**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования**

**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ МГСУ**

**ИНСТИТУТ ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

# БЮЛЛЕТЕНЬ НТС МГСУ

# МАТЕРИАЛЫ VIII ОБЪЕДИНЕННОГО МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОГО СЕМИНАРА

# «НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ И АВАРИЙНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ»

**31 октября 2013 года**

**МОСКВА 2014**

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Открытие научно-технического семинара ..... .3

Организации-участники ..... .4

Тезисы докладов
*Паушкин А.Г., Черкасова Л.И., Иванов М.Н.* (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)
Системная модернизация и повышение наукоемкости
нормативно-технической базы ..... .5

*Джинчвелашвили Г.А., Мкртычев О.В., Келешев М.Ф.*
(ФГБОУ ВПО «МГСУ»)
Противоречия в нормативных документах по сейсмостойкому
строительству и пути их преодоления ..... 10

*Чернов Ю.Т., Петров И.А.* (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)
Некоторые методы и задачи расчета конструкций и систем
виброзащиты с конструктивной и физической нелинейностью ..... 14

*Евзеров И.Д., Гераймович Ю.Д.* (ООО «Лира софт», Киев),
*Колесников А.В.* (ООО «ЛИРА софт» Москва)
Расчет зданий и сооружений на сейсмические воздействия
в программном комплексе Лира 10.2 ..... 16

Тезисы доклада заочных участников семинара
*Смирнов С.Б.* (ФГБОУ ВПО «МГСУ»), *Ордобаев Б.С.,*
*Абдыкеева Ш.С.* (КРСУ им. Б. Ельцина, Кыргызская Республика)
Недостаток информации о реальных параметрах воздействия
при сильных землетрясениях ..... 24

Фотосессия VIII Объединенного Международного
научно-практического семинара ..... 29

Решение VIII объединенного Международного
научно-практического семинара ..... 44

Резолюция семинара ..... 46

Статьи по тематике семинара ..... 48

Стандарт организации (СТО МГСУ) «Строительство
в сейсмических районах» (проект) ..... 65

# ОТКРЫТИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СЕМИНАРА

# ОРГАНИЗАЦИИ-УЧАСТНИКИ

1. ФГБОУ ВПО «МГСУ»;
2. Российский университет дружбы народов (РУДН);
3. ООО «ЛИРА софт» (Украина);
4. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко;
5. Российская открытая академия транспорта Московского государственного университета путей сообщения (РОАТ МИИТ);
6. ОАО ЦНИИПромзданий;
7. ЗАО «Холдинговая компания «Композит»»;
8. ООО «КомпозитСпецСтрой»;
9. ОАО «НИЦ «Строительство»»;
10. НИУ «МЭИ»;
11. ОАО «КБ им. А.А. Якушева»;
12. КНАУФ;
13. ООО “Метро-Стиль 2000”;
14. ООО “ПОИСК”;
15. Российская ассоциация по сейсмостойкому строительству (РАСС);
16. Институт проблем механики РАН;
17. 26 ЦНИИ МО РФ;
18. ЦНИИ МЗ РФ;
19. ОАО Атомэнергопроект;
20. ООО «Базис»;
21. ОАО «ПНИИИС»;
22. ЗАО «Препрег-СКМ».

# ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

***Паушкин А.Г.,*** *к.т.н., профессор*
***Черкасова Л.И.****, к.т.н., профессор*
***Иванов М.Н.****, к.т.н.*
ФГБОУ ВПО «МГСУ»

## СИСТЕМНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ И ПОВЫШЕНИЕ НАУКОЕМКОСТИ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ

Доклад посвящен вопросам формирования единой нормативно-технической основы в области комплексной безопасности в строительстве – одному из приоритетных направлений научно-технической деятельности МГСУ.

М.Н. Иванов

Достижение высокого уровня строительной индустрии невозможно без формирования современной нормативно-технической базы в области строительства, отвечающей требованиям и тенденциям международной стандартизации.

В этой связи модернизация нормативной базы – важный рычаг научно-технического и технологического прогресса в отрасли.

К основополагающим принципам модернизации относятся:

- реализация системных подходов в разработке нормативных документов;
- актуализация технических требований и нормативов, приведение их в соответствие с достижениями отечественной и мировой науки, техники и технологий;
- гармонизация национальной нормативной базы с международными стандартами;
- приведение технических, экономических, юридических и социальных аспектов стандарта в соответствие с целями и принципами стандартизации в РФ, приоритетами отечественной экономической политики, современным федеральным законодательством, действующими экономическим и правовыми нормами.

Системные принципы стандартизации требуют построения иерархической структуры групп взаимосвязанных стандартов, в основе которых лежат базовые стандарты, включающие, в первую очередь, стандарты по терминологии и обозначениям, классификации объектов и аспектов стандартизации, номенклатуре показателей (качества, безопасности и т.д.) и методам контроля показателей. МГСУ неоднократно высказывался о снижении качества разрабатываемых нормативных документов, нарушении основных принципов построения, содержания, изложения, регламентируемых основополагающими стандартами.

Игнорируются требования системности, комплексности, соответствия законам РФ в области технического регулирования. Очевидно и отсутствие компетентной экспертизы. Во многих случаях отсутствует и надлежащее научное обоснование.

Непрозрачен порядок принятия документов. Неясно, почему аргументированные обращения в вышестоящие инстанции не встречают понимания и не приводят к переработке стандартов и приведению их в соответствие с требованиями ГОСТ Р 1.0-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения», а также Федеральных Законов.

Одним из базовых документов для разработки стандартов по строительству должен служить Федеральный Закон от 23 декабря 2009 года № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Этот документ дополняет и развивает положения Федерального Закона от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» применительно к стандартам в строительной области. Этот документ содержит термины и определения, а также основополагающие положения по обеспечению безопасности строительных конструкций. В соответствии с п. 7 № 384-ФЗ здания идентифицируются по уровню ответственности (повышенный, нормальный и пониженный). К зданиям и сооружениям повышенного уровня ответственности отнесены те объекты, которые в Градостроительном кодексе Российской Федерации (№ 190-ФЗ) определены, как «*технически сложные или уникальные объекты*» (статья 48.1).

Некоторые существующие и вновь разрабатываемые стандарты используют в качестве объектов стандартизации «*уникальные объекты*», однако к ним относятся настолько разные в конструктивном и функциональном отношении объекты, что объединение их в однородную группу совершенно неправомерно. Так, в соответствии с №

190-ФЗ к уникальным объектам относятся «объекты капитального строительства, в проектной документации которых предусмотрена хотя бы одна из следующих характеристик:

1) высота более чем 100 метров;

2) пролеты более чем 100 метров;

3) наличие консоли более чем 20 метров;

4) заглубление подземной части (полностью или частично) ниже планировочной отметки земли более чем на 10 метров;

5) наличие конструкций и конструкционных систем, в отношении которых применяются нестандартные методы расчета с учетом физических или геометрических нелинейных свойств, либо разрабатываются специальные методы расчета» Это, как минимум, *четыре совершенно различные группы* объектов стандартизации.

Иногда, в учебниках, статьях, материалах различных конференций, и даже в стандартах используют термины «*высотные здания*» и «*большепролетные здания*», хотя в действующих нормативных документах *эти термины никак не определены*.

По результатам обследования строительной конструкции необходимо назначить категорию технического состояния. Существующие многочисленные классификации технического состояния зданий и сооружений не взаимоувязаны, не имеют общей основы и приводят к разночтениям. Говорить о стандартизации в такой ситуации достаточно сложно.

Одна из систем для оценок технического состояния использует категории: «нормативное», «работоспособное», «ограниченно-работоспособное», «предаварийное и аварийное». Речь идет о ГОСТ Р 53778-2010 по обследованию и мониторингу, который приказом Росстандарта заменяется с 01.01.2014 г. на ГОСТ 31937-2011 с одноименным названием. Авторы этого стандарта используют собственную понятийную базу, которая не применяется ни в других нормативных документах, ни в Федеральных Законах, а также выдвигают не обоснованные никакими научными исследованиями положения. Так, например, ничем не подтверждено положение этого документа о том, что обследование всех без разбора зданий и сооружений должно проводиться раз в 10 лет, а зданий, находящихся в неблагоприятных условиях – 1 раз в 5 лет. Обоснований этому в научной литературе нет. Или, например, обязательное требование об определении характеристик колебаний всех зданий и сооружений (без какого-либо отличия) вдоль «продольной и поперечной оси», в

другом месте документа – «вдоль большой и малой оси». Это требование возникает только в приложениях, в основном тексте об этом ничего не говорится. Возникает много вопросов, касающихся методики и, даже, возможности его применения. А если здание не имеет продольной оси (П- или Г-образная форма в плане)? А если объект обследования – сооружение временного назначения (парник, или сарай), или подземное сооружение? Известно, что каркасные и бескаркасные здания под воздействием нагрузок ведут себя по-разному и, естественно, стоило бы уточнить различие в методиках исследования колебаний. В этом ГОСТе также совсем не учитываются уровни ответственности зданий и сооружений.

Группа ученых МГСУ на заседаниях Научно-технического совета рассматривала положения ГОСТ Р 53778-2010, после чего в адрес соответствующих инстанций было отправлено экспертное заключение с предложениями по его улучшению. В новый ГОСТ 31937-2011 по сравнению со старым документом внесены незначительные изменения, но большинство положений, которые были подвергнуты критике, остались прежними.

С 01.01.2014 вступает в действие новый ГОСТ 32019-2012 «Мониторинг технического состояния уникальных зданий и сооружений». К сожалению, широкого обсуждения этого ГОСТа так и не состоялось. Как уже было отмечено ранее, термин «уникальные здания и сооружения» включает в себя настолько различные группы объектов стандартизации, что разработка положений по их мониторингу представляет собой очень сложную, а, скорее всего – невыполнимую задачу.

Другая система оценок технического состояния представлена, например, в СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений». Она оперирует такими категориями, как «нормальное», «удовлетворительное», «неудовлетворительное» и «предаварийное и аварийное». Преимуществами этой системы оценок является то, что расшифровка категорий строится на понятиях предельных состояний, которые являются базовыми в строительстве. Можно привести еще ряд систем оценок, которые обсуждались в статье, опубликованной ранее авторами доклада.

В 2010-2011 годах были обновлены основные нормативные документы, касающиеся проектирования и расчета конструкций из разных материалов. СНиПы были переименованы в СП. Переработаны, иногда, значительно, некоторые разделы. Занимались разра-

боткой документов различные организации, по-видимому, не согласуя их между собой и широкой научной общественностью. Отметим, например, не вдаваясь в глубокое обсуждение документов, что в СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции» и СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции» условия прочности при растяжении стержней записываются по-разному. Такой далеко не системный подход к базовым формулам сопротивления материалов неправомерен, так как игнорирует физические основы расчета на прочность. В СП по деревянным конструкциям площадь поперечного сечения стержня обозначается латинской буквой *F*, что не соответствует международным требованиям к обозначениям, предъявляемым в СТ СЭВ 1565 «Буквенные обозначения».

Претензии к вновь разрабатываемым или обновляемым нормативным документам, многочисленные установленные процедуры прохождения этих документов к утверждению не выполняются.

МГСУ – высшее учебное заведение. Готовя инженерные и научные кадры, мы не можем опираться на небрежно, а порой, безграмотно составленные «нормативные» документы.

Необходимо развивать собственную нормативную базу, опираясь, возможно, на Федеральные целевые программы, внося, таким образом, лепту и в их реализацию – на подлинно научной основе.

***Джинчвелашвили Г.А.,*** *к.т.н., профессор*
***Мкртычев О.В.,*** *д.т.н., профессор*
***Келешев М.Ф.,*** *к.т.н., доцент*
ФГБОУ ВПО «МГСУ»

# ПРОТИВОРЕЧИЯ В НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТАХ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ И ПУТИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ

Г.А. Джинчвелашвили

Основная задача сейсмостойкого строительства – обеспечение безопасности людей в сейсмических районах. На сегодняшний день эта задача не имеет удовлетворительного решения.

Общепринятый расчет сооружений на сейсмостойкость, основан на сопоставлении усилий (или напряжений), вызываемых внешней нагрузкой, с предельно допустимыми величинами внутренних сил (или напряжений), которые могут быть восприняты в соответствующих сечениях конструкции.

Сказать что-либо о сейсмостойкости, запроектированной таким образом конструктивной системы, вообще-то ничего нельзя. Следовательно, мы получаем сооружение с неизвестным уровнем сейсмостойкости.

В тоже время, как свидетельствует опыт развитых стран, никакой фатальной неизбежности ущербов и потерь от землетрясений нет.

Решение данной проблемы, по нашему мнению, здесь видится, прежде всего, в необходимости разработки нормативных документов нового поколения и внедрения в практику методов проектирования с заданным уровнем сейсмостойкости.

Авторы недавно были командированы в Британский институт стандартов (BSI). За круглым столом состоялся обмен мнениями с ведущими разработчиками Еврокода 8, по вопросам нормирования в области сейсмостойкого строительства и о том, как эти вопросы отражены в Еврокодах и отечественных нормативных документах.

Ключевыми положениями Еврокода 8 являются следующие:

- определены критерии сейсмостойкости: необрушение и ограничение ущерба;

- привязка к предельным состояниям: абсолютное предельное состояние и ограничение эксплуатационных свойств сооружения;

- двухуровневый расчет на ПЗ (повторяемость раз в 95 лет) и МРЗ (раз в 475 лет), которые с определенными оговорками могут быть привязаны к нашим ПЗ и МРЗ;

- концептуальное проектирование: перед началом проектирования конструктор, архитектор, ГИП, заказчик-инвестор собираются вместе и выбирают конструктивную систему сооружения, в рамках заданных параметров (материал, высоту, конструктивную систему, класс пластичности, т.е. места образования пластических шарниров и зон рассеяния энергии);

- применение различных методов расчета (в том числе нелинейных) в зависимости от конструктивных систем сооружений: линейно-спектральный метод (ЛСМ); нелинейный статический метод (НСМ); и нелинейный динамический метод (НДМ).

В принципе эти положения являются достижениями теории сейсмостойкости и не вызывают никаких сомнений у специалистов и за рубежом, и у нас.

Рассмотрим с этих позиций СП 14.13330.2011 «Строительство в сейсмических районах» в редакции 2013г. (далее СП).

Прежде всего, отметим следующее. При обсуждении выяснилось, что не все участники семинара были ознакомлены с новой редакцией СП: на сайте Минрегиона РФ, ЦНИИСК и НОСТРОЯ до сих пор вывешена редакция СП 14.13330.2011, а о заключительной редакции этого же СП, почти никому известно не было.

Более того, существовало несколько последовательных редакций актуализированных норм, которые одинаково обозначались как «первая редакция». В итоге окончательный, цельный документ, рекомендуемый/обсуждаемый для включения в Перечень норм обязательного применения, фактически не был доступен для ознакомления.

В СП критерии сейсмостойкости не определены в явном виде. В документе говорится о предотвращении:

1) частичной или полной потери эксплуатационных свойств сооружением;

2) глобального обрушения сооружения или его частей, создающего угрозу безопасности людей.

Вышеприведенные критерии не привязаны к предельным состояниям (ПС), определенным ГОСТ Р 54257-2010: I и II группа ПС и абсолютное ПС.

В СП декларируется двухуровневый расчет на ПЗ и МРЗ, однако используется только одна карта и по сути один метод расчета (спектральный с коэффициентом неупругой работы $K_1$). В рецензируемом документе также нет алгоритма, как добиться недопущения декларируемых ПС.

Все это позволяет утверждать, что СП: а) не гармонизирован с Еврокодом 8; б) не опирается на базовые положения существующей отечественной системы нормативных документов; в) не принят проектировщиками, т.к. невозможно проектировать на практике из-за внутренних противоречий.

Отсюда следует, что в запроектированных по отечественным нормам зданиях и сооружениях не определен уровень сейсмостойкости.

Для выхода из создавшейся тупиковой ситуации в МГСУ разработан Стандарт организации (СТО) «Строительство в сейсмических районах». В разработанном документе сделан шаг вперед в отношении оптимального проектирования сейсмостойких конструкций. А именно:

**1. Включено положение о двухуровневом расчете на сейсмические воздействия на ПЗ и МРЗ.**

За срок службы сооружения на данной строительной площадке:

- с определенной вероятностью произойдет «сильное» или «катастрофическое» землетрясение. Такое землетрясение принято называть МРЗ (максимальное расчетное землетрясение с повторяемостью раз в 500 лет).

**2. Введены четкие критерии сейсмостойкости.**

- Прочностной критерий (по I группе ПС) при расчете на ПЗ, т.е. при частых землетрясениях «умеренной силы», в несущих конструкциях не имеются остаточных деформаций.

- Критерий необрушения (по особому ПС): устойчивости к прогрессирующему обрушению при расчете на МРЗ), т.е. при редком сейсмическом воздействии, несущие конструкции могут быть значительно повреждены.

**3. Рассмотрены элементы концептуального проектирования.**

Общемировой опыт проектирования сейсмостойких зданий свидетельствует о том, что в наибольшей степени обеспечению сейсмостойкости отвечает свойство регулярности здания, как в плане, так и по высоте, а также простота конструктивного решения и др. Концептуальное проектирование выполняется перед началом разработки

проектной документации и выбирается четкая конструктивная система сооружения, в рамках заданных параметров.

**4. Введены категории сложности конструктивной схемы здания.**

Классификация зданий по категории сложности конструктивной схемы приведена в зависимости от высоты здания, пролета несущих конструкций каркаса и максимального вылета консоли.

**5. Применение различных методов расчета (в том числе нелинейных) в зависимости от конструктивных систем сооружений.**

В расчетах на сейсмические воздействия, аналогично с Еврокодом 8, используются следующие методы: ЛСМ, НСМ и НДМ. Эти расчеты выполняются в зависимости от категории сложности конструктивной схемы здания.

**Основные выводы**

1. Разработана концепция норм сейсмостойкого строительства нового поколения, позволяющая проектировать здания и сооружения с заданным уровнем сейсмостойкости.

2. Актуализированная редакция не гармонизирована с Еврокодом 8 и не отвечает современным требованиям, предъявляемым к проектированию сейсмостойких зданий и сооружений.

3. В тексте СП 14.13330.2011 в редакции 2013 г. множество противоречий и ошибок, которые разбалансировали и ухудшили достаточно уравновешенные и логичные предыдущие нормы СНиП II-7-81*.

4. Базовые термины и определения не соответствуют содержанию, смыслу и самой структуре нормативного документа.

5. Для проектирования зданий и сооружений с заданным уровнем сейсмостойкости необходимо:

- использование современных достижений науки, в частности теории сейсмостойкости;
- привлечение для научно-технического сопровождения проектирования и строительства ведущих научно-исследовательских организаций, обладающих реальным научным потенциалом;
- разработка нормативных документов нового поколения

6. Разработанный в МГСУ СТО лишен указанных недостатков и является нормативным документом нового поколения, т.к. в нем используются достижения современных методов расчета, он гармонизирован с Еврокодом 8 и не противоречит системе отечественных нормативных документов.

7. СТО уже содержит положения, которые планируется внести в новое поколение Еврокода 8 в 2014-2020 гг.

***Чернов Ю.Т.,*** *д.т.н., профессор*
***Петров И.А.,*** *инженер*
ФГБОУ ВПО «МГСУ»

# НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ И ЗАДАЧИ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ И СИСТЕМ ВИБРОЗАЩИТЫ С КОНСТРУКТИВНОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ

Методы динамического расчета нелинейных систем, рассматриваемые в докладе:

1. Аналитический метод (удобен при расчете систем с выключающейся связью; рассматриваются колебания систем до и после выключения связи);

2. Численно-аналитический метод (для произвольных типов физической и конструктивной нелинейности – основан на решении интегральных уравнений второго рода, к которым сводятся нелинейные уравнения движения).

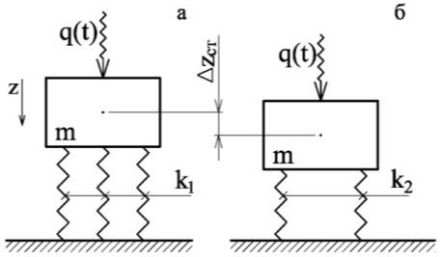



Рис. 1. Система с одной степенью свободы

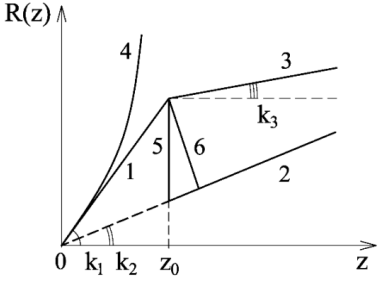



Рис. 2. Зависимость реакция-смещение для различных типов нелинейностей

Аналитический метод удобно показать на примере системы с одной степенью свободы (рис. 1). Рассматриваются последовательно две линейные системы – до и после выключения связи (системы «а» и «б» соответственно). В результате выключения связей в системе «а» центр масс в системе «б» оказывается отклоненным на величину $\Delta z_{ст}$, которая вычисляется по формуле:

$$\Delta z_{ст} = mg(\delta_1 - \delta_2) \qquad (1)$$

$$\delta_1 = 1/k_1, \quad \delta_2 = 1/k_2, \qquad (2)$$

где $\delta_1, \delta_2$ – податливости упругих элементов в системе до и после выключения связи.

Начальные условия для системы «б»:

- связь выключается, когда система «а» находится в состоянии покоя

при $t = 0, \quad z_2(0) = \Delta z_{ст}, \ \dot{z}_2(0) = 0.$ (3)

Уравнение движения без учета затухания будет иметь вид:

$$z(t) = \Delta z_{ст} \cos p_2 t \tag{4}$$

- связь выключается в процессе колебаний системы «а»

при $t = t_0, \quad z_2(0) = z_1(t_0) + \Delta z_{ст}, \ \dot{z}_2(0) = \dot{z}_1(t_0).$ (5)

где $t_0$ – время выключения связей.

По аналогии с (3), (5) в докладе даны начальные условия также и для систем с конечным числом степеней свободы. Выполнен пример расчета фермы с параллельными поясами при внезапном выключении раскоса.

Численно-аналитический метод также удобно показать на примере системы с одной степенью свободы. Уравнение движения такой системы:

$$m\ddot{z} + R_d(z) = q(t), \tag{6}$$

где $R_d(z) = \left(1 + 2\nu_1 \frac{d}{dt}\right) c(z) z -$ (7)

– полная реакция системы с учетом диссипативных сил; $c(z)$ – упругая реакция системы; $\nu_1 = n_1 / p_1^2$ – диссипативный коэффициент.

Оставив в левой части (6) линейный оператор, уравнение движения принимает вид:

$$\ddot{z} + 2n_1\dot{z} + p_1^2 z = \frac{q(t)}{m} + \left(1 + 2\nu_1 \frac{d}{dt}\right) f(z), \tag{8}$$

где $f(z) = \frac{1}{m}\left[k_1 z - R(z)\right]$ (9)

– «фиктивная» нагрузка; $R(z) = c(z) z$ – нелинейная реакция; $k_1 = c(0)$ – начальная жесткость системы.

Решение (8) можно записать в виде интеграла Дюамеля как сумму перемещений в исходной линейной системе от внешней нагрузки и от «фиктивной» нагрузки, зависящей от нелинейной реакции системы:

$$z(t) = z_{lin}(t) + w(t) = \frac{1}{m}\int_0^t q(\tau) V_1\left(p_1^*, t - \tau\right) d\tau + \int_0^t f\left[z(\tau)\right] V_2\left(p_1^*, t - \tau\right) d\tau. \tag{10}$$

Решение (10) строится шаговым методом по времени с итерациями на каждом шаге. Такой алгоритм, не изменяя своей структуры, позволяет рассчитывать системы при произвольных воздействиях и характере физической и конструктивной нелинейности, в частности, показанных на рис. 2. В качестве примеров в докладе приведены расчеты нелинейной виброизолированной системы как системы с одной степенью свободы и одномассовой системы с нелинейным динамическим гасителем колебаний как системы с двумя степенями свободы.

***Евзеров И.Д.,*** *д.т.н.,*
*научный руководитель проекта «ЛИРА 10.2»* (Киев)
***Гераймович Ю.Д.,*** *к.т.н.,*
*техн. руководитель проекта «ЛИРА 10.2»* (Киев)
***Колесников А.В.****, гл. эксперт ООО «ЛИРА софт» (Москва)*

## РАСЧЕТ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ЛИРА 10.2

*Аннотация. В статье представлены основные возможности расчета на сейсмические воздействия новой версии программного комплекса ЛИРА – версии 10.2.: расчет прямым динамическим методом, КЭ неотражающих границ, расчет сейсмоизоляции*

В ПК ЛИРА 10.2 реализованы расчеты на сейсмические воздействия по строительным нормам Российской Федерации, Армении, Узбекистана, Украины, Туркменистана, Казахстана, Таджикистана, Азербайджана, Грузии, США, Eurocode, Алжира и Турции. Также реализованы модули расчета по однокомпонентной и трехкомпонентной акселерограммам землетрясений, модуль расчета по спектру реакции (ответ-спектр) и модуль прямого интегрирования уравнений движения.

Для решения проблемы динамического расчета конструкций используют два основных метода: прямое интегрирование и разложение по собственным формам колебаний. Метод разложения по собственным формам можно применять только в рамках линейного расчета, так как принцип суперпозиций недействителен в рамках нелинейной теории. Методы же прямого интегрирования носят об-

щий характер и могут применяться для решения всех задач динамического расчета конструкций.

Практические способы расчета базируются на динамическом анализе сооружений, как упругих систем. Значительная часть методов расчета (в том числе и регламентированных строительными нормами) основана на проекционном методе разложения решения по формам собственных колебаний. Для определения форм собственных колебаний решается частичная проблема собственных значений

$$\mathrm{K}\bar{\varphi}_\mathrm{i} = \omega_\mathrm{i}^2 \mathrm{M}\bar{\varphi}_\mathrm{i},$$

где $\omega_\mathrm{i}^2$ – квадраты собственных частот, соответствующих собственным формам колебаний $\varphi_i, i = 1,2,...,m$; $\Phi = [\bar{\varphi}_1, \bar{\varphi}_2, ..., \bar{\varphi}_m]$.

Для решения частичной проблемы собственных значений используется метод итерации подпространства. Собственные вектора удовлетворяют граничным условиям и обладают свойствами ортогональности

$$\bar{\varphi}_\mathrm{i}^\mathrm{T} \mathrm{M}\bar{\varphi}_\mathrm{j} = 0, \;\; \bar{\varphi}_\mathrm{i}^\mathrm{T} \mathrm{K}\bar{\varphi}_\mathrm{j} = 0, \;\; \mathrm{i} \neq \mathrm{j}.$$

После определения частот – собственные формы колебаний нормируются по отношению к матрице масс, то есть

$$\Phi^T M \Phi = E.$$

Если предположить, что соответствующие условия ортогональности применимы к силам затухания, представленным матрицей демпфирования $C$, то система уравнений относительно обобщенных координат распадается на отдельные уравнения

$$y_i + 2\xi\omega_i \dot{y}_i + \omega_i^2 y_i = -\sum_{j=1}^{3}\left(\Phi^T M \bar{v}_j u^j_{g\,lin}(t)\right) - \sum_{j=4}^{6}\left(\Phi^T M \bar{v}_j u^j_{g\,rot}(t)\right), \; i = 1,...,m,$$

где исходные перемещения аппроксимируются этой формулой

$$\bar{u}(t) = \Phi \bar{y}(t).$$

В ПК ЛИРА начиная с версии 9.4 при решении задач динамики во времени и при определении собственных пар, наряду с диагональной используется и согласованная матрица масс, построенная по тем же аппроксимирующим функциям, что и строилась матрица жесткости. При таком подходе учитывается и инерция вращения – появляются “крутильные” элементы матрицы масс.

На примере плоского стержневого элемента показано отличия диагональной и согласованной матриц масс.

| Диагональная | Согласованная |
|---|---|
| $\frac{\rho FL}{2}\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & 1 & 0 & 0 \\ & \text{Симметрично} & & & 1 & 0 \\ & & & & & 0 \end{bmatrix}$ | $\frac{\rho FL}{420}\begin{bmatrix} 140 & 0 & 0 & 70 & 0 & 0 \\ & 156 & -22L & 0 & 54 & 13L \\ & & 4L^2 & 0 & -13L & -3L^2 \\ & & & 140 & 0 & 0 \\ & \text{Симметрично} & & & 156 & 22L \\ & & & & & 4L^2 \end{bmatrix}$ * |

Выражение (*) впервые было получено Зенкевичем и Ченгом. Для матрицы распределенных масс элемента был введен термин “согласованная матрица масс”.

При замене согласованной на диагональную матрицу масс, вычисление собственных частот становится намного проще, но при этом значения полученных частот приблизительны особенно для высших собственных пар.

В качестве примера, показывающего отличия при использовании диагональной и согласованной матриц масс, рассматривается пространственная конструкция с искусственно введенной асимметрией.

Колонны сечением 25х25см, плита толщиной 20 см, модуль упругости материала конструкции 3.e6 т/м$^2$, за исключением колонны, показанной на рисунке фиолетовым цветом – у нее модуль упругости равняется 3.e8 т/м$^2$. Внизу конструкция жестко защемлена. Стержни предполагаются невесомыми. На плиту приложена равномерно-распределенная нагрузка 1.8т/м$^2$ (рис. 1):

| **Частота, Рад/с** | **Различная конечноэлементная аппроксимация** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Элементов/Узлов** | **5/8** | **12/17** | **32/41** | **96/113** | **320/353** | **1152/1217** |
| **Согласованная матрица масс** | **11.793** | **11.343** | **10.938** | **10.607** | **10.326** | **10.083** |
| **Диагональная матрица масс** | **9.6629** | **10.741** | **10.783** | **10.569** | **10.317** | **10.081** |

При необходимости выполнить сейсмический расчет установленного в здании оборудования, применяют способ, который заключается в использовании так называемых поэтажных акселерограмм и поэтажных спектров отклика. Т.е. после расчета здания или сооружения на сейсмическое воздействие получают для точек прикрепле-

ния оборудования законы колебаний – обычно акселерограммы. Их можно непосредственно использовать для расчета оборудования методом прямого интегрирования или по модулям расчета на акселерограммы землетрясений. Если же необходимо рассчитать по спектральной теории сейсмостойкости, то для этой цели вычисляют поэтажные спектры отклика от поэтажных акселерограмм с дальнейшей возможностью использования полученных спектров отклика в 41 модуле динамики.

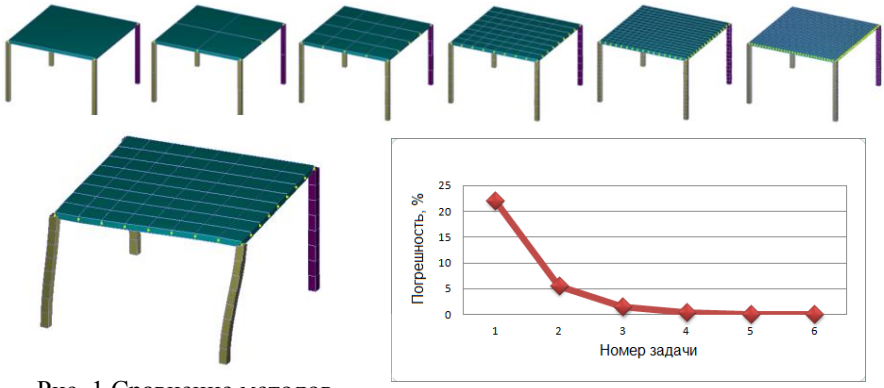



Рис. 1 Сравнение методов

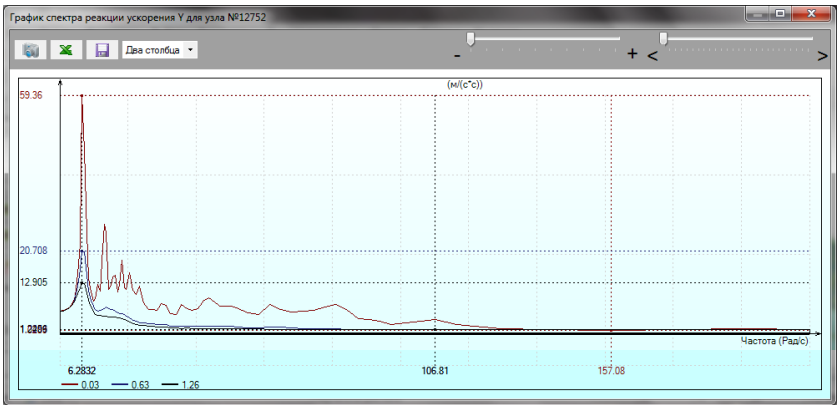



Рис. 2. Спектры реакции

Для выделенного узла, при логарифмических коэффициентах затухания 0.03, 0.63 и 1.26, были вычислены спектры отклика (рис. 2). При задании в списке узлов нескольких узлов выполняется вычисление спектра отклика по каждому узлу, а затем осреднение полученных спектров отклика.

Сейсмическая реакция системы грунт-сооружение может быть определена методами численного интегрирования общих уравнений движения. Для этого составляется расчетная модель, куда входит само сооружение и некоторая область основания. При статических расчетах достаточно выбрать такой размер грунтовой области, чтобы краевые эффекты на ее внешних границах не сказывались на напряжениях под сооружением. Если же задать такую ограниченную область основания при сейсмических расчетах, то волны, отраженные от фундамента, которые при реальном землетрясении беспрепятственно уходят в полубесконечное основание, будут отражаться от границ области и возвращаться к сооружению, тем самым искажая его колебания. Чтобы этого не происходило, следовало бы удалить границы грунтовой области настолько, чтобы эти волны за время землетрясения не успели дойти обратно. Но в действительности такое выполнить нереально, т.к. полученная расчетная схема превысит все мыслимые размерности.

Для возможности расчета таких задач в новой версии реализованы конечные элементы не отражающих границ. Т. е. на краях грунтовой области ставятся конечные элементы не отражающих границ имитирующие беспрепятственное прохождение волн. Для плоских расчетных схем – это двухузловые КЭ, для пространственных расчетных схем – это трех- и четырех-узловые КЭ

На этом слайде показаны две расчетные схемы: у одной края области закреплены соответствующими связями, у другой на краях области поставлены конечные элементы не отражающих границ. Не отражающие граничные условия задаются в виде

$$\sigma_n = c_n \rho u'_n,\ \sigma_\tau = c_\tau \rho u'_\tau,$$

где $c_n,\ c_\tau$ – скорости продольной и поперечной волн, $\rho$ – плотность грунта

На грунт приложен собственный вес и динамическая нагрузка в виде импульса.

На рис. 3 показаны графики кинетической энергии для первой и второй расчетных схем. Красной линией показывается окончание действия нагрузки, синей – максимум кинетической энергии. График кинетической энергии ($\frac{1}{2}\dot{\vec{u}}_t^T M \dot{\vec{u}}_t$), который выводится в процессе интегрирования, позволяет интегрально судить о характере прохождения процесса. Если дальнейшее интегрирование не пред-

ставляет интереса, есть возможность прервать процесс интегрирования и просмотреть результаты до точки прерывания. Как видно по графикам кинетической энергии в первой расчетной схеме продолжают происходить интенсивные колебания, в то время как во второй схеме колебания прекратились.

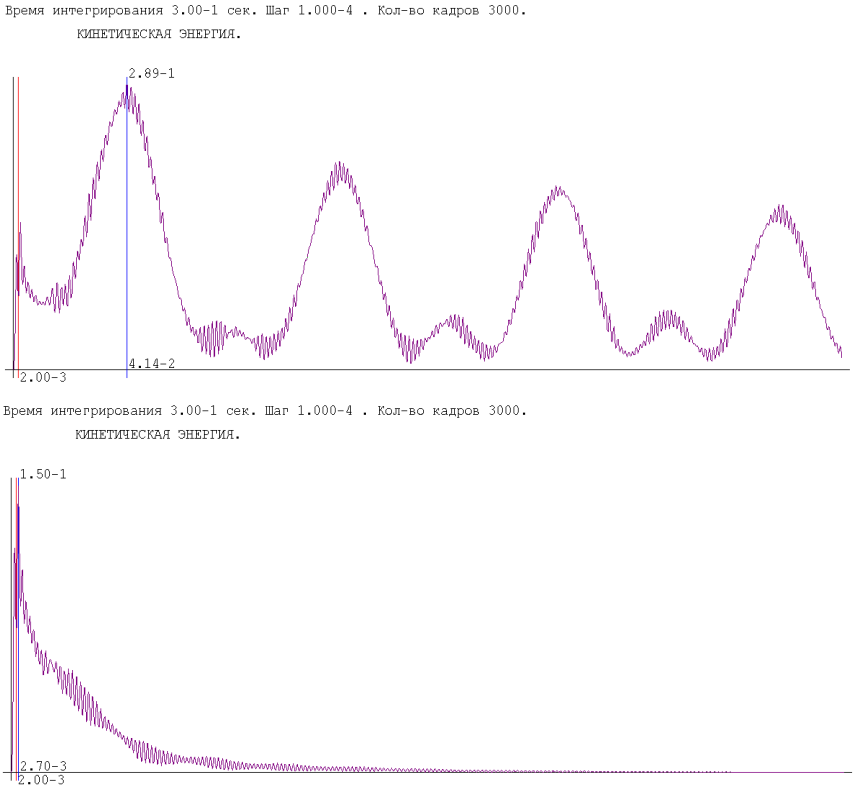



Рис. 3. Кинетическая энергия без применения КЭ неотражающих границ и с их применением

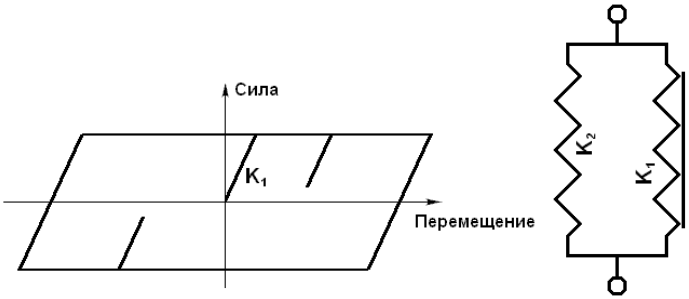
Решение проблемы сейсмостойкости зданий за счет усиления их прочности – первое с чего началась практика сейсмостойкого строительства. Но наряду с методами повышения несущей способности конструкций разрабатываются альтернативные пути обеспечения сейсмостойкости зданий и сооружений – путем снижения инерционных сейсмических нагрузок. Использование сейсмоизолирующих опор является одним из прогрессивных методов сейсмозащиты зда-

ний и находит широкое применение при реализации систем сейсмозащиты за рубежом.

На примере, представленного на рисунке здания (рис. 4), попробуем оценить эффективность сейсмозащиты при помощи резинометаллических сейсмоизоляторов.

График спектрального коэффициента динамичности для грунта I категории по сейсмическим свойствам из СП 14.13330.2011 приведен ниже. Т.е. только за счет установки сейсмоизолирующих опор практически в 2 раза снижены нагрузки от сейсмики.

Для моделирования действительной диаграммы работы опор типа GZP400V5A подойдут конечные элементы типа 55. Т. к. диаграмма работы этого типа опор практически линейна. В ПК ЛИРА есть конечный элемент типа 255 с учетом предельных усилий и его диаграмма работы представлена на рисунке. Для моделирования действительной диаграммы работы опор типа GZY400V5A необходимо ввести параллельно еще и линейный конечный элемент типа 55 – создав тем самым комбинированный элемент. Ниже представлены этапы нагружения полученного комбинированного элемента и полученная при этом нагружении диаграмма работы:



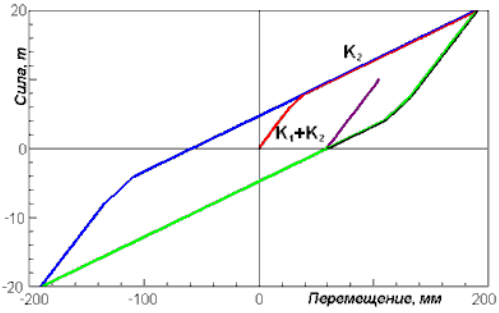



**Схема расположения сейсмоизолирующих опор**

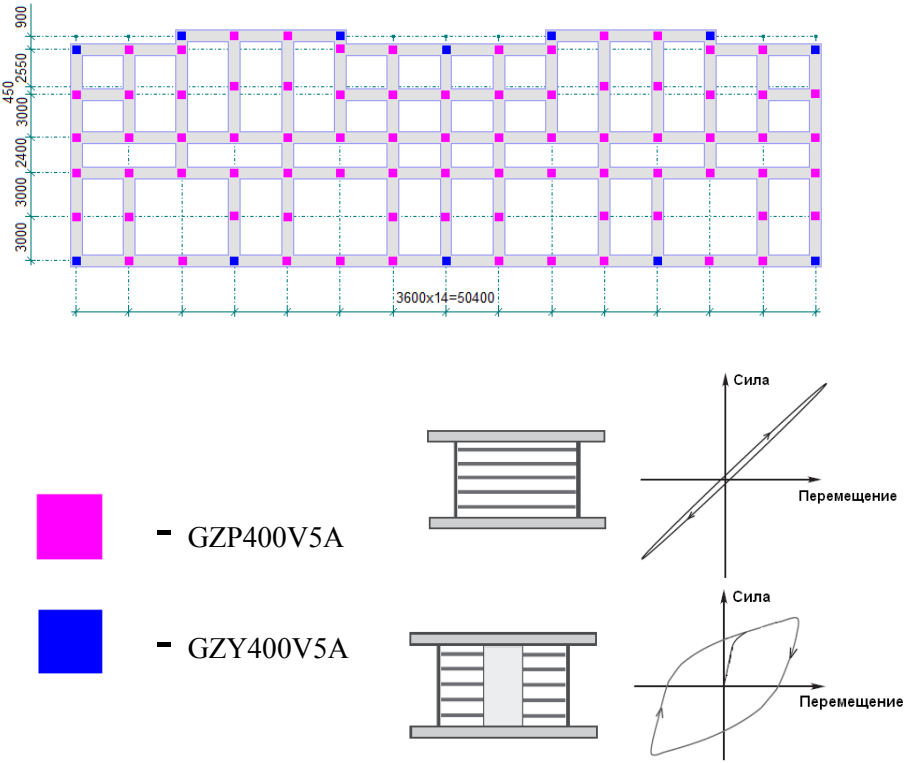



Рис. 4. Расчет сейсмоизолированного здания

Система сейсмозащиты при помощи резинометаллических сейсмоизолирующих опор приводит к существенному снижению сейсмической нагрузки. В отличие от здания без сейсмозащиты характер деформирования здания с сейсмозащитой носит ярко выраженный поступательный характер. Здание колеблется как одно целое, что приводит к более равномерным изменениям усилий во времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бате К., Вилсон Е.* Численные методы анализа и метод конечных элементов. М.: Стройиздат, 1982.

# ТЕЗИСЫ ДОКЛАДА ЗАОЧНЫХ УЧАСТНИКОВ СЕМИНАРА

***Смирнов С.Б.,*** *д-р техн. наук, профессор кафедры «Строительная механика»* (ФГБОУ ВПО «МГСУ», РФ)
***Ордобаев Б.С.,*** *к-т техн. наук, и. о. профессора, зав. кафедрой ЗЧС*
(КРСУ им. Б.Н Ельцина, Кыргызская Республика)
***Абдыкеева Ш.С.,*** *аспирантка кафедры ЗЧС*
(КРСУ им. Б.Н. Ельцина, Кыргызская Республика)

## НЕДОСТАТОК ИНФОРМАЦИИ О РЕАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

По нашей инициативе, строго обоснованной в Кыргызском государственном университете строительства, транспорта и архитектуры в октябре 2009 года [1], [2] были проведены принципиально важные тестовые эксперименты. В них исследовалась способность стандартных маятниковых сейсмических приборов точно отображать заданные колебания виброплатформы, имитирующих колебания грунта при землетрясениях разной интенсивности.

При этом были получены ожидаемые нами крайне важные результаты. Согласно официальной сейсмической теории, маятниковые приборы должны в точности отображать параметры установившихся гармонических колебаний их основания (будь то грунт или виброплатформа). Поэтому предложенные нами эксперименты, казалось бы, не имели смысла, т.к. их результат был предсказуем и самоочевиден с точки зрения официальной сейсмической науки.

Тем не менее, мы настояли на необходимости проведения таких экспериментов.

Для того чтобы объяснить их смысл, а также сделать понятным смысл и значение полученных результатов, надо изложить суть наших теоретических изысканий, приведших к проведению подобных экспериментов.

Начиная с 1992 года, в ряде работ (например, в [2]-[6]) мы регулярно утверждали, что маятниковые сейсмические приборы не отображают реальные параметры импульсных сейсмических движений грунта, занижая величины их ускорений и скоростей. Эти утверждения были основаны на всесторонних исследованиях аномальных сдвиговых форм при массовых сейсмических разрушениях зданий и их элементов. Эти формы не могли быть вызваны теми низкоскоро-

стными колебаниями грунта, которые всегда фиксируются стандартными сейсмометрами и акселерометрами. Они могут быть вызваны лишь волновыми импульсами, создающими скорость в грунте не ниже чем $2^{м}/с$, которая может вызвать волновой срез колонн и стен [3]–[5].

Результаты этих исследований приведены во многих наших публикациях.

На основе анализа этих результатов мы дали свою интерпретацию сейсмических процессов, приводящих к появлению сдвиговых форм разрушения зданий, описанную в работах [1], [7], [8]. Ее суть состоит в следующем:

- при землетрясениях в поверхностной толще грунта, ответственной за разрушения зданий, происходят два качественно разных процесса; первичный – волновой процесс и вторичный – колебательный процесс. При этом первый процесс, может, накладываться на второй;

- они принципиально различны по своим параметрам (скоростям и ускорениям грунта), по силе и механизму воздействия на сооружения, по длительности, а также по наличию информации об этих процессах;

- первичный – сугубо волновой процесс внешне проявляется в виде резких толчков и является главной причиной сейсмических разрушений зданий и сооружений. Его почти не фиксируют маятниковые сейсмические приборы на фоне последующих колебаний грунта.

Суть этого процесса, описанного в [7], [8] состоит в следующем: поперечные сейсмические волны (то есть волны сдвига), пробегая вверх через податливую поверхностную толщу грунта, имеющую большой градиент модулей **E** и **G**, резко замедляются, но при этом существенно наращивают свой разрушительный потенциал, увеличивая скорость верхних слоев грунта. Затем отражаясь от поверхности грунта, волны удваивают скорость и наносят боковые удары по фундаментам зданий, производят волновой срез их колонн и стен.

Одновременно с этим эффектом усиления поверхностная толща поглощает часть энергии волн за счет неупругих деформаций грунта.

При прохождении волн по кратчайшему вертикальному пути это поглощение минимально и составляет примерно 20 %. В дальних зонах возле границ области разрушения длина пути волн сквозь неупругую верхнюю толщу возрастает более чем 5 раз и поэтому волны, идущие к зданиям напрямую от гипоцентра, полностью теряют

свою разрушительную силу, т.к. поглощение энергии волн за счет не упругости составляет уже 100 %.

Именно поэтому, в отличие от эпицентральных и средних волн, где разрушения производят первичные волны сдвига (совместно с продольными волнами) в зонах вдали от эпицентра, возле границ области разрушения тот же сейсмический срез зданий производят уже не первичные, а вторичные волны сдвига, порожденные непосредственно под зданиями продольными волнами, которые пробегают на глубине свыше **100 м** с большими скоростями.

Поверхностная толща грунта (глубиной 100-150 м) имеет очень большой градиент в величинах своих модулей деформации **E** и сдвига **G**. Именно поэтому она обладает уникальным свойством усиливать более чем на порядок волновую скорость массы грунта за счет резкого снижения фазовой скорости пересекающих ее волн [7], [8].

Судя по характеру типовых сейсмических срезов железобетонных колонн, волновые скорости верхних слоев грунта при толчках имеют величины не ниже 2-х м/с и достаточно крутой фронт своего подъема и падения, которому отвечают краткие всплески ускорений. Эти всплески, разумеется, не могут уловить маятниковые акселерометры, нацеленные на фиксацию только колебаний грунта.

После каждого кратковременного толчка, т.е. после резкого волнового сдвига поверхностной толщи грунта, длящегося не более чем 0,2 сек., наступает вторичный – колебательный процесс. Сдвинутая волнами толща начинает совершать собственные затухающие сдвиговые колебания, детально описанные в [1].

Принципиальная разница между волновыми и колебательными сейсмическими движениями грунта всегда движется только в сторону от гипоцентра, то есть не меняет знак своих скоростей и перемещений, а при колебаниях грунт периодически меняет знак своей скорости и перемещения, т.е. меняет направление движения на противоположное.

Скорости и ускорения колебаний грунта значительно ниже, чем при волновых импульсных толчках, а период колебаний близок к одной секунде.

При этом они вообще никак не отображают волновые импульсные толчки.

В работах [2]–[4] мы утверждаем, что приборы – маятники, в принципе не способны отображать разрушительные сейсмические импульсы, так как они срезают пики их ускорений в своих записях.

Впоследствии в [1] мы впервые обратили внимание на незамеченный ранее важный эффект. Он состоит, в том, что горизонтальные колебания основания маятниковых приборов, имеющие скорость **V(t)** генерируют в пружинах маятников кратковременное появление волн сдвига и волновых касательных напряжений $\tau = VC^{-1} G$, которые существенно влияют на картину движения маятников. (здесь **G** – модуль сдвига, а **C** – скорость волны сдвига в пружине маятника).

В частности, движение маятника вдогонку за смешением его движущегося основания происходит в основном не за счет возвратной квазистатической реакции его изогнутой пружины, а за счет волновых касательных напряжении **τ,** вызванных действием на него скорости **V**, возникающей при колебательных движениях основания маятника и никак не учитываемых официальной теорией акселерометров и сейсмометров [9].

Вообще этот очень важный волновой эффект никак не учитывается при интерпретации стандартных акселерограмм и сейсмограмм [9].

Это должно приводить к существенному искажению реальных параметров гармонических колебаний основания маятника (то есть грунта или виброплатформы), записываемых маятниковыми приборами официальной теории [9].

Для того чтобы проверить и экспериментально подтвердить этот вывод, нами были намечены тестовые экспериментальные исследования, которые были проведены в КГУСТА в октябре 2009 года.

Суть программы состоит в следующем: на виброплатформе моделировался основной тон реальных сейсмических колебаний грунта с технической частотой в **1 герц**. В широком диапазоне ускорений от **0,1 q** до **0,5 q**.

## Выводы

1. Главный вывод из полученных нами результатов экспериментов состоит в том, что благодаря тотальному использованию только лишь маятниковых сейсмических приборов, мы до сих пор не можем иметь, и не имеем необходимой информации о разрушительных сейсмических воздействиях и это объясняет все неудачи в сейсмозащите зданий и сооружений.

2. В ближайшее время необходимо создать приборы, которые действительно смогут измерить реальные параметры сейсмических

движений грунта. Затем эти приборы следует разместить во всех потенциально сейсмоактивных зонах и это позволит довольно скоро получить, наконец, точную информацию о разрушительных сейсмических воздействиях.

3. Придется отказаться от антирезонансной стратегии сейсмозащиты зданий и признать, что реальной причиной сейсмических срезов несущих элементов зданий являются не их околорезонансные колебания, а волны сдвига. Это определит новую по-настоящему эффективную стратегию сейсмозащиты зданий.

4. Придется разработать качественно новую методику прочностного расчета зданий при землетрясениях и на этой основе создавать принципиально новые «коды» и «нормы» по проектированию и расчету сейсмических зданий и сооружений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Смирнов С.Б.* Сдвиговый механизм сейсмических колебаний грунта и качественно новые эксперименты для получения их реальных параметров, вызывающих волновой срез колонн и стен в зданиях // Объединенный научный журнал. 2009, № 12, стр. 51–55.

2. *Смирнов С.Б.* О принципиальной ошибке в традиционной трактовке записей инерционных сейсмических приборов // Жилищное строительство. 1995, № 1, стр. 23-25.

3. *Смирнов С.Б.* Ударно-волновая концепция сейсмического разрушения сооружений // Энергетическое строительство. 1992, № 9, стр.70-72.

4. *Sergey Smirnov.* Discordances between seismic destruction and present calculation // International Civil Defense Journal. 1994, №1, pp.6-7, 28-29, 46-47.

5. *Смирнов С.Б.* Обоснование причин разрушения сейсмических зданий и эффективные меры их сейсмозащиты // Энергетическое строительство. 1994, № 4, стр.68-71

6. *Смирнов С.Б.* Исследование аномальных форм в сейсмических разрушениях зданий, противоречащих официальной теории сейсмозащиты и опровергающих официальный взгляд на причины разрушения зданий при землетрясениях // Объединенный научный журнал. 2008, № 9. С. 51–59.

7. *Смирнов С.Б.* Упругая отдача сдвигаемой толщи грунта как реальная причина сейсмического среза зданий // Объединенный научный журнал. 2008, №11, стр. 57-60.

8. *Sergey Smirnov.* Seismic shears of buildings are the result of output of upper soil thickness, displaced by abyssal seismic waves // The integrated Scientific Journal. Moscow, Russia, 2009, № 7, pp. 64-68.

9. *Ray W.* Clough, Joseph Penzien. Dynamics of Structures. New York, 1975, 320 p.

# ФОТОСЕССИЯ

Начало работы семинара (выступает М.Н. Иванов)

Ход работы (выступает В.И. Смирнов)

Слайд презентации доклада В.И. Смирнова

СЕЙСМОСТОЙКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ
05

Дискуссия

Ход работы (выступает Г.А. Джинчвелашвили)

Ход работы (выступает О.В. Мкртычев)

Обсуждение проекта резолюции семинара

Завершение работы семинара

На коллективной фотографии слева направо:
Кофанов А.В. – зам. по научной работе директора ИФО МГСУ; Арутюнян М.В. – зав. лаб. «Динамика сооружений», ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко; Паушкин А.Г. – профессор кафедры «Сопротивление материалов», МГСУ; Ковальчук О.А. – директор ИФО МГСУ; Борзых Е.П. – доцент РУДН; Шабалин Г.А. – зам. зав. лаб. «Сейсмостойкость сооружений», РУДН; Курзанов А.М. – зав. лаб. «Сейсмостойкость сооружений», РУДН; Микерего Э. – аспирант РУДН; Аюнц В.А. – зам. зав. лаб. «Разработка методов расчета сооружений», ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко; Смирнов В.И. – руководитель Центра исследования сейсмостойкости сооружения, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко; Айзенберг Я.М. – научный руководитель Центра исследования сейсмостойкости сооружения, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко; Иванов М.Н. – ученый секретарь НТС МГСУ; Мкртычев О.В. – руководитель НИЛ «Надежность и сейсмостойкость сооружений» МГСУ; Грановский А.В. – зав. лаб. «Обследование и усиление сейсмостойких конструкций», ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко; Дмитриев В.Г. – профессор кафедры «Здания и сооружения на транспорте» РОАТ МИИТ; Келешев М.Ф. – ведущий научный сотрудник НИЛ «Надежность и сейсмостойкость сооружений», МГСУ; Джинчвелашвили Г.А. – главный научный сотрудник НИЛ «Надежность и сейсмостойкость сооружений», МГСУ; Колесников А.В. – главный эксперт ООО «ЛИРА софт» (Москва), МГСУ; Мондрус В.Л. – зав. кафедрой «Строительная механика», МГСУ; Синицын С.Б. – профессор МГСУ.

**Решение**
**VIII объединенного Международного**
**научно-практического семинара**
**«Надежность и безопасность зданий и сооружений**
**при сейсмических и аварийных воздействиях»**

г. Москва МГСУ, 31 октября 2013 г.

Основной целью проводимого семинара являлось содействие актуализации нормативно-технической базы, отвечающей требованиям комплексной безопасности в строительстве, тенденциям международной стандартизации и соответствующей современному уровню научно-технических методов проектирования и строительства зданий и сооружений.

Инициаторами проведения семинара выступили РУДН и МГСУ.

В работе семинара приняли участие ведущие специалисты и научные работники из таких организаций, как МГСУ, РУДН, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, ОАО ЦНИИПромзданий, РОАТ МИИТ, ЦНИИС, ИПМех РАН, ИФЗ РАН, Гипростроймост, ПСК ДОМ, ОАО «КБ Железобетон им. Якушева», КНАУФ, ООО «ЛИРА софт». Семинар тематически напрямую связан с Федеральной целевой программой «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах РФ на 2009-2018г.г.». Состоялось обсуждение предлагаемой ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко редакции СП 14.13330.2013 «Строительство в сейсмических районах». Проведенное обсуждение позволяет констатировать:

- Участники семинара удовлетворены предоставленной возможностью широкого профессионального обсуждения новых сейсмических норм и считают целесообразным в дальнейшем более широко использовать современные средства коммуникации при проведении аналогичных семинаров-совещаний.
- В процессе дискуссий выяснилось, что не все участники семинара были ознакомлены с последней редакцией СП 14.13330.2013: на сайте Минрегиона РФ, ЦНИИСК и Ностроя до сих пор размещена редакция СП 14.13330.2011. В связи с тем, что существовало несколько последовательных редакций актуализированных норм (утвержденные 20.05.11, с поправками в феврале 2012 г., с дополнениями в июне 2012 г., в редакции на 28.12.12), которые все одинаково обозначались как «первая редакция», окончательный вариант документа, рекомендуемый к обсуждению для включения в Перечень норм обязательного применения, фактически не был доступен для ознакомления. Ни одна из этих редакций не была рекомендована для применения в проектировании и строительстве.
- Участники семинара отмечают факт снижения качества вновь разрабатываемых или актуализируемых нормативных документов. Актуализированная редакция СП 14.13330.2013 «Строительство в сейсмических рай-

онах» не гармонизирована с Еврокодом 8 и не отвечает современным требованиям, предъявляемым к проектированию сейсмостойких зданий и сооружений. В тексте СП 14.13330.2013 большое число противоречий и ошибок, которые разбалансировали и ухудшили достаточно уравновешенные и логичные предыдущие нормы СНиП II-7-81*. Базовые термины и определения не соответствуют содержанию, смыслу и самой структуре нормативного документа.

С учетом вышеизложенного принято следующее РЕШЕНИЕ:

1. Учитывая отмеченные выше случаи отступления от установленного порядка информирования заинтересованных сторон о проектах нормативных документов, в результате чего многие организации и специалисты не могли своевременно ознакомиться с последней редакцией СП 14.3330.2013, просить ТК-465 и другие ответственные органы по стандартизации обеспечивать своевременное ознакомление специалистов с проектами нормативных документов в установленном порядке.

2. В связи с имеющимися недостатками и противоречиями, содержащимися в СП 14.13330.2011 в редакции 2013г., предлагается вопрос о включении этого документа в перечень рекомендуемых к утверждению сводов правил рассмотреть после его доработки с участием всех заинтересованных сторон. В настоящее время документ из этого списка исключить.

3. Для обсуждения новой редакции СП (Строительство в сейсмических районах) провести в МГСУ семинар с приглашением заинтересованных сторон.

4. Считать необходимым для учета специфики обеспечения безопасности эксплуатации сооружений, относящихся к ключевым областям строительства, дальнейшую актуализацию Свода правил «Строительство в сейсмических районах» (СП 14.13330.2013) провести с выделением требований по каждому виду строительства в отдельные модули. В качестве такого модуля разработать, утвердить и издать раздел «Транспортные сооружения» главы СНиП II-7-81 «Строительство в сейсмических районах», подготовленный специалистами по сейсмостойкости транспортных сооружений (ведущая организация ОАО ЦНИИС) для опытного применения.

5. Рекомендовать МГСУ продолжить практику регулярного проведения расширенных семинаров по рассмотрению проектов актуализации строительных норм и правил, а также программ разработки нормативных документов.

6. Для решения этих задач целесообразно создание коллегиального органа – Технического комитета (ТК) МГСУ по стандартизации с соответствующими подкомитетами, выполняющими функции координации и экспертизы в сфере технического нормирования и стандартизации в рассматриваемой области.

7. Совместно с ТК 465 рассмотреть вопрос об участии МГСУ в проведении экспертизы проектов нормативных документов.

8. Одобрить резолюцию МГСУ по итогам семинара (прилагается).

Одобрено РЕШЕНИЕМ
семинара от 31.10.2013г.

_____

Председатель семинара
О.А. Ковальчук

# Резолюция МГСУ по итогам VIII Объединенного Международного научно-практического семинара «Надежность и безопасность зданий и сооружений при сейсмических и аварийных воздействиях»

г. Москва МГСУ, 31 октября 2013 г.

1. Настоящий семинар, посвящен вопросам комплексной безопасности в строительстве – одному из приоритетных направлений научно-технической деятельности МГСУ. Основная задача семинара – **модернизация действующей нормативно-технической базы** в указанной области строительства, отвечающей требованиям и тенденциям международной стандартизации.

Семинар тематически напрямую связан с **Федеральной целевой программой «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах РФ на 2009-2018г.г.».**

2. Участие МГСУ в модернизации нормативной документации по проблематике ФЦП – это содействие выполнению ФЦП и одновременно один из наиболее эффективных путей реализации научно-технического потенциала МГСУ в целях развития отрасли. Нормативный документ – долгосрочный носитель научной информации, дающий значимый экономический эффект. Помимо выполнения чисто практических, инженерных функций, он является показателем технического, технологического и даже теоретического уровня решения проблемы, его инновационной составляющей, квалификации исполнителей, в конечном счете, уровня развития отрасли. Регулярная актуализация нормативного документа – содействие научному и технологическому прогрессу в сфере его действия.

Необходимость развития нормативно-технической деятельности МГСУ в интересах национальной экономики отмечалась в числе основных задач, стоящих перед университетом, в рекомендациях и

пожеланиях, высказанных Президентом РФ В.В. Путиным во время его визита в МГСУ, а также министром Минрегиона РФ И.Н. Слюняевым при посещении университета.

3. Семинар считает необходимым привлечь внимание к фактам **снижения качества нормативно-технических документов** – вновь разрабатываемых или актуализируемых.

МГСУ неоднократно высказывался о неприемлемом качестве некоторых нормативных документов, нарушении основных принципов построения, содержания, изложения, регламентируемых основополагающими стандартами согласно требованиям системности, комплексности, соответствия законам РФ в области технического регулирования.

**Поддержать позицию МГСУ практически способствовать повышению качества нормативных документов** путем создания в рамках НТС Технического комитета МГСУ по стандартизации в строительстве и ЖКХ с соответствующей системой подкомитетов.

МГСУ как многопрофильный университет в области строительства, архитектуры и ЖКХ способен обеспечивать системный подход при разработке нормативных документов на основе единой согласованной комплексной программы, проводить их научно обоснованную экспертизу.

4. Учитывая сложность и ответственность рассматриваемых задач, широкий диапазон связанных с ней научных вопросов, острый дефицит кадров МГСУ мог бы осуществлять **в рамках ФЦП целевую подготовку высококвалифицированных инженерных и научных кадров, а также содействовать их закреплению в сфере отечественной научно-технической деятельности.**

Иванов М.Н.
(499)188-94-01; вн-2670

## СТАТЬИ ПО ТЕМАТИКЕ СЕМИНАРА

1. *Паушкин А.Г., Черкасова Л.И., Иванов М.Н.* К вопросу о качестве современных строительных норм // Промышленное и гражданское строительство. 2013, №11.

*На нескольких примерах анализируются проблемы качества нормативных документов по обследованию технического состояния и мониторингу строительных конструкций. Отмечается, что понятийно-терминологическая база одного из стандартов отходит от общепринятой, на которой базируются законы России и современные нормативные документы в области строительства, в частности касающиеся понятия надежности строительных конструкций и связанных с этим термином предельных состояний.*

2. *Джинчвелашвили Г.А., Мкртычев О.В., Соснин А.В.* Анализ основных положений СП 14.13330.2011 «СНИП II-7-81* Строительство в сейсмических районах» (в порядке обсуждения) // Промышленное и гражданское строительство. 2011, №9, стр. 17–21.

*Анализируются основные положения СП 14.13330.2011 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах». Показано, что представленный проект свода правил следует переработать с привлечением широкого круга специалистов в области теории сейсмостойкости сооружений. Для обеспечения сейсмостойкости современных сооружений – высотных, большепролетных, сложной архитектуры и т.п., особенно не прошедших апробацию землетрясениями, обязательно следует внести соответствующие требования в актуализированный вариант СНиП II-7-81*.*

3. *Джинчвелашвили Г.А., Колесников А.В.* Развитие спектральной теории в прикладных задачах теории сейсмостойкости сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2009, №3, стр. 21–24.

*The paper presents the comparison of linear and non-linear spectra of displacements and accelerations. It is shown that in accounting non-linear material behaviour its spectral characteristics could be reduced. The developed approach can be used in analizing structures and buildings featured by elastoplastic behaviour of material.*

4. *Джинчвелашвили Г.А., Колесников А.В., Заалишвили В.Б., Годустов И.С.* Перспективы развития систем сейсмоизоляции современных зданий и сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2009, №6, стр. 27–31.

*Авторы исследуют системы сейсмоизоляции современных зданий и сооружений. Предложена методология научно-технического обоснования эффективности сейсмоизоляции. На конкретных примерах произведены нелинейные расчеты систем сейсмоизоляции. Отмечается так же важность пересмотра действующих нормативных документов и методов расчета зданий и сооружений на сейсмические воздействия.*

5. *Джинчвелашвили Г.А., Соснин А.В.* Особенности применения лёгких стальных тонкостенных конструкций при строительстве зданий различного назначения в сейсмически активных регионах России // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2010, №3, стр. 57–61.

*Авторы обращают внимание на отсутствие в современных нормах по сейсмостойкому строительству указаний, касающихся расчёта и особенностей проектирования зданий из лёгких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК). Отмечается важность проведения дополнительных экспериментальных исследований зданий, возводимых с применением указанной технологии, и уточнения методов их расчета на сейсмические воздействия.*

6. *Джинчвелашвили Г.А., Колесников А.В., Шаметай А.А., Урожаев А.В.* Расчет каркасных зданий на сейсмические воздействия с учетом развития неупругих деформаций // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2012, т.8, №4, стр. 53–60.

*Авторы рассматривают вопросы учета физической нелинейности в работе конструкций при сейсмических воздействиях. Рассмотрены различные виды диаграмм деформирования, сравниваются с экспериментами. На конкретных примерах показывается актуальность такого рода исследований и пересмотра действующих норм проектирования в сейсмически опасных районах.*

7. *Джинчвелашвили Г.А., Колесников А.В., Бондарь Н.М.* Критический анализ и перспективы развития современной теории сейсмостойкости сооружений // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2013, т.9, №1, стр. 53–58.

*Приводится критический анализ современной теории сейсмостойкости и рассмотрены перспективы ее развития. Доказывается необходимость переосмысления понятия сейсмостойкости на базе инкрементальной теории, что дает возможность исследования геометрически, физически и конструктивно нелинейных систем.*

8. *Кофф Г.Л., Джинчвелашвили Г.А., Иванова А.М., Смирнов В.И., Чеснокова И.В., Колесников А.В.* Анализ остаточной сейсмостойкости нефте- и газопроводов после военных повреждений зданий и сооружений (на примере Цхинвала и Грозного) // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 2010, №1, стр. 53–55.

*Во время военных конфликтов нагрузки, вызванные действием взрывных волн, являются для сооружений аварийными и значительно превосходят эксплуатационные статические нагрузки. В статье приводятся основные параметры воздушных ударных волн; делаются выводы о характере повреждений нефте- и газопроводов, которые определяются смещением слоев грунта и разрывами земной поверхности.*

9. *Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А.* Об обоснованности значения коэффициента редукции при расчетах на землетрясения // Вестник НИЦ Строительство. 2012. №5, стр. 11–15.

*В статье рассматриваются проблемы расчета зданий и сооружений на землетрясения. Исследуются вынужденные колебания линейных и нелинейных систем с одной степенью свободы при нестационарных воздействиях. Приводятся результаты расчета многоэтажного монолитного здания в нелинейной динамической постановке на сейсмическое воздействие. Анализируются расчетные положения норм проектирования зданий и сооружений для строительства в сейсмических районах.*

10. *Джинчвелашвили Г.А., Колесников А.В.* Расчет каркасных зданий на сейсмические воздействия с учетом развития неупругих деформаций // Вестник НИЦ Строительство. 2009, №1, стр. 194–200.

*Рассмотрены вопросы учета физической нелинейности в работе конструкций при сейсмических воздействиях. Различные виды диаграмм деформирования сравниваются с экспериментами. На конкретных примерах показана актуальность данных исследований и необходимость пересмотра действующих норм проектирования в сейсмически опасных районах.*

11. *Джинчвелашвили Г.А., Соснин А.В., Колесников А.В.* Построение адекватной расчетной динамической модели сооружения путем проведения идентификационного эксперимента // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2013, т.9, №1, стр. 59–64.

*Авторы на основе экспериментальных исследований строительных конструкций завода по производству ГКЛ в пгт. Новонукутский Иркутской области, приводят методику экспериментально-теоретического определения импульсной передаточной функции, зная которую, можно определить все основные динамические характеристики системы.*

12. *Мкртычев О.В., Бунов А.А.* Постановка задачи теории надежности для зданий и сооружений с системой активной сейсмозащиты // Промышленное и гражданское строительство. 2013, №9, стр. 22–23.

*Предложены подходы к решению задачи оценки надежности зданий и сооружений с системой активной сейсмозащиты. В качестве примера выбрали монолитное железобетонное здание с использованием такой системы в виде резинометаллических опор. Рассмотрены основные методы получения детерминированного решения, заданы законы распределения исходных величин, которые целесообразно принять в качестве случайных величин.*

13. *Мкртычев О.В., Решетов А.А.* Методика моделирования наиболее неблагоприятных акселерограмм землетрясений // Промышленное и гражданское строительство. 2013, №9, стр. 24–25.

*Представлена методика моделирования акселерограмм землетрясений в виде реализаций нестационарного случайного процесса. Рассмотрен метод формирующего фильтра для генерирования стационарной части акселерограммы. Предложена методика генерирования акселерограмм землетрясений с заданной вероятностью для зданий и сооружений с наиболее неблагоприятным спектральным составом.*

14. *Смирнов В.И.* О новой редакции СП 14.13330.2011 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах» // Промышленное и гражданское строительство. 2013, №10, стр. 45–49.

*Обсуждаются изменения, внесенные в СП 14.13330.2011 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах» разработчиками ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко по заданию Минрегиона России. В редакции 2013 г. учтены замечания и предложения специалистов из многих организаций страны. Положения свода правил приведены в соответствие с требованиями федеральных законов, а также выполнена гармонизация с Еврокодом 8 «Проектирование сейсмостойких сооружений».*

15. *Смирнов В.И.* О новой редакции СП 14.13330.2011 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах» (окончание) // Промышленное и гражданское строительство. 2013, №11.

*Обсуждаются изменения, внесенные в СП 14.13330.2011 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах» разработчиками ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко по заданию Минрегиона России. В редакции 2013 г. учтены замечания и предложения специалистов из многих организаций страны. Положения свода правил приведены в соответствие с требованиями федеральных законов, а также выполнена гармонизация с Еврокодом 8 «Проектирование сейсмостойких сооружений».*

16. *Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А.* Проблемы учета нелинейности в теории сейсмостойкости (гипотезы и заблуждения): монография. М.: МГСУ, 2012. 192 с.

*Проанализированы научные основы важных аспектов расчета и проектирования конструкций зданий и сооружений в сейсмических районах. Рассматриваются укоренившиеся заблуждения в теории сейсмостойкости, препятствующие дальнейшему ее развитию. Излагаются некоторые аспекты проектирования конструкций зданий и сооружений в сейсмических районах.*

*Для специалистов по сейсмостойкому строительству, проектировщиков, а также научных работников и аспирантов, занимающихся нелинейными расчетами.*

17. *Фардис М., Карвальо Э., Элнашаи А., Фаччиоли Э., Пинто П., Плумьер А.* Руководство для проектировщиков к Еврокоду 8: Проектирование сейсмостойких конструкций: руководство для проектировщиков к EN 1998-1 и EN 1998-5. Еврокод 8: Общие нормы проектирования сейсмостойких конструкций, сейсмические воздействия, правила проектирования зданий и подпорных сооружений. М., МГСУ, 2013. 484 с.

*Настоящее Руководство посвящено частям EN 1998-1: «Общие положения, сейсмические воздействия и правила проектирования зданий» и EN 1998-5: «Фундаменты, подпорные стенки и геотехнические аспекты», опубликованным CEN в конце 2004 г. Эти две части Еврокода 8 включены во все пакеты Еврокодов (каждый пакет относится к определенному типу строительных материалов и сооружений гражданского назначения) наряду с EN 1990: «Основные положения по проектированию несущих конструкций», EN 1997: «Геотехника. Проектирование, расчеты, параметры» и со-*

*ответствующими частями EN 1991-1: «Нагрузки и воздействия на строительные конструкции».*

*Рассматриваются все аспекты сейсмостойкого строительства: технические требования и критерии соответствия; сейсмические воздействия; правила проектирования: бетонных, железобетонных, со стальным каркасом, композитных сталебетонных (с жесткой арматурой), деревянных зданий; проектирование сейсмостойких зданий с сейсмоизолирующими фундаментами; фундаменты, подпорные сооружения и геотехнические аспекты. Содержит рекомендации по проектированию, указания наиболее подходящих процедур проектирования и примеры расчета, а также информацию, которая поможет проектировщику лучше понять цели и назначение Еврокода 8.*

*Для инженеров-проектировщиков, строителей, экспертов и разработчиков отечественных норм и правил в области строительства зданий и сооружений в сейсмических районах, научных сотрудников, аспирантов, студентов инженерно-строительных специальностей, а также всех, кто будет связан с Еврокодами в своей работе.*

18. *Мкртычев О.В., Юрьев Р.В.* Моделирование случайных акселерограмм и нелинейный расчет строительных конструкций: монография. М., МГСУ, 2012. 87 с.

*Даны общие положения теории надежности строительных конструкций. Изложены современные подходы к расчету зданий и сооружений на сейсмические воздействия. Особое внимание уделено определению параметров и моделированию сейсмического воздействия на основе записей инструментальных акселерограмм. Предложено два метода для моделирования случайных акселерограмм с заданной спектральной плотностью.*

*Рассмотрены особенности детерминированных решений при выполнении вероятностных расчетов конструкций с учетом физической нелинейности на примере расчета железобетонных плит прямоугольной формы. Приведен сравнительный анализ явных и неявных методов прямого интегрирования уравнений движения при решении динамических задач. Выполнена оценка надежности консольных и опертых по контуру плит больших пролетов при действии случайных сейсмических нагрузок.*

*Для специалистов научно-исследовательских, проектных и строительных организаций, а также преподавателей строительных специальностей, аспирантов, студентов.*

19. *Черкасова Л.И., Иванов М.Н., Паушкин А.Г., Алексеев Г.В.* Анализ систем оценок технического состояния, используемых в практике обследования зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2008, №2, стр. 134–144.

20. *Паушкин А.Г., Черкасова Л.И., Иванов М.Н.* Системная модернизация и повышение наукоемкости нормативно-технической базы // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. 2013, №4(29).

*Проведен краткий анализ ряда документов современной нормативной базы в строительстве. Показано, что развитие строительной отрасли невозможно без модернизации нормативной базы на основе системности, актуализации с учетом современных достижений науки, гармонизации с международными стандартами и действующим федеральным законодательством.*

21. *Мкртычев О.В., Мясникова Е.С.* Исследование реакции высотного здания на сейсмические воздействия // Строительная механика и расчет сооружений. 2009, №1, стр. 38–40.

*Расчеты, проведенные по трем пространственным динамическим моделям, показывают существенное влияние частотного состава воздействия на напряженно деформированное состояние высотных зданий. При расчетах высотных зданий на сейсмические воздействия следует учитывать динамические характеристики самой конструкции.*

22. *Мкртычев О.В., Мкртычев А.Э.* Расчет большепролетных и высотных сооружений на устойчивость к прогрессирующему обрушению при сейсмических и аварийных воздействиях в нелинейной динамической постановке // Строительная механика и расчет сооружений. 2009, №4, стр. 43–46.

*В данной статье предлагаются методики расчетов ответственных зданий и сооружений на особые воздействия на основе нелинейных динамических методов. Приводятся примеры расчетов большепролетных сооружений и высотных зданий во временной области путем непосредственного интегрирования уравнений движения с учетом нелинейного характера работы конструкций.*

23. *Мкртычев О.В., Решетов А.А.* Расчет динамической системы на синтезированные акселерограммы // Вестник МГСУ. 2010, №2, стр. 100–104.

*В статье рассматриваются два способа синтезирования акселерограмм сейсмического воздействия. Полученные акселерограммы прикладываются в качестве внешней нагрузки к системе с одной степенью свободы. Проведён сравнительный анализ реакции рассматриваемой системы.*

24. *Мондрус В.Л., Мкртычев О.В., Мкртычев А.Э.* Вероятностный расчет большепролетного сооружения на эксплуатационные нагрузки // Промышленное и гражданское строительство. 2011, №3, стр. 21–22.

*Для расчета конструкции авторы используют вероятностные методы. Вероятностный подход отличается от детерминированного тем, что некоторые исходные величины принимают в качестве случайных. Изложенные в статье подходы, основанные на вероятностных принципах, открывают новые возможности при исследовании зданий и сооружений, в частности Ледового дворца для фигурного катания в г. Сочи.*

25. *Мкртычев О.В., Мондрус В.Л., Мкртычев А.Э.* Оценка надежности большепролетного сооружения с учетом взаимодействия с грунтом основания // Промышленное и гражданское строительство. 2012, №9, стр. 14–16.

*Рассматривается задача по оценке надежности большепролетного сооружения при действии случайных сейсмических воздействий с учетом взаимодействия с грунтом основания, в физически и геометрически нелинейной постановке. Оценка надежности производится с помощью метода статистических испытаний. Задачи на действие сейсмической нагрузки решаются прямым динамическим методом.*

26. *Мкртычев О.В., Решетов А.А.* Применение вейвлет-преобразований при анализе акселерограмм // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2011, т.7, №3, стр. 118–126.

*Для корректного использования акселерограмм в расчетах конструкций на землетрясения необходимо обладать информацией об их различных характеристиках. Одним из подходов, позволяющих определять эти характеристики, является вейвлет-анализ. Данная статья посвящена вопросу применения вейвлет-анализа с применением различных базисных функций при исследовании акселерограмм. В статье рассмотрены основы теории вейвлет-анализа, выполнен Фурье-анализ и вейвлет-анализ конкретной акселерограммы.*

27. *Мкртычев О.В.* Исследование особенностей применения сейсмоизолирующих резинометаллических опор при проектировании высотных зданий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2010, №5, стр. 54–58.

*В данной статье исследуется эффективность применения системы сейсмоизоляции здания в виде сейсмоизолирующих резинометаллических опор. Производится сравнительный анализ результатов расчета зданий с сейсмоизоляцией и без нее. Исследуются сейсмоизолирующие опоры из высокодемпфирующей резины, модель которых построена на основе соотношений теории пластичности для двухосных задач. Рассматривается влияние различных параметров сейсмического воздействия, на работу конструкций зданий с сейсмозащитой.*

28. *Мкртычев О.В., Мкртычев А.Э.* Анализ эффективности резинометаллических опор при строительстве высотных зданий в сейсмических районах // Вестник НИЦ Строительство. 2010, №2, стр. 126–137.

*В данной статье исследуется эффективность применения системы сейсмоизоляции здания в виде сейсмоизолирующих резинометаллических опор. Производится сравнительный анализ результатов расчета зданий с сейсмоизоляцией и без нее. Исследуются сейсмоизолирующие опоры из высокодемпфирующей резины, модель которых построена на основе соотношений теории пластичности для двухосных задач. Рассматривается влияние различных параметров сейсмического воздействия на работу конструкций зданий с сейсмозащитой.*

29. *Мкртычев О.В., Дорожинский В.Б., Лазарев О.В.* Расчет конструкций железобетонного здания на взрывные нагрузки в нелинейной динамической постановке // Вестник МГСУ. 2011, №4, стр. 243–247.

*В статье рассматривается расчет железобетонного здания на взрывные воздействия в лагранжево-эйлеровой постановке.*

30. *Мкртычев О.В., Юрьев Р.В.* Оценка надежности консольной плиты при действии повторяющихся землетрясений // Вестник МГСУ. 2010, №3, стр. 147–151.

*Выполнена оценка надежности консольной железобетонной плиты прямоугольной формы, защемленной по двум смежным сторонам, при действии повторяющихся землетрясений интенсивностью 9 баллов с учетом физической нелинейности.*

31. *Мондрус В.Л., Мкртычев О.В., Мкртычев А.Э.* Исследование большепролетного сооружения на надежность при случайных сейсмических воздействиях // Вестник МГСУ. 2012, №5, стр. 56–61.

*Рассмотрена оценка надежности большепролетного сооружения при случайных сейсмических воздействиях. Приведена методика моделирования случайных трехкомпонентных акселерограмм. Задача решалась с учетом физической, геометрической и конструктивной нелинейностей. Результаты были статистически обработаны, сделан вывод о надежности сооружения при землетрясении и возможностях рассматриваемого подхода.*

32. *Мкртычев О.В., Бунов А.А.* Оценка сейсмостойкости здания с сейсмозащитой в виде резинометаллических опор // Вестник МГСУ. 2013, №8, стр. 21–28.

*Освещены вопросы применения различных систем активной сейсмозащиты, в т.ч. резинометаллические опоры (РМО), для защиты от землетрясений зданий и сооружений, расположенных в сейсмически опасных районах. Рассмотрен линейно-спектральный расчет железобетонного здания с применением системы активной сейсмоизоляции в виде РМО и без нее в программном комплексе «Лира». Произведен сравнительный анализ результатов расчета.*

33. *Тамразян А.Г., Мкртычев О.В., Дорожинский В.Б.* Расчет большепролетной конструкции на аварийные воздействия методами нелинейной динамики // Научно-технический Вестник Поволжья. 2012, №5, стр. 331–334.

*В статье рассмотрены подходы к интегрированию уравнений движения систем, которые могут использоваться при расчете конструкций на аварийные воздействия. Кратко описаны основные этапы и результаты расчетов несущих конструкций Многофункциональной крытой арены Футбольного стадиона «Спартак».*

34. *Мкртычев О.В.* Учет волновых эффектов при расчете высотных зданий на сейсмические воздействия // Вестник НИЦ Строительство. 2010, №2, стр. 78–83.

*В данной статье исследуется вопрос о необходимости учета скорости распространения сейсмических волн при расчете многоэтажных (высотных) зданий на землетрясение. Производится сравнительный анализ результатов расчета высотного здания на импульсные вертикальное и горизонтальное воздействия, а также на трехкомпонентное сейсмическое воздействие с учетом и без учета скорости распространения сейсмических волн по высоте здания.*

34. *Мкртычев О.В., Дорожинский В.Б.* безопасность зданий и сооружений при взрывных воздействиях // Вестник НИЦ Строительство. 2011, №3–4, стр. 21–34.

*Рассмотрен расчет строительных конструкций на взрывные нагрузки. Описаны основные параметры ударных волн и различные постановки задач. Расчеты на внутреннее и внешнее воздействие ударной волны выполнялись как для отдельных конструкций, так и для зданий в целом. По полученным результатам были определены минимальные массы зарядов и их месторасположение, обеспечивающие взрывобезопасность зданий и сооружений.*

35. *Мкртычев О.В., Решетов А.А.* Генерирование наиболее неблагоприятных акселерограмм для реального сооружения // Интернет-журнал Строительство: наука и образование. 2012, №4. Режим доступа: http://www.nso-journal.ru/index.php/sno/pages/view/04-2012

*Рассмотрены некоторые особенности обработки инструментальных акселерограмм для последующего определения параметров сейсмического воздействия. В частности, предложен способ выделения стационарной части акселерограммы.*

*Рассмотрены два способа генерирования стационарного случайного процесса. Предложена методика генерирования акселерограмм с наиболее неблагоприятным спектральным составом для некоторого рассматриваемого сооружения.*

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный строительный университет»
(ФГБОУ ВПО «МГСУ»)

*Проект*

УТВЕРЖДАЮ:
Ректор МГСУ
_____ А.А. Волков

«__»_____20__ г.

**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ**

# СТРОИТЕЛЬСТВО В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

**СТО** ……..
**Основные расчетные положения**

Москва – 20__ г.

## Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»

**Сведения о стандарте**

1. ИСПОЛНИТЕЛИ: ФГБОУ ВПО «МГСУ»

2. ВНЕСЕН Институтом фундаментального образования (ИФО)

3. ПОДГОТОВЛЕН Научно-исследовательской лабораторией «Надежность и сейсмостойкость сооружений» ИФО МГСУ

4. УТВЕРЖДЕН решением Научно-технического совета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет», протокол № ___ от «___» _____ 20__ г.

## Содержание

Стр.

Введение……

1. Область применения…….....

2. Нормативные ссылки……..….

3. Термины и определения……...

4. Основные положения……

5. Расчеты на сейсмические воздействия…….....

5.1. Расчетные нагрузки…..…….…

5.2. Методы расчетов……...……

## Введение

В настоящем стандарте приведены требования, соответствующие целям технических регламентов в соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании».

Работа выполнена Научно-исследовательской лабораторией «Надежность и сейсмостойкость сооружений» МГСУ (исполнители: к.т.н., проф. Г.А. Джинчвелашвили; д.ф.-м.н., проф. С.В. Кузнецов; д.т.н., проф. О.В. Мкртычев).

В работе использованы предложения А.М. Курзанова, Ю.П. Назарова, А.Е. Саргсяна, Г.Э. Шаблинского и других специалистов.

**Стандарт организации**
**Московский государственный строительный университет**
**(СТО МГСУ) «Строительство в сейсмических районах»**

## 1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящий стандарт следует соблюдать при проектировании жилых, общественных и производственных зданий и сооружений, возводимых на площадках сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов по шкале MSK-64.

Строительство на площадках сейсмичностью более 9 баллов допускается только после соответствующего расчетного обоснования научно-исследовательской организацией возможности такого строительства. Проектирование на данных площадках осуществляется при научно-техническом сопровождении указанной организацией, по разработанным ею специальным техническим условиям (СТУ), согласованным в установленном порядке.

## 2. НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие документы:

Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»

Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»

Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 №190-ФЗ

Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

Федеральный закон от 30 декабря 2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»

ГОСТ Р 54257-2010. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования.

СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия

СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции

СНиП II-23-81*. Стальные конструкции

СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений

СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты

СНиП 31-01-2003. Здания жилые многоквартирные

СНиП 31-05-2003. Общественные здания административного назначения

СНиП 31-03-2001. Производственные здания

## 3. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящих нормах применяются следующие термины с соответствующими определениями.

**Акселерограмма** – зависимость ускорения колебаний от времени.

**Акселерограмма землетрясения** – акселерограмма на свободной поверхности грунта при землетрясении.

**Акселерограмма синтезированная** – акселерограмма, полученная путем моделирования на основе статистической обработки и анализа ряда акселерограмм и спектров реальных землетрясений с учетом местных сейсмических условий.

**Линейно-спектральный метод (ЛСМ)** – метод расчета конструкций на динамические воздействия путем решения системы уравнений движения с помощью разложения колебаний по формам.

**Нелинейный динамический метод (НДМ)** – метод расчета конструкций на динамические воздействия, основанный на прямом интегрировании уравнений движения, позволяющий учесть физическую, геометрическую и конструктивную нелинейности.

**Нелинейный статический метод (pushover analysis) (НСМ)** – метод расчета конструкций на динамические воздействия, в котором используется спектр ускорений и кривая равновесных состояний (кривая несущей способности), полученная теоретически или экспериментально в результате статического нагружения с учетом нелинейного характера работы конструкций.

**Максимальное расчетное землетрясение (МРЗ)** – землетрясение с максимальной интенсивностью на площадке строительства с периодом повторяемости раз в 500 лет (карта ОСР-97А).

**Проектное землетрясение (ПЗ)** – землетрясения с максимальной интенсивностью на площадке строительства с периодом повторяемости раз в 100 лет. При отсутствии соответствующих данных, принимается уменьшенная на 1 балл интенсивность, полученная для уровня МРЗ.

**Сейсмичность площадки строительства $I_{пл}$** – интенсивность возможных сейсмических воздействий ПЗ и МРЗ на площадке строительства с учетом грунтовых условий, измеряемая в баллах по шкале MSK-64.

**Сейсмичность района строительства $I$** – интенсивность сейсмических воздействий в баллах для района строительства, прини-

маемая на основе актуализированного комплекта карт общего сейсмического районирования в полубалльном представлении территории Российской Федерации (ОСР-97*).

**Сейсмическое микрорайонирование (СМР)** – комплекс специальных работ по прогнозированию влияния особенностей приповерхностного строения, свойств и состояния пород, характера их обводненности, рельефа на параметры колебаний грунта площадки.

**Спектр коэффициента динамичности** – усредненный безразмерный спектр, полученный делением абсолютных значений максимальных ответных ускорений линейного осциллятора с определенным параметром демпфирования при заданных семейством акселерограмм воздействиях на соответствующее максимальное ускорение грунта при изменении периода колебаний данного осциллятора.

## 4. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.1. В расчетах используются следующие критерии сейсмостойкости.

Прочностной критерий (по 1-му предельному состоянию).

Должны выполняться все проверки несущих элементов по 1-й группе предельных состояний в соответствии с действующими нормативными документами. Критерий используется при расчете на проектное землетрясение (ПЗ).

Критерий необрушения (по особому предельному состоянию: устойчивость к прогрессирующему обрушению).

Допускаются повреждения и отказы отдельных несущих элементов, но они не должны приводить к лавинообразному обрушению всей конструкции или ее части. Критерий используется при расчете на максимальное расчетное землетрясение (МРЗ).

4.2. При проектировании в сейсмических районах необходимо обеспечить выполнение следующих требований:

здания и сооружения должны воспринимать относительно частые, но менее интенсивные сейсмические воздействия, соответствующие уровню ПЗ, при обязательном выполнении условий 1-го предельного состояния (прочностной критерий);

здания и сооружения должны воспринимать редкие, но более интенсивные сейсмические воздействия, соответствующие уровню МРЗ, без местного и общего обрушения несущих конструкций (критерий необрушения).

4.3. По ответственности здания и сооружения подразделяются на 3 уровня, в соответствии с ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»:

1 – повышенный;

2 – нормальный;

3 – пониженный.

В расчетах используется коэффициент надежности по ответственности $\gamma_n$. Численные значения $\gamma_n$ принимаются согласно ГОСТ Р 54257-2010. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования.

4.4. По сложности конструктивной схемы здания и сооружения подразделяются на 3 категории (табл. 4.1):

1 – сложные;

2 – средней сложности;

3 – простые.

Таблица 4.1

**Категории сложности конструктивной схемы**

| Категория сложности конструктивной схемы | Высота здания, м (число надземных этажей), не более | Пролет, м, не более | Вылет консоли, м, не более |
|---|---|---|---|
| 3 | 21 (5) | 12 | 3 |
| 2 | 55 (16) | 36 | 10 |
| 1 | 100 | 100 | 20 |

Примечания.

1. За высоту здания принимают разность отметок верха фундаментной конструкции (фундаментной плиты, ростверка) и оси верхнего перекрытия или покрытия.

2. Если в проектной документации предусмотрена хотя бы одна из следующих характеристик:

а) высота более 100 м;

б) пролет более 100 м;

в) наличие консоли более 20 м, то строительство допускается только после соответствующего расчетного обоснования научно-исследовательской организацией возможности такого строительства.

При этом проектирование осуществляется при научно-техническом сопровождении указанной организацией, по разработанным ею специальным техническим условиям (СТУ), согласованным в установленном порядке.

4.5. Интенсивность сейсмических воздействий в баллах (сейсмичность) для района строительства следует принимать на основе актуализированного комплекта карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97*, утвержденных Российской академией наук.

Период повторяемости землетрясений на используемых картах интенсивности составляет:

карта ОСР-97*-100-0,5$i$ : $T = 100$ лет;

карта ОСР-97*-500-0,5$i$ : $T = 500$ лет;

карта ОСР-97*-1000-0,5$i$ : $T = 1000$ лет.

4.6. Непосредственно для площадки строительства следует производить уточнение сейсмичности на основании сейсмического микрорайонирования (СМР). При отсутствии карт сейсмического микрорайонирования, допускается уточнять сейсмичность площадки строительства по материалам инженерно-геологических изысканий, согласно табл.4.2.

4.7. В расчетах на сейсмические воздействия используются следующие методы (см. раздел 5.2):

линейно-спектральный метод (ЛСМ) на основе линейно-спектральной теории (ЛСТ);

нелинейный статический метод (НСМ);

нелинейный динамический метод (НДМ).

4.8. При проектировании зданий и сооружений в сейсмических районах надлежит:

применять материалы и конструкции, обладающие минимальным весом;

отдавать предпочтение симметричным конструктивным схемам;

стремиться к равномерному распределению жесткостей, масс и нагрузок на перекрытия;

для обеспечения сейсмостойкости здания допускается применение систем сейсмозащиты при обязательном научно-техническом сопровождении.

Таблица 4.2

**Сейсмичность площадки строительства $I_{пл}$**

| Категория грунта по сейсмическим свойствам | Грунты | Дополнительная характеристика сейсмических свойств грунтов | | Сейсмичность площадки строительства $I_{пл}$ при сейсмичности района строительства $I$ |
|---|---|---|---|---|
| | | Сейсмическая жесткость $\rho \cdot V_s$ (г/см$^3$·м/с) | Скорость поперечных волн $V_s$, м/с Отношение скоростей продольных и поперечных волн, $V_p/V_s$ | |
| I | Скальные грунты (в том числе вечно мерзлые и вечномерзлые оттаявшие) невыветрелые и слабовыветрелые; крупнообломочные грунты плотные, маловлажные из магматических пород, содержащие до 30 % песчано-глинистого заполнителя; выветрелые и сильновыветрелые скальные и дисперсные твердомерзлые (многолетнемерзлые) грунты при температуре минус 2° С и ниже при строительстве и эксплуатации по принципу I (сохранение грунтов основания в мерзлом состоянии) | >1500 | >700<br>1,7-2,2 | $I_{пл} = I - 1$ |
| II | Скальные грунты выветрелые и сильновыветрелые, в том числе вечномерзлые, кроме отнесенных к I категории; крупнообломочные грунты, за исключением отнесенных к I категории, пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности маловлажные и влажные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности маловлажные; глинистые грунты с показателем консистенции $I_L \leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e<0,9$ для глин и суглинков и $e<0,7$ – для супесей; вечномерзлые нескальные грунты пластичномерзлые или сыпучемерзлые, а также твердомерзлые при температуре выше минус 2° С при строительстве и эксплуатации по принципу I | 350-1500 | 250-700<br>1,7-2,2 (не водонасыщенные)<br>2,2-3,5 (водонасыщенные) | $I_{пл} = I$ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| III | Пески рыхлые независимо от степени влажности и крупности; пески гравелистые, крупные и средней крупности, плотные и средней плотности водонасыщенные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности влажные и водонасыщенные; глинистые грунты с показателем консистенции $I_L>0,5$; глинистые грунты с показателем консистенции с $I_L\leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e\geq 0,9$ – для глин и суглинков и $e\geq 0,7$ – для супесей; вечномерзлые дисперсные грунты при строительстве и эксплуатации по принципу II (допускается оттаивание грунтов основания) | 200-350<br><br><200* | 150-250<br>3,5-7<br><br>60-150*<br>7-15* | $I_{пл} = I + 1$ |

* Грунты с большой вероятностью склонные к разжижению и потере несущей способности при землетрясениях интенсивностью 7 и более баллов

Примечания

1. Скорости $V_p$ и $V_s$, а также величина сейсмической жесткости грунта являются средневзвешенными значениями для 30-метровой толщи, считая от планировочной отметки.

2. В случае многослойного строения грунтовой толщи, грунтовые условия участка относят к более неблагоприятной категории, если в пределах верхней 30-метровой толщи (считая от планировочной отметки) слои, относящиеся к этой категории, имеют суммарную мощность более 10 м.

3. При отсутствии данных о консистенции, влажности, сейсмической жесткости, скоростях $V_p$ и $V_s$ глинистые и песчаные грунты при положении уровня грунтовых вод выше 5 м относятся к III категории по сейсмическим свойствам.

4. При прогнозировании подъема уровня грунтовых вод и обводнения грунтов (в том числе просадочных) категорию грунтов следует определять в зависимости от свойств грунта в замоченном состоянии.

5. При строительстве на вечномерзлых грунтах по принципу II грунты основания следует рассматривать по фактическому их состоянию после оттаивания.

# 5. РАСЧЕТЫ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

## 5.1. Расчетные нагрузки

5.1.1. Расчет конструкций зданий и сооружений, проектируемых для строительства в сейсмических районах, должен выполняться на основные и особые сочетания нагрузок с учетом сейсмических воздействий. При расчете зданий и сооружений на особые сочетания нагрузок принимаются расчетные значения нагрузок.

Горизонтальные нагрузки от масс на гибких подвесках, температурные климатические воздействия, ветровые нагрузки, динамические воздействия от оборудования и транспорта при этом не учитываются.

5.1.2. При расчете на сейсмические воздействия рассматриваются две расчетные ситуации: проектное землетрясение (ПЗ) и максимальное расчетное землетрясение (МРЗ).

5.1.3. Сейсмичность площадки строительства $I_{пл}$ для ПЗ и МРЗ принимается в зависимости от уровня ответственности здания или сооружения на основе сейсмичности района $I$ по картам ОСР-97* (см. табл. 5.1) с уточнением по результатам СМР или согласно табл. 4.2.

Таблица 5.1

**Сейсмичность района строительства для ПЗ и МРЗ**

| Уровень ответственности здания или сооружения | Сейсмичность района строительства $I$ по картам ОСР-97*с периодом повторяемости землетрясения $T$, лет | |
|---|---|---|
| | ПЗ | МРЗ |
| I – повышенный | 500 | 1000 |
| II – нормальный | 100 | 500 |
| III – пониженный | 100 | 500 |

5.1.4. При использовании в качестве внешнего воздействия акселерограмм землетрясений необходимо выполнять их нормирование по интенсивности в соответствии с принятой сейсмичностью площадки строительства для ПЗ и МРЗ.

В расчетах используются трехкомпонентные акселерограммы землетрясений, а именно (см. табл.5.2):

прилагаемый к СТО представительный набор акселерограмм;

синтезированные акселерограммы с наиболее неблагоприятными для рассматриваемого здания или сооружения параметрами.

5.1.5. В зависимости от категории сложности конструктивной схемы зданий и сооружений выполняются указанные в табл. 5.2 типы расчетов на сейсмические воздействия.

Таблица 5.2

**Типы расчетов на сейсмические воздействия**

| Категория сложности | Тип расчета | Метод расчета | Расчетная ситуация | Расчетное воздействие | Расчетный критерий |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 1 | ЛСМ | ПЗ | по ЛСТ | прочностной |
| | 2 | НСМ | МРЗ | по ЛСТ | необрушения |
| 2 | 1а | ЛСМ | ПЗ | по ЛСТ | прочностной |
| | 1б | | | набор аксел. | |
| | 2 | НСМ | МРЗ | набор аксел. | необрушения |
| 1 | 1а | ЛСМ | ПЗ | по ЛСТ | прочностной |
| | 1б | | | набор аксел. | |
| | 2 | НСМ | МРЗ | набор аксел. | необрушения |
| | 3 | НДМ | МРЗ | синтез. аксел. | необрушения |

5.1.6. Проектирование зданий и сооружений 1 категории сложности конструктивной схемы выполняется при обязательном научном сопровождении.

## 5.2. Методы расчетов

*Линейно-спектральный метод*

5.2.1. Рекомендуется использовать пространственные расчетные динамические модели с сосредоточенными в узлах массами.

5.2.2 Расчетное значение сейсмической нагрузки $S_{k,i}$, приложенной к узлу $k$ и соответствующее *i*-й форме собственных колебаний здания или сооружения, следует определять по формуле:

$$S_{k,i} = k_{\psi} \cdot S^{0}_{k,i}, \qquad (5.1)$$

где $k_{\psi}$ – коэффициент, учитывающий диссипативные характеристики конструктивной системы, принимаемый согласно табл. 5.4;

$S^{0}_{k,i}$ – сейсмическая нагрузка по *i*-й форме собственных колебаний сооружения, которая определяется в предположении упругого деформирования конструкций по формуле:

$$S^{0}_{k,i} = Q_k \cdot A \cdot \beta_i \cdot \eta_{k,i}, \qquad (5.2)$$

где $Q_k$ – нагрузка, отвечающая массе, принятой в качестве сосредоточенной в *k*-м узле;

$A$ – максимальное ускорение грунта основания в долях $g$, которое принимается по табл.5.5 в зависимости от сейсмичности площадки строительства $I_{пл}$;

$\beta_i$ – спектральный коэффициент динамичности, соответствующий $i$-й форме собственных колебаний здания или сооружения, принимается согласно п. 5.2.3;

$\eta_{k,i}$ – коэффициент, зависящий от формы собственных колебаний здания или сооружения и от места приложения нагрузки, определяется по формуле:

$$\eta_{ki} = \frac{X_i(z_k)\sum_{j=1}^{n} Q_j X_i(z_j)\cos\left(X_{k,i}, \ddot{x}_0\right)}{\sum_{j=1}^{n} Q_j X_i^2(z_j)}; \qquad \sum_{i=1}^{n}\eta_{ki} = 1, \qquad (5.3)$$

где $X_i(z_k)$, $X_i(z_j)$ – перемещения здания или сооружения при собственных колебаниях по $i$-й форме;

$\cos\left(X_{k,i}, \ddot{x}_0\right)$ – косинусы углов между направлениями перемещения $X_{k,i}$ и вектора сейсмического воздействия $\ddot{x}_0$.

При соответствующем обосновании может быть решена неполная проблема собственных значений, тогда:

$$\sum_{i=1}^{n}\eta_{ki} < 1.$$

Таблица 5.4

**Значения коэффициента $k_\psi$**

| Материал конструкции | Логарифмический декремент колебаний δ | Параметр затухания ξ, в % от критического | Значения коэффициента $k_\psi$ |
|---|---|---|---|
| Сталь | 0,2 | 3,0 | 1,25 |
| Дерево | 0,2 | 3,0 | 1,25 |
| Железобетон | 0,3 | 5,0 | 1,0 |
| Кирпич | 0,4 | 7,0 | 0,833 |

Для других значений относительного коэффициента затухания ξ допускается определение коэффициента $k_\psi$ по формуле: $k_\psi = \frac{10}{5+\xi}$.

Таблица 5.5

**Максимальное ускорение грунта основания *A***

| Сейсмичность площадки строительства $I_{пл}$, баллы | Максимальное ускорение грунта основания $A$, в долях $g$ |
|---|---|
| 7 | 0,1 |
| 7,5 | 0,15 |
| 8 | 0,2 |
| 8,5 | 0,3 |
| 9 | 0,4 |

5.2.3. Значения коэффициента динамичности $\beta_i$ в зависимости от категории грунта и периода *i*-ой формы свободных колебаний $T_i$ (в секундах) определяются по графикам (рис. 5.1) или по следующим формулам (для критического затухания $\xi = 5\%$).

Для грунтов I категории:

$$\beta_i = 1 + 20 \cdot T_i \quad \text{при} \quad 0 \le T_i < 0,1;$$
$$\beta_i = 3,0 \quad \text{при} \quad 0.1 < T_i < 0,4; \tag{5.4}$$
$$\beta_i = 3,0\left(\frac{0,4}{T_i}\right)^{0,6} \quad \text{при} \quad T_i \ge 0,4.$$

Для грунтов II категории:

$$\beta_i = 1,2 + 7,5 \cdot T_i \quad \text{при} \quad 0 \le T_i < 0,2;$$
$$\beta_i = 2,7 \quad \text{при} \quad 0,2 < T_i < 0,6; \tag{5.5}$$
$$\beta_i = 2,7\left(\frac{0,6}{T_i}\right)^{0,6} \quad \text{при} \quad T_i \ge 0,6.$$

Для грунтов III категории:

$$\beta_i = 1 + 5 \cdot T_i \quad \text{при} \quad 0 \le T_i < 0,3;$$
$$\beta_i = 2,5 \quad \text{при} \quad 0,3 < T_i < 0,8; \tag{5.6}$$
$$\beta_i = 2,5\left(\frac{0,8}{T_i}\right)^{0,6} \quad \text{при} \quad T_i \ge 0,8.$$

Во всех случаях значения $\beta_i$ должны приниматься не менее 0,8.

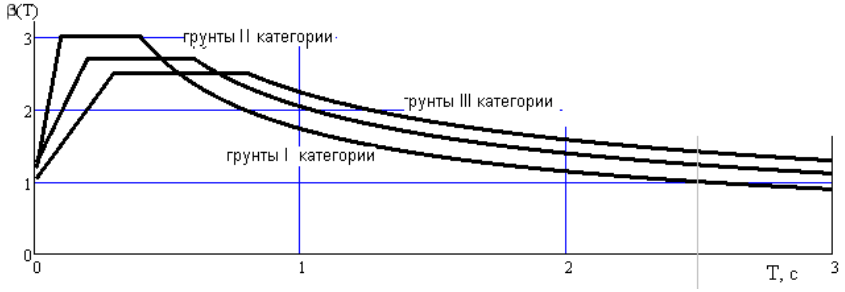



Рис. 5.1. Спектральная кривая коэффициента динамичности $\beta_i$

5.2.5. Расчетные значения усилий в элементах конструкций от расчетных сейсмических нагрузок следует определять по формуле:

$$N_s^p = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} N_{si}^2 + 2\sum_{\substack{j,i=1 \\ i\neq j}}^{n} \rho_{ij} N_{si} N_{sj}}\ , \qquad (5.7)$$

где $N_{si}$, $N_{sj}$ – значения усилий в рассматриваемом сечении *s*, вызываемых сейсмическими нагрузками по *i*-й или *j*-й форме колебания по формулам (5.1) и (5.2);

*n* – число учитываемых форм колебаний;

$\rho_{ij}$ – коэффициент корреляции, определяемый по формуле 5.8:

$$\rho_{ij} = \frac{4\xi^2 (1+r) r^{3/2}}{\left(1-r^2\right)^2 + 4\xi^2 r (1+r)^2}\ , \qquad (5.8)$$

где $r = \omega_j / \omega_i \quad (i < j)$;

$\xi$ – выбирается по табл. 5.4

БЮЛЛЕТЕНЬ НТС МГСУ

МАТЕРИАЛЫ VIII ОБЪЕДИНЕННОГО
МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОГО СЕМИНАРА

«НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ
И СООРУЖЕНИЙ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ
И АВАРИЙНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ»

Подписано в печать 25.03.2014 г. Формат 60×84 1/16. Печать офсетная.
И-39. Усл.-печ. 4,4 л. Уч.-изд. 2,8. Тираж 100 экз. Заказ № 84

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный строительный университет».
Издательство МИСИ – МГСУ.
Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95,
e-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru
Отпечатано в типографии Издательства МИСИ – МГСУ.
Тел. (499) 183-91-90, (499) 183-67-92, (499) 183-91-44.
129337, Москва, Ярославское ш., 26