

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию

**Жемчугова-Гитмана Дмитрия Михайловича**

**«РАЗВИТИЕ ЛИНЕЙНО-СПЕКТРАЛЬНОГО МЕТОДА РАСЧЕТА  
СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 2.1.9. Строительная механика

Сведения о лице, подписавшем отзыв:

**Позняк Елена Викторовна**

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры робототехники,  
мехатроники, динамики и прочности машин ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»,  
111250, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Лефортово, ул.

Красноказарменная, д. 14, стр. 1.

Тел. +7 495 362-77-56, +7 926 584-88-27, E-mail: PozniakYV@mpei.ru

### *Актуальность темы диссертации*

Диссертация Д.М. Жемчугова-Гитмана посвящена усовершенствованию линейно-спектрального метода расчета сооружений (ЛСМ) – основному на сегодняшний день методу проектирования сейсмостойких зданий и сооружений. Разработанный в середине прошлого века, ЛСМ показал себя как надежный и консервативный метод, что важно в условиях расчета на будущие землетрясения с неопределенными параметрами (интенсивностью, спектральным составом, характеристиками, длительностью и т.д.). Если говорить об определении ЛСМ, то это метод линейного статического расчета на сейсмические воздействия, заданные в виде пиковых ускорений грунта и коэффициентов динамичности. Сейсмическая нагрузка на конструкцию по ЛСМ определяется для каждой собственной формы колебаний с учетом соответствующего этой форме направления воздействия и коэффициента динамичности. Результирующие сейсмические нагрузки находят по

специальным правилам. Данные для расчета берут либо по картам ОСР, уточняя грунтовые условия площадки путем детального сейсморайонирования (ДСР), либо их в полном объеме получают после сейсмического микрорайонирования (СМР).

Все известные мне специалисты в области сейсмостойкого строительства сходятся к тому, что метод надежный и единственно приемлемый для проектирования, но буквально по каждому множителю в выражении для сейсмической нагрузки имеются особые мнения и расхождения во взглядах (особенно это проявилось в 2018 году, когда д.т.н. Ю.П. Назаров работал над проектом нового СП14, а я входила в состав его рабочей группы). Этот факт уже говорит о том, что ЛСМ требует внимательного пересмотра, но, конечно, не в части заложенных в него базовых методов теории колебаний. Проблема в том, что ЛСМ – в некотором роде компромиссный метод. Чтобы получить универсальную форму ЛСМ, пригодную для различных конструкций, с разной степенью допускаемых повреждений при неупругой работе и разной степенью рассеивания энергии, пришлось ввести систему корректирующих коэффициентов. Эти коэффициенты, вообще говоря, были призваны «приспособить» квазистатический подход теории линейных колебаний к сложнейшей, в общем случае нелинейной задаче определения нестационарной случайной сейсмической реакции, поэтому их применение подчас противоречиво, и, скорее всего, исследователи и дальше будут искать некий идеальный или хотя бы компромиссный вариант.

Считаю, что автор диссертации поставил перед собой действительно актуальную задачу по переосмыслению и уточнению ЛСМ, рассматривая ее в следующих аспектах: пиковые ускорения грунта, учет возможности неоднородных пластических деформаций, продолжительности землетрясения и рассеивания энергии в конструкции.

*Степень достоверности полученных результатов* определяется применением современного аппарата строительной механики, теории колебаний и теории сейсмостойкости, работой в сертифицированных расчетных программных комплексах. Результаты работы обоснованы расчетами и согласуются с опытом проектирования сейсмостойких конструкций и существующей нормативной базой.

### ***Новизна научных положений, выводов и рекомендаций***

Новизна диссертации заключается, на мой взгляд, в следующем:

1. Определены значения PGA по шкале интенсивности воздействий в зависимости от повторяемости расчетного воздействия.
2. Получена аналитическая аппроксимация спектральных ускорений PGA(T), которую, при условии согласования с сейсмологами, можно взять за основу при построении нормативных спектров КД.
3. Предложен оригинальный способ аппроксимации спектров ускорений (формула (24)).
4. Предложен метод дифференцированного учета повреждений через задание коэффициентов пластичности  $\mu$  для отдельных элементов.

### ***Практическая значимость работы***

Исследование диссертанта может быть использовано для учета рассеяния энергии и неоднородного характера повреждений при сейсмическом воздействии; при некоторой доработке позволят повысить точность расчета сооружений и расширить область применения ЛСМ.

### ***Оценка содержания диссертации, ее завершенность***

Диссертация состоит из введения пяти глав, заключения, списка литературы из 145 источников, в том числе 61 на иностранных языках и приложения. Объем диссертации составляет 163 страницы машинописного текста, включая 62 рисунка и 18 таблиц.

Диссертация представляет собой завершенную научно-квалификационную работу.

В первой главе приведен обзор литературы по теме диссертации. Автор подробно описал сложившуюся ситуацию в теории сейсмостойкости, совершенно правильно сделав акцент на перспективных направлениях развития отечественных норм: двух уровнях сейсмического воздействия, проектировании с учетом возможных предельных состояниях конструкций (performance based seismic design), учете демпфирования и т.д. При описании ЛСМ автор уделит внимание

отечественной и зарубежной нормативной базе, но собственно вывода формулы для модальной сейсмической нагрузки и связи ее с расчетной динамической моделью, моделью сейсмического воздействия (вообще говоря, трехмерной и стохастической), уравнениями движения, гипотезами рассеивания энергии, в диссертации нет. На стр. 18 приведено уравнение движения относительно «матрицы  $Y$ » (в формуле (3), причем в ней  $Y$  – не матрица, а вектор перемещений относительно подвижного основания), но без подробного описания, и самое главное – не показано, как для решения уравнения движения применяется квазистатический подход теории линейных колебаний. Если бы такой вывод был приведен, то из него стало бы ясно, что произведение интенсивности воздействия на коэффициент динамичности и есть спектр ускорений. Если формулу для сейсмической нагрузки ввести спектр ускорений, то динамический коэффициент в ней не нужен (так, например, рассчитывается сейсмическая нагрузка в Еврокоде).

Вторая глава содержит материал, посвященный заданию уровня расчетного воздействия. Эти исследования включают три части.

В первой части устанавливаются значения PGA по шкале интенсивности воздействий в зависимости от повторяемости расчетного воздействия, которое при многоуровневом проектировании задается для различных предельных состояний.

Во второй части анализируется зависимость величины PGA от преобладающего периода воздействия  $T$ . Для построения спектра ускорений автор использует записи 200 землетрясений. Было бы правильно привести источник данных, указать параметры акселерограмм (хотя бы пиковые значения, преобладающие периоды, длительность), а также рассказать о методах обработки акселерограмм и построения спектров. Аналогичная работа выполнялась многими исследователями. Напомню о статье Назарова Ю.П., Травуша В.И.<sup>1</sup>, в которой также была проведена работа по изучению спектров длиннопериодных

---

<sup>1</sup> Yuriy P. Nazarov 1, 2, Vladimir I. Travush. Long-Period Seismic Effects and Their Influence on the Structural Strength of High-Rise Buildings. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 14(4) 14-26 (2018) DOI:10.22337/2587-9618-2018-14-4-14-26

землетрясений из базы Center for Engineering Strong Motion Data (CESMD, <http://cesmd.org>).

Замечу, что построение спектров ускорений или коэффициентов динамичности – прерогатива сейсмологов, только они обладают представлениями о том, какого землетрясения ожидать, насколько площадка удалена от эпицентра, какой маршрут сейсмических волн и какова топография этого маршрута. Для этого проводят изыскания в форме сейсмического микрорайонирования. На стр.53 автор правильно указывает на необходимость сейсмологических исследований.

В третьей части строится аппроксимация спектра ускорений  $PGA(T)$ . Напомню, что в практике проектирования применяют либо осредненные спектры ускорений или КД (как в нормах), либо заменяют спектры огибающими (как в ПК СТАРК), либо проводят операции сглаживания с помощью оконных преобразований. Автор вводит аппроксимирующую зависимость, которая при определенных параметрах должна определять участки постоянных ускорений, постоянных скоростей и постоянных смещений, причем границы участков являются плавными и определяются статистической обработкой имеющихся акселерограмм. То есть автор предложил свой оригинальный способ аппроксимации спектров ускорений (формула (24)).

В конце второй главы автор предлагает методику применения ЛСМ в рамках многоуровневого сейсмостойкого проектирования (PBSD). Но, по существу, это не расчетная методика, а описание основных положений сейсмического расчета с применением ЛСМ для нескольких уровней воздействий и соответствующих им предельных состояний. Определены три расчетных уровня воздействия (ПЗ, УЗ, МРЗ) и соответствующие им критерии предельных состояний и типы расчетов (линейные для ПЗ/УЗ и модифицированный ЛСМ или нелинейные методы для МРЗ). Предельные состояния описаны ясно, но, возможно, недостаточно подробно для различных типов конструкций. Отмечу, что описание характеристик предельных состояний – это отдельная большая работа, она под силу опытным коллективам конструкторов и проектировщиков. Но за попытку внести ясность в этот вопрос автора следует похвалить.

В третьей главе рассмотрены предложения по совершенствованию системы расчетных коэффициентов ЛСМ. Диссертант рассматривает коэффициенты учета демпфирования (учет способности зданий и сооружений к рассеиванию энергии)  $K_{\psi}$  и коэффициент предельных состояний (учет работы в неупругой стадии)  $K_1$ . Коэффициент  $K_0$ , учитывающий назначение и ответственность сооружения, не рассматривается.

Диссертант предлагает заменить коэффициент  $K_{\psi}$  на коэффициент динамичности (КД)  $\beta$ , который в его исследовании зависит только от затухания, но так делать нельзя. Коэффициент динамичности появляется в квазистатическом подходе для учета динамических эффектов, когда максимальную амплитуду перемещений рассчитывают как произведение коэффициента динамичности на перемещение от статической силы. При модальном подходе уравнение движения системы разделяется на совокупность уравнений колебаний одномассовых осцилляторов. Для множества осцилляторов с разными собственными периодами  $T$  коэффициент динамичности будет функцией их собственных периодов, а в системе с рассеянием энергии – еще и соответствующих модальных коэффициентов затухания. Если бы автор диссертации вывел формулу для сейсмической нагрузки, используя модальный квазистатический подход для решения динамического уравнения, он бы знал, что коэффициент динамичности – это нормированный на величину интенсивности спектр ускорений. Кроме того, КД или спектр ускорений по определению учитывают резонансные эффекты, так что нельзя писать, что «предложен вариант ЛСМ, учитывающий резонанс» (на стр.68).

В третьей главе автор пришел к зависимости  $\beta=1/\xi^{0.45}=1/\gamma^{0.9}$ . Однако по смыслу это аппроксимация коэффициента  $K_{\psi}$ , и путать или подменять понятия не следует. В книге «Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений»<sup>2</sup>, авторы А.М. Уздин, Т.А. Сандович и др., предложена другая довольно сложная аппроксимация  $K_{\psi}$ , учитывающая

---

<sup>2</sup> А.М. Уздин, Т.А. Сандович и др. Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений, СПб, Издательство ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1993 г.

коэффициент рассеяния для разных категорий грунта. В сравнении с ней предложение автора диссертации выглядит значительно менее убедительно.

На стр.77 автор пишет: «Сейсмическое воздействие раскачивает здания из нулевых начальных условий. Исходя из этого складываются следующие особенности учета сейсмического воздействия: 1. Сооружение может не успеть раскачаться до максимального динамического коэффициента, если динамическое воздействие будет достаточно коротким». Формулировка некорректная, речь идет об амплитудных значениях перемещений и других параметров динамической реакции.

Далее автор предлагает ввести коэффициент учета длительности сейсмического воздействия  $K_t$ , его аппроксимация дана в виде формулы (38). Такой коэффициент действительно необходим, так как были случаи, когда длительное воздействие малой интенсивности имело несущие частоты, близкие к низшим собственным частотам (землетрясение 7 июля 1952 г. в Лос-Анджелесе, США (Kern County earthquake, гипоцентральное расстояние 100-150 км, М 7.3); 28 марта 1970 г. на западе Турции (Gediz earthquake, гипоцентральное расстояние 135 км, М 7.1); 19 сентября 1985 г. Мичоакан, Мексика (Michoacan, Mexico earthquake, гипоцентральное расстояние около 400 км, М 8.0); 11 марта 2011 г. в Токио, Япония (Tohoku earthquake, гипоцентральное расстояние около 370 км, М9)). Получалось, что сейсмическая нагрузка по ЛСМ мала, а последствия тяжелые, так как многие конструкции успевали полноценно войти в резонансный режим. Автор предлагает такую аппроксимацию, что спектральный (так как рассчитывается для каждого собственного периода  $T$ ) коэффициент  $K_t$  для очень короткого по времени воздействия  $t$  стремится к нулю, а для длительного по сравнению с периодом  $T$  – к единице, особенно с учетом малого декремента колебаний  $\delta$ . Представим себе, что площадка находится вблизи разлома, и воздействие имеет вид мощного короткого импульса. Судя по аппроксимирующей формуле, для такого воздействия  $K_t$  будет мал, и, следовательно, необоснованно снизит сейсмическую нагрузку.

В конце третьей главы автор показывает несостоятельность применения единого коэффициента повреждений  $K_1$ , так как он не отражает реальной картины

неравномерного распределения повреждений по конструкции и не пригоден для задач многоуровневого проектирования. Автор предлагает метод линеаризации схемы, позволяющий дифференцированно учитывать повреждения через задание коэффициентов пластичности  $\mu$  для отдельных элементов. Здесь можно было бы провести аналогию с подходом, разработанным в научной школе ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко И.И. Гольденблатом. Это метод «трех моделей», отражающий три стадии, через которые проходит конструкция в процессе землетрясения:

А – упругая стадия для расчета на ПЗ, конструкция работает упруго в течение всего воздействия, внутренние усилия не превышают предельных, расчет по ЛСМ,  $K_1=1$ ;

В – упругопластическая стадия для расчета на МРЗ, внутренние усилия в некоторых элементах превышают предельные, возможно выключение связей, происходит деградация жесткости во времени, расчет проводится интегрированием нелинейных уравнений движения во временной области;  $K_1=1$ , так как пластическое деформирование учитывается в расчете.

С – упругая стадия несущего ядра для расчета на МРЗ. Предполагается, что некоторые из периферийных элементов повреждены или разрушены, но основные несущие элементы не достигли предельного состояния и деформируются упруго, расчет проводится линейно-спектральным методом, но механические параметры уже соответствуют поврежденной модели, поэтому  $K_1=1$ .

По смыслу предложение автора о коэффициентах пластичности напоминает расчет по модели С, этот аспект диссертации заслуживает особого внимания.

Четвертая глава посвящена применению предложенной формы ЛСМ для расчета сооружений на сейсмостойкость. Автор показал, насколько отличаются результаты по действующим и предлагаемому варианту ЛСМ (таблица 4.3). В целом значения сейсмической нагрузки получились схожими. Однако в приведенных примерах конструкции с большими собственными периодами не рассматривались.

### *Основные замечания по работе*

1. Собственно вывода формулы для модальной сейсмической нагрузки по ЛСМ и связи ее с расчетной динамической моделью, моделью сейсмического воздействия (вообще говоря, трехмерной), уравнениями движения, гипотезами рассеивания энергии, в диссертации нет.
2. Упущен тот факт, что КД – это нормированный на величину интенсивности спектр ускорений. В диссертации КД отвечает только за рассеяние энергии, что противоречит определению и основному назначению динамического коэффициента.
3. Разработанная автором методика применения ЛСМ для многоуровневого сейсмостойкого проектирования (PBSD), по существу, представляет собой описание основных положений сейсмического расчета с применением ЛСМ для нескольких уровней воздействий и соответствующих им предельных состояний; методикой называют конкретную детально прописанную процедуру расчета.
4. ЛСМ давно применяется с учетом трехмерного движения грунта, а в диссертации рассмотрен случай одномерного (горизонтального) воздействия.
5. Следует рассмотреть предельные случаи (с очень короткими и очень длинными периодами) для проверки аппроксимации  $K_T$ .
6. Несколько странная подача материала в диссертации: все формулы идут как отдельные предложения. Например, в конце стр.52 упоминается формула (15), а сама она приведена в середине стр. 54.

Перечисленные выше замечания не влияют на общую положительную оценку работы и могут рассматриваться как направления для дальнейшей научной деятельности автора по теме диссертации.

### *Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением ВАК*


Диссертация Жемчугова-Гитмана Дмитрия Михайловича «Развитие линейно-спектрального метода расчета сейсмостойкости зданий и сооружений»,

представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук выполнена на высоком научном уровне и содержит важные практические результаты. Она является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработан новый вариант линейно-спектрального метода для расчета зданий и сооружений на сейсмостойкость. Результаты работы соответствуют паспорту специальности 2.1.9 – Строительная механика.

Диссертационная работа Жемчугова-Гитмана Дмитрия Михайловича соответствует критериям, установленным в "Положении о порядке присуждения ученых степеней", утвержденном Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, а ее автор, Жемчугов-Гитман Дмитрий Михайлович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика

Согласна на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя учёной степени кандидата технических наук Жемчугова-Гитмана Дмитрия Михайловича и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент  
 профессор кафедры робототехники,  
 мехатроники, динамики и прочности машин  
 ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»  
 доктор технических наук, доцент

Подпись   
 удостоверяю  
 начальник управления по  
 работе с персоналом

Е.В. Позняк

13.01.2026

Н.Г. Савин



Сведения об официальном оппоненте:

Позняк Елена Викторовна, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», профессор кафедры робототехники, мехатроники, динамики и прочности.

Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук на тему «Развитие методов волновой теории сейсмостойкости строительных конструкций» по специальности 2.1.9 защищена в 2019 г.

E-mail: PozniakYV@mpei.ru

Тел. +7 495 362-77-56, +7 926 584-88-27

Адрес: 111250, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Лефортово, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1.