismically hazardous conditions, the problem of ensuring the safety of buildings and structures during an earthquake is relevant. The article compares Russian methods of seismic calculations of buildings and structures and methods used in countries with developed earthquake-proof constructing, such as the USA, China, Japan. The regulatory documentation used in the EU countries were also studied. The article considers such key positions of regulatory documentations as design of maps of seismic zoning, local geological conditions, response spectrum, shear deformations and methods of analysis and calculation of the constructions. As a result of the comparison, significant differences were revealed, which can affect the correctness of the seismic resistance of structures. It was found that a serious revision of the regulatory framework of the Russian Federation is required to ensure the safety of the population living in seismic areas.

Keywords:

civil engineering, regulatory documentation, safety of buildings, seismic stability, building dynamics, earthquakes

Corresponding author

1. +79531541939, alexandrashatornaya@gmail.com (Shatornaya Alexandra, Student)