

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Эртелевой Ольги Олеговны «Параметры сейсмических колебаний в эпицентральных областях землетрясений», по специальности 25.00.10 Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

Актуальность исследований. Объект и предмет исследований.

Диссертация О.О. Эртелевой выполнена в рамках решения проблемы прогноза и снижения негативных последствий катастрофических эндогенных процессов по «Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы». Актуальность работы очевидна: самым слабым местом в строительных нормах различных стран является задание сейсмических воздействий. Специфика отечественных норм по сейсмостойкости, ориентированных на учет обобщенных сейсмических воздействий, определяется слабо развитой сетью станций сильных движений и весьма скудной информацией о сильных движениях грунта. Объектом исследования являются количественные характеристики сейсмических колебаний. Предметом исследований являются сбор систематизация и анализ данных о сильных движениях грунта по мировым данным и совершенствование методов прогноза сейсмических воздействий с учетом конкретных условий размещения объектов.

Цель и задачи исследований.

Цели и задачи исследования – повышение точности определения ожидаемого движения грунта в зависимости от характеристик очага и среды на пути распространения сейсмических волн от очага до пункта наблюдения.

Значимость для науки и практики.

Результаты исследований О.О. Эртелевой имеют значение, как для науки, так и для практики. Сейсмические волны несут информацию об очагах землетрясений и состоянии среды. Изучение особенностей волнового поля в эпицентральной зоне является важной составной частью научного направления по прогнозу землетрясений. В практическом отношении повышение точности определения параметров ожидаемых сейсмических колебаний имеет принципиальное значение для проектирования сейсмостойких зданий и сооружений. Основные результаты диссертации уже использовались при сейсмостойком проектировании уникальных

объектов и нашли свое отражение в ряде нормативных документов, что полно отражено в диссертационной работе.

Научная новизна.

Автором разработаны новые эмпирические уравнения для оценки амплитуд, спектров и продолжительности колебаний для ускорений в зависимости от характеристик очага и среды, что позволяет уточнить соотношения ранее принятые в руководстве по безопасности РБ-006-98 «Определение исходных сейсмических колебаний грунта для проектных основ». Автором впервые установлены эмпирические уравнения, отражающие зависимость формы спектра ответа и коэффициентов динамичности в скоростях от характеристик очага и среды на пути от очага до места размещения объекта. Полученные автором результаты уже нашли отражение в практической оценке сейсмической опасности объектов энергетики, промышленных и гражданских объектов и нормативной практике.

Первая глава включает аналитический обзор литературных данных. Объем использованных публикаций весьма обширен и насчитывает более 500 наименований, включая ссылки на строительные нормы и правила. При этом в работе не нашел отражение анализ методов и способов задания сейсмических воздействий в строительных нормах различных стран. Между тем как даже у нас в стране нормативные требования различных ведомств существенно различаются. Например, в нормы проектирования сейсмостойких атомных станций (НП-031-01) включены стандартные коэффициенты динамичности, соответствующие обобщенным спектрам реакции грунта в ускорениях для различных сеймотектонических и грунтовых условий, предназначенные для сейсмостойкого проектирования унифицированной (типовой) АС. В руководство по безопасности РБ-006-98 включены рекомендации по определению параметров сейсмических воздействий для конкретной сеймотектонических и грунтовых условий площадки размещения АС. В случае значимого различия стандартных и уточненных характеристик параметров сейсмических воздействий, включая форму спектров реакции и продолжительность колебаний, требуется выполнение поверочных расчетов сейсмостойкости. Автором на основании анализа данных разных авторов отмечены существенные различия в прогнозных оценках ускорения, скорости, периода, длительности, спектров ответа, соотношение горизонтальных и

вертикальных компонент колебаний грунта в ближней и дальней зоне от очага землетрясения. На основании этого автором обоснованно сделан вывод о необходимости выяснения причин несоответствия теоретических представлений относительно распространения сейсмического волнового фронта и накопленного эмпирического опыта наблюдений в ближней зоне.

Во второй главе описывается использованный эмпирический материал и методы его обработки. Для установления основных закономерностей изменения параметров сейсмических колебаний в зависимости от магнитуды землетрясения, типа подвижки в очаге, расстояния до ближайшей точки разлома и грунтовых условий в пункте регистрации использован метод параметризации, основанный на статистических оценках эмпирических данных из разных регионов. Количество использованных записей сильных движений грунта вполне представительно для изучения региональных различий в сейсмических воздействиях, а также объяснения причин таких различий и обоснования возможности их уменьшения в прогнозных оценках с учетом отдельного учета механизма очага и затухания ускорений для каждой зоны. Отметим, что в диссертации вид уравнений, описывающих тот или иной параметр, заранее не задается, а для каждой зоны строится средняя кривая, для которой затем и подбирается одно или несколько математических выражений. Это позволяет эмпирически выделить зоны с различными законами распространения сейсмических волн. Особый научный и практический интерес представляет постановка задачи, направленной на исследование скоростей сильных движений грунта при землетрясениях и разработку прогнозных соотношений в скоростях, как во временной, так и в спектральной области в зависимости от характеристик очага и грунтовых условий.

В третьей главе уточняются способы оценок параметров колебаний в ускорениях. Благодаря большому объему исходных данных уточненные автором эмпирические уравнения затухания в зоне разлома, ближней и дальней зоне представляются более надежными. В разломной зоне с удалением от источника максимальное ускорение увеличивается. Уровень максимальных ускорений зависит от механизма очага (для сбросов он минимален, а для взбросов максимален). Граница между разломной и ближней зоной определяется сменой тенденции увеличения ускорений в зоне разлома на тенденцию уменьшения

ускорения с увеличением расстояния в ближней зоне. В ближней зоне закон затухания зависит только от нормированного расстояния, а в дальней зоне – от нормированного расстояния и типа грунта (чем выше категория грунта, тем выше уровень максимальных ускорений). Приведенные в главе 3 результаты обосновывают первое защищаемое автором положение: **Единый для всех магнитуд закон затухания пиковых амплитуд ускорений грунта в эпицентральной области землетрясения с учетом зависимости декремента поглощения от уровня колебаний, в соответствии с которым волновое поле (по ускорениям) делится на 3 зоны с различными законами затухания волн.**

Четвертая глава посвящена исследованию скорости колебаний грунта. Автором впервые выполнены столь детальные исследования скорости сейсмических колебаний грунта, получены законы затухания скоростей, подобные законам, установленным для максимальных ускорений в главе 3, и обосновано второе защищаемое положение: **Закон масштабирования пиковых скоростей, устанавливающий независимость на подобных расстояниях пиковых скоростей от магнитуд и позволяющий при исследовании волнового поля рассматривать все эмпирические данные совместно.** Как и в случае пиковых ускорений, согласно закону затухания скоростей в эпицентральной области землетрясений существуют 3 зоны с различными характеристиками затухания сейсмических колебаний. В нашей стране пиковые скорости является основной характеристикой сейсмических воздействий при взрывных работах. В ГОСТ Р 57546-2017. «Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности» показано, что использование скорости колебаний вместо ускорений вполне целесообразно. На основании закона масштабирования максимальных скоростей от магнитуд с учетом приведенных расстояний разработано и обосновано третье защищаемое положение: **Модель формирования и распространения сейсмических колебаний в скоростях, включающая закон затухания пиковых скоростей, закономерности формирования формы спектра реакции в скоростях и его среднюю форму, а также зависимости характеристик скоростей сейсмических колебаний от параметров очага и среды.** Спектр ответа в скоростях для отдельного землетрясения по эмпирическим данным построен впервые.

В пятой главе на основании полученных результатов описывается способ задания параметров сейсмических колебаний для сейсмостойкого проектирования зданий и сооружений, послуживший обоснованием четвертого защищаемого положения: **Методика прогноза параметров сильного движения грунта при землетрясениях, основанная на разработанных эмпирических корреляционных соотношениях, связывающих характеристики сейсмических колебаний с различными параметрами очага и среды, позволяющая производить оценку сейсмических воздействий с различным доверительным уровнем.** При непосредственном участии автора создана база данных о параметрах сильных движений грунта в различных регионах мира, которая послужила основой для разработки прогноза количественных характеристик сейсмических колебаний грунта при землетрясениях для конкретных объектов.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации и мнение о научной работе соискателя в целом.

Диссертация О.О. Эртелевой написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, имеет важное научное и практическое значение для решения проблемы обоснования сейсмостойкости АЭС и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. При непосредственном участии автора создана база данных о параметрах сильных движений грунта в различных регионах мира, которая послужила основой для разработки прогноза количественных характеристик сейсмических колебаний грунта при землетрясениях. При проведении исследований диссертантом применялись методы статистической обработки эмпирических данных. Автором лично разработан алгоритм, который реализован в виде набора программ для расчета количественных характеристик сильных движений грунта, выполнены все вычисления, анализ и объяснение результатов, представленных в диссертационной работе.

Основные научные результаты диссертации опубликованы 80 печатных работах (из них 29 статей – в рецензируемых научных изданиях), а также в 4 нормативных документах. Содержание автореферата отражает содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Общий

объем составляет 290 страниц, в том числе 77 рисунков, 21 таблица. Список литературы содержит 512 наименований.

По содержанию и оформлению диссертации имеется ряд редакционных замечаний:

1. Следует отметить, что в действующих нормативных документах, например, НП-031-01, принимается, что $a_x = a_y = a_0$ и $a_z = 2/3 a_0$, где a_0 – максимальное ускорение грунта. При этом ориентацию горизонтальной составляющей сейсмического воздействия при оценке сейсмостойкости строительных конструкций принимают по наиболее неблагоприятному для данного элемента направлению (п. 4.6 НП-031-01 Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций). При этом необходимо отметить, что коэффициент динамичности $\beta = 3.6$ при 5%-ном уровне демпфирования (стр. 206) превышает нормативные значения коэффициентов динамичности ($\beta = 3.2$ согласно НП-031-01 и $\beta = 2.5$ согласно СП 14.13330.2018). Значимость данного различия при оценке сейсмостойкости и решении проблемы снижения социально-экономического ущерба от землетрясений в рассматриваемой работе не отражена.

2. Не совсем ясно как устанавливаются уровни сейсмической опасности, если на первом этапе не рассматриваются повторяемости землетрясений, а автором предусмотрено только выделение зон возможных очагов землетрясений и определение расстояния, максимально возможной магнитуды, глубины и механизм очага (первый абзац раздела 5.1 на стр. 206).

3. Содержание рисунка 2.4 диссертации и рисунка 1 автореферата не соответствует названию «Диаграмма разброса пиковых ускорений грунта (2541 событие)». Вместо разброса пиковых ускорений от магнитуды показан разброс минимальных удалений (или эпицентральных расстояний) от магнитуды.

4. На рисунке 3.18 диссертации и на рисунке 4 автореферата представлено распределение данных о продолжительности колебаний в ускорениях от магнитуды, аппроксимирующая линия и 95%-ные доверительные интервалы. С учетом стандартного отклонения ± 0.29 ед. десятичного логарифма, согласно соотношению (18) автореферата и соотношению (3.22) диссертации, положение 95%-ных доверительных интервалов вызывает сомнение.

5. Согласно рисунку 3.6, иллюстрирующему закон затухания пиковых ускорений грунта для сдвиговых землетрясений в разломной и ближней зоне, красные точки (грунт I категории) лежат выше зеленых (грунт III и IV категории), что свидетельствует о зависимости уровня ускорений от типа грунтов. Диссертантом наблюдаемые данные аппроксимируются одними линиями и принимается, что в разломной зоне и ближней зоне закон затухания не зависит от грунтовых условий (стр. 99, 101). Отсутствие на рисунке 95%-ных доверительных интервалов затрудняет оценку достоверности вывода о независимости максимального ускорения в разломной и ближней зоне от типа грунта.

6. Обращает на себя внимание отсутствие 95%-ных доверительных интервалов на рисунках 3.5, 3.6, 4.14, 4.16, 4.17, 4.18, 4.20, 4.31, 4.34, а на рисунках 4.29, 4.30, 4.32 – не представлены и аппроксимирующие линии. Автором не выполнен анализ эпистимической и алеаторной неопределенности, оценка которой согласно требованиям нормативных документов должна осуществляться на всех этапах работ по оценке сейсмической опасности.

7. На рисунке 2.2 на оси S1 - S2 вместо 0.4 и 0.8 следует писать 0,6 и 1.0.

8. На рисунке 3.10, к сожалению, не показаны стандартные отклонения, подтверждающие утверждение автора.

9. Отсутствуют конкретные рекомендации о том насколько нужно увеличивать величину стандартного отклонения (стр. 206-207).

10. Во второй главе при описании использованных материалов допущена ошибка: Бюллетень Международного сейсмологического центра находится не в Беркли (США), а в Великобритании, впрочем, в английском написании адрес издательства указан правильно: (ISC, International Seismological Center, Berkshire, UK).

Приведенные редакционные замечания несколько не умаляют достоинства рассматриваемой диссертации.

В дальнейшем автору рекомендуется продолжать работы по наращиванию базы данных о параметрах сильных движений грунта в очаговых зонах землетрясений и представлению результатов в доступном для практического использования виде для широкого круга специалистов.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

По своему содержанию, научной новизне и практической значимости полученных результатов диссертация Ольги Олеговны Эртелевой «Параметры сейсмических колебаний в эпицентральных областях землетрясений» является научно-квалификационной работой, в которой в рамках проблемы снижения социально-экономического ущерба от землетрясений разработана методика прогноза параметров сильного движения грунта при землетрясениях с различным доверительным уровнем. Диссертация полностью соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842), для учёной степени доктора наук, а ее соискатель, Ольга Олеговна Эртелева, достойна присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.10 Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Официальный оппонент

Бугаев Евгений Геннадьевич, доктор технических наук, главный научный Федерального бюджетного учреждения «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (ФБУ «НТЦ ЯРБ»).

107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5

Е.Г. Бугаев

10 сентября 2020 года

Подпись Е.Г. Бугаева заверяю:
ученый секретарь ФБУ «НТЦ ЯРБ»



В.А. Гремячкин