

Отзыв

оппонента д.ф.-м.н. Павленко О.В.

на диссертационную работу Позняк Елены Викторовны «РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.17 - Строительная механика

Актуальность темы исследования, общая методология и методика исследования

Диссертационная работа Е.В. Позняк посвящена развитию инженерной теории сейсмостойкости строительных конструкций, что безусловно актуально.

Автор отмечает существенный прогресс инженерных теорий сейсмостойкости в последние десятилетия: простые консольные модели сооружений уступили место цифровым пространственным моделям конструкций, генерируемым системами автоматизированного проектирования и инжиниринга. Подобные пространственные модели, по мнению автора, требуют задания пространственных сейсмических нагрузок.

Идея или рабочая гипотеза диссертационной работы заключается в том, что особенности динамического поведения конструкций при землетрясениях обусловлены прохождением сейсмических волн, и эти особенности можно рассчитать, задав пространственные распределения сейсмических нагрузок в основании сооружения, вместо задания сейсмического воздействия в одной точке, как это делается в настоящее время.

Стараясь описать все возможные сценарии сейсмических воздействий на сооружения, автор выделяет интегральную (дилатационную либо дилатационно-ротационную) и дифференцированную модели движения грунта. В интегральной модели движение фундамента с примыкающей к нему областью основания конструкции происходит подобно твердому телу; а в других случаях, если фундамент податливый, и доминирующие длины волн короткие, порядка длины фундамента, модель дифференцированная, т.е. движение опорных точек конструкции происходит по индивидуальным законам, отражающим процесс прохождения волны. В диссертации предлагается способ преобразования волновых сейсмических воздействий в расчетные сейсмические нагрузки и методика последующего анализа динамической реакции пространственных конструкций на эти нагрузки линейно-спектральным методом (ЛСМ).

Автор приходит к такой постановке задачи, предварительно рассмотрев (в Главе 1 диссертации) эволюцию и направления развития прикладной теории сейсмостойкости, начиная с 1900-х годов, от статической теории Омори, к динамической теории и спектральной теории для систем со многими степенями свободы, нелинейной теории сейсмостойкости. С 1950-х годов развивается вероятностный подход к решению задач сейсмостойкости; с 1960-70-х годов – волновое направление теории сейсмостойкости, которое развивает и автор в своей диссертации. Волновое направление опирается на аналитические решения классических задач о распространении волн в упругой среде и аппарат волновой механики.

По мнению автора, в настоящее время вероятностные подходы в теории сейсмостойкости играют лишь вспомогательную роль, поскольку их применение ограничено отсутствием ансамбля реализаций сильных землетрясений. Также, вероятностные расчеты нелинейных систем связаны с применением метода статистического моделирования, что часто приводит к исключительно трудоемким вычислениям.

Говоря о перспективах развития теорий сейсмостойкости, Елена Викторовна отмечает: «Сегодня основные работы направлены на учет пространственного характера

расчетной динамической модели и сейсмического воздействия, и продвигаются по трем основным направлениям: волновая теория сейсмостойкости, развитие методов и вычислительных возможностей нелинейного анализа и применение вероятностного подхода».

Таким образом, в своей диссертационной работе Елена Викторовна считает перспективным направлением инженерной теории сейсмостойкости и развивает детерминистский и линейный подход: предлагает аналитические решения задач о распространении волн в упругой среде и расчеты линейно-спектральным методом. Для надежных расчетов сейсмостойких конструкций, по мнению автора, нужно лишь получить от сейсмологов пространственные распределения сейсмических нагрузок в виде волновых векторов в основании сооружения.

Во 2-й Главе диссертации автор описывает модели сейсмических воздействий, основанные на представлениях классической сейсмологии о 3-х типах сейсмических волн: продольных, поперечных и поверхностных, из которых, по мнению автора, поперечные и поверхностные представляют наибольшую опасность, поскольку вызывают как поступательные, так и ротационные движения грунта. Вектор сейсмического воздействия следует задавать в виде трех поступательных и трех ротационных компонент.

Автор описывает обобщенную волновую модель сейсмического движения, определяя, в зависимости от соотношения преобладающих длин сейсмических волн и размеров фундамента сооружения, вид движения грунта в основании сооружения: интегральное дилатационное или дилатационно-ротационное движение, либо дифференцированное движение. Это действительно универсальный подход к описанию волнового движения грунта, и в последующих главах, 3-й и 4-й, диссертант развивает этот подход, выводя формулы для расчета параметров динамической реакции сооружения по полю сейсмических смещений и предлагая методики моделирования пространственно-временных сейсмических полей.

Эти положения диссертации требуют комментариев. Логически рассуждения автора верны, и вывод формул корректен, однако представления автора о сейсмических волнах и сейсмическом волновом поле кажутся неполными и несколько упрощенными. Поэтому, на мой взгляд, полученные автором результаты не следует рассматривать как универсальные, а необходимо определить их область применения.

Не всегда вектор сейсмического воздействия имеет смысл задавать в виде трех поступательных и трех ротационных компонент; в большинстве случаев такое описание избыточно. С другой стороны, сейсмологи не имеют возможности прогнозировать сейсмические воздействия таким образом, как желательно автору, поскольку современная сейсмология развивается иначе, чем развивается, в представлении диссертанта, инженерная теория сейсмостойкости. Поясним это.

1) Земля имеет слоистую структуру: вблизи поверхности обычно залегают более рыхлые и мягкие породы: трещиноватые скальные породы либо грунты, а с глубиной плотность земных пород и скорости сейсмических волн в них возрастают. Распространение сейсмических волн из очагов землетрясений определяется законом Снеллиуса, благодаря которому волны не проникают в глубокие плотные слои Земли, а поворачивают к поверхности, и в приповерхностных грунтовых слоях (а именно на них расположены постройки - на горизонтальных поверхностях, грунтовых основаниях) распространяются практически вертикально. На таких представлениях основаны многочисленные программы расчета отклика грунта по движению на скальном основании, использующие подходы эквивалентного линейного и нелинейного анализа. По оценкам Silva et al. (1988), не менее 75% энергии колебаний (что соответствует 87%-му уровню амплитуд) на поверхности может быть приписано вертикально распространяющимся волнам сдвига на частотах до 15 Гц, тогда как остальные проценты принадлежат

рассеянными и поверхностными волнами (Silva, W. J., T. Turcotte, and Y. Moriwaki, (1988). "Soil Response to Earthquake Ground Motion," Electric Power Research Institute, Walnut Creek, California, Report No. NP-5747).

2) Поверхностные волны Релея и Лява формируются лишь на значительных расстояниях от очага землетрясения (в несколько длин волн), т.е. на удалениях порядка десятков километров, что никак нельзя отнести к ближней зоне очага, в которой как правило требуются расчеты на сейсмостойкость. На столь больших удалениях от очага амплитуды поверхностных волн малы, так что эти волны неопасны для инженерных построек.

В то же время, локальные поверхностные волны могут генерироваться в аллювиальных осадочных бассейнах на внутренних границах, и затем захватываться слоями мягких осадочных отложений, хотя такие явления довольно редки. Сейсмологи отмечают, что пока мало экспериментальных свидетельств, доказывающих существование этих поверхностных волн; также мало случаев, когда одномерные модели не способны объяснить наблюдения (Bard P.-Y. Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, in Proc. 10th ECEE, Duma (Ed.), Balkema, Rotterdam, 305-324, 1995).

Локально-генерированные поверхностные волны в долине Санта Клара в Калифорнии стали причиной большой продолжительности колебаний при афтершоках землетрясения в Лома Приета; в районе Осаки в Японии возбуждение таких волн существенно зависело от азимута приходящих волн; в бассейне Канто в окрестностях Токио эти фазы генерировались вдоль границ осадочного бассейна и часто имели амплитуды большие, чем S- волны; они также наблюдались в долине Сан Бернардино и при землетрясении 1995 г. в Кобе. Общая особенность всех этих случаев состоит в том, что такие волны зарегистрированы лишь в больших осадочных бассейнах, в которых основной период колебаний >1 с (иногда достигает 6 с) и где основные моды поверхностных волн представляют собой длиннопериодные волны, времена пробега которых от границ до центра бассейна могут достигать десятков секунд.

Для структур меньших размеров, в которых мощность осадочных отложений меньше нескольких сотен метров и ширина которых меньше ~ 10 км, ситуация другая: поскольку резонансные частоты выше и время пробега меньше, локально-генерируемые поверхностные волны накладываются на S- волны, и их гораздо труднее разделить (для этого требуется несколько очень плотных сейсмических групп). Достаточно четко дифрагированные волны идентифицированы на полигоне Euroseistest в окрестностях Салоники (Греция) в грабене шириной 5 км с толщиной осадочного слоя ~ 250 м. С другой стороны, явных свидетельств таких 2-х и 3-мерных эффектов не найдено на сейсмических полигонах на Турецком плато и в долине Ашигара, т.к. одномерная модель дает такие же удовлетворительные результаты, как и 2-х и 3-мерные модели.

Близкими к дифракционным эффектам являются эффекты усиления интенсивности колебаний в узких (несколько десятков метров) зонах, локализованных вдоль сильных горизонтальных неоднородностей, т.е. в областях, где более мягкий материал соседствует с более жестким (древние разломы, зоны с обломочным материалом, и др.). Многочисленные макросейсмические наблюдения (Ламбеск, Франция (1909); Ирпиния, Италия (1980); Льеж, Бельгия (1983)) описывают значительно большие разрушения в таких областях. Последние исследования показывают, что такого рода неоднородности также генерируют локальные поверхностные волны в более мягкой среде (Bard P.-Y. Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, in Proc. 10th ECEE, Duma (Ed.), Balkema, Rotterdam, 305-324, 1995; Павленко О.В. Сейсмические волны в грунтовых слоях: нелинейное поведение грунта при сильных землетрясениях последних лет. 2009, Научный мир).

Таким образом, в большинстве случаев ротационные компоненты сейсмического волнового поля будут незначительны, так что их можно не принимать во внимание.

С другой стороны, имеются различия в научных подходах в сейсмологии и теории сейсмостойкости, как это описано в диссертации. Елена Викторовна развивает детерминистский и линейный подход, предлагает аналитические решения задач для расчета параметров динамической реакции сооружения по полю сейсмических смещений.

В сейсмологии же развиваются преимущественно вероятностные подходы, нелинейный анализ и численные методы расчета, что отвечает характеру сейсмических воздействий. Существенная случайная компонента содержится уже в излучаемом очагом землетрясения сейсмическом волновом поле (вследствие гетерогенной структуры разломной зоны с шероховатостями различных масштабов); эта компонента возрастает при распространении сейсмических волн в случайно-неоднородной и сейсмически-мутной геофизической среде, содержащей неоднородности и включения, и наконец разнообразные локальные эффекты (влияние грунта, поверхностная топография и топография внутренних границ и др.) вносят свой вклад в случайную компоненту сейсмического волнового поля. В результате, сейсмические воздействия наилучшим образом описываются стохастически. Стохастические методы моделирования сильных движений развиваются с 1980-х годов; они эффективно используются для моделирования акселерограмм сильных землетрясений в регионах, где отсутствуют записи сильных землетрясений, либо их недостаточно. При этом учет местных (региональных) особенностей сейсмических очагов и свойств путей распространения позволяет с хорошей точностью аппроксимировать реальные записи сильных землетрясений в данном регионе.

Важный момент в расчете сейсмических воздействий – обязательный учет нелинейности поведения грунта, поскольку она, как правило, высока. Методы нелинейного анализа считаются предпочтительными (как более точные); расчеты ведутся во временной области, и поскольку при этом возникают сложности, связанные с неоднозначностью зависимостей напряжение-деформация (циклические нагружения и разгрузки описываются нелинейными гистерезисными кривыми), то невозможно применять аналитические методы, и используются численные расчетные методы.

Таким образом, описание сейсмических воздействий стохастическое. Три компоненты поступательного движения – это две случайно ориентированные горизонтальные компоненты (амплитуда максимальной компоненты превышает амплитуду второй компоненты примерно в 1,28 раза – согласно наблюдениям) и вертикальная компонента. Три компоненты ротационного движения также имеют стохастический характер, и в большинстве случаев пренебрежимо малы. Как справедливо отмечается в диссертации, появление сколько-нибудь существенных ротационных компонент возможно при наличии поверхностных волн, т.е. при наличии горизонтальных неоднородностей в приповерхностных осадочных отложениях, типа осадочных бассейнов (размерами единицы – десятки километров), способных генерировать локальные поверхностные волны.

В подавляющем большинстве случаев сейсмическое движение грунта в основании сооружения следует считать интегральным; ротационное либо дифференцированное движение может иметь место в случаях наличия горизонтальных неоднородностей в приповерхностных (преимущественно грунтовых) слоях в основании сооружения, либо вблизи него, а также при наличии существенных локально-генерированных поверхностных волн.

Таковы, на сегодняшний день, представления сейсмологов, которые очевидно следует принимать во внимание разработчикам инженерных теорий сейсмостойкости.

Степень обоснованности и достоверности каждого из полученных научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Первое защищаемое положение диссертации – обзор и анализ основных положений и методов волновой теории сейсмостойкости строительных конструкций, включая описание и выбор расчетных моделей сейсмического движения грунта, задание сейсмического воздействия для интегральной и дифференцированных моделей.

Это положение диссертации подробно обсуждено выше. Диссертант предлагает обобщенную волновую модель сейсмического движения, определяя, в зависимости от соотношения преобладающих длин сейсмических волн и размеров фундамента сооружения, вид движения грунта в основании сооружения: интегральное дилатационное или дилатационно-ротационное движение, либо дифференцированное движение. Это защищаемое положение обосновано и достоверно в пределах области его применения, как это описано выше.

Второе защищаемое положение диссертации касается поверхностных сейсмических волн. Предлагается метод формирования пространственно-временных полей сейсмического движения от волн Рэлея и Лява по заданным акселерограммам. Выполненные автором аналитические вычисления и предлагаемый метод формирования пространственно-временных полей сейсмического движения обоснованны и достоверны.

Однако нужно отметить не вполне удачный выбор примеров расчета компонент поверхностных волн по акселерограммам землетрясения в Газли в 1986 г. Вид приведенных компонент акселерограмм не позволяет уверенно идентифицировать на них поверхностные волны, которые обычно представляют собой низкочастотные монохроматические (синусоидальные) колебания.

Третье защищаемое положение – созданная автором теория обобщенного линейно-спектрального метода для случаев интегрального и дифференцированного сейсмического движения – очевидно представляет собой основное достижение диссертационной работы. Это серьезный вклад автора – Елены Викторовны Позняк – в теорию сейсмостойкости. Вывод формул проведен корректно, научные положения, выводы и рекомендации обоснованны и достоверны.

В целом, диссертационная работа Е.В. Позняк представляет собой законченный научный труд, в котором получены научные результаты, которые можно считать обоснованными и достоверными в пределах их области применения.

В целом, считаю, что диссертация отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, согласно п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного правительством РФ (№842 от 24.09.2013 г.), с изменениями Постановления Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 г. № 335 «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней», а ее автор Позняк Елена Викторовна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.17 - Строительная механика.

Я, Павленко Ольга Витальевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук,
специальность 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поиска полезных ископаемых.
Павленко Ольга Витальевна,
Доктор физико-математических наук,

Главный научный сотрудник лаборатории
региональной геофизики и природных катастроф
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта
Российской академии наук (ИФЗ РАН)

Павленко Ольга Витальевна

123242, г. Москва, Б.Грузинская ул., д. 10, стр. 1
Тел.: +7 (499) 254-90-25
E-mail: olga@ifz.ru

«15» августа 2019 года

Подпись О.В. Павленко заверяю



Секретарь
Камчатская Ирина / Арсеньева |