

Утверждаю:

Заместитель генерального директора

по научной работе

АО «НИЦ «Строительство»,

доктор техн. наук, профессор

Звездов Андрей Иванович

«17» мая 2019 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Дудченко Александра Владимировича на тему:
«Анализ и оптимизация параметров вертикальных сейсмических барьеров при учёте диссипации энергии», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Актуальность темы диссертационной работы

В настоящее время в условиях плотной городской застройки, а также при наличии существующих зданий и сооружений, которые невозможно или дорого реконструировать, есть определённый запрос на разработку методов защиты от вибраций естественной и искусственной природы, не связанный с модификацией конструктивной схемы объекта. К таким методам защиты относятся сейсмические барьеры, разновидностью которых являются пустые и заполненные траншеи, а также рассмотренные автором диссертации сейсмические барьеры вертикального типа. Основным принцип работы такого барьера основан на рассеивании и отражении сейсмических волн на препятствиях в сплошной среде. Кроме того, для вибрационных воздействий высокой интенсивности, к которым относятся взрывы и землетрясения, необходимо учитывать характер поведения грунта, который при соответствующем уровне деформаций является упругопластическим, а иногда происходит фактическое разрушение грунта.

Диссертационная работа Дудченко А.В. посвящена вопросам защиты от вибраций естественной и искусственной природы, при разных уровнях деформации сдвига в грунте, вызванной распространяющимся вибрационным воздействием. В зависимости от величины сдвиговых и остаточных деформаций в грунте, рассмотрены упругие и

Общий отдел МАИ
Вх. № 31
05 20 19

упругопластические модели, описывающие его поведение при сложном нагружении. Также, автором решена задача оптимизации параметров вертикального сейсмического барьера и приведены результаты решения для двух наиболее вероятных типов конструктивных материалов.

Оценка содержания диссертации и ее завершенности

Диссертация состоит из титульного листа, введения, 4 глав, выводов, списка литературы, включающего 136 наименований. Общий объём диссертации составляет 142 страницы, в него входят 74 рисунка и 6 таблиц. По теме диссертации автором опубликовано 10 научных статей, из них 2 статьи напечатаны в журналах из перечня ВАК и 1 статья напечатана в журнале, входящем в базу данных Web of Science.

В первой главе представлен обзор литературы и рассмотрены основные типы вибраций и их источников. Проведено разделение вибрации на низкоамплитудные (вызванные движением транспорта, работой тяжёлого оборудования и пр.), при которых грунт ведёт себя упруго либо вязко-упруго, а также высокоамплитудные (вызванные взрывами, землетрясениями), при которых поведение грунта нелинейное. Кроме того, рассмотрены типы источников по отношению к поверхности земли и показаны условия, при которых поверхностные волны Рэлея появляются и являются доминирующей компонентой сейсмического воздействия. Далее приведен обзор работ, дающих теоретическое и экспериментальное обоснование возможности использования сейсмического барьера в качестве средства защиты от вибраций, а также выполнен обзор исследований, связанных с численным моделированием взаимодействия вертикального барьера с поверхностными волнами Рэлея.

Во второй главе описаны основные определяющие соотношения и представлена математическая постановка задачи о взаимодействии вертикального сейсмического барьера с поверхностными волнами Рэлея. Приведены начальные, граничные и контактные условия на границе между грунтом и барьером. Введён коэффициент редукации, характеризующий снижение вибрации в защищаемой зоне за барьером. Рассмотрены наиболее часто применяемые в механике грунтов упругопластические модели грунта с приведением их математических реализаций в программном комплексе Abaqus FEA (данный программный комплекс в дальнейшем использовался для численных расчётов), а также проанализировано влияние численных параметров

моделей (используемые для сглаживания поверхности и пластичности), обеспечивающих сходимость и устойчивость численной схемы. На этом основании выбрана модель Мора-Кулона, позволяющая с достаточной точностью описывать упругопластическое поведение грунта и реализовать диаграмму деградации модуля сдвига грунта с повышением уровня сдвиговых и остаточных деформаций в грунте.

В третьей главе представлены результаты численного моделирования взаимодействия поверхностных волн Рэлея с вертикальным сейсмическим барьером в рамках упругого деформирования грунта и барьера, что соответствует низкоамплитудным вибрациям. Полученные результаты свидетельствуют о том, что барьер эффективен и обеспечивает снижение вибраций, переносимых поверхностными волнами Рэлея, при обеспечении максимального отличия в механических характеристиках грунта и материала барьера. При этом, автором выделено два основных типа материала, подходящих для использования – железобетон (твёрдый и жёсткий) и экструдированный пенополистерол (лёгкий и нежёсткий). Для этих двух типов материалов проанализировано влияние геометрических параметров барьера на снижение вибрации в зоне за барьером. На основании этого приведены рекомендации по практическому проектированию вертикального сейсмического барьера.

В четвёртой главе рассмотрена и реализована в конечно разностной форме методика оптимизации параметров вертикального сейсмического барьера для заданных грунтовых условий и уровня вибрационного воздействия. Приведён пример расчёта оптимальных параметров барьера при заданных грунтовых условиях для барьера из железобетона и пенополистерола. Выполнено численное моделирование взаимодействия вертикального сейсмического барьера с поверхностными волнами Рэлея с учетом упругопластического характера деформирования грунта, на основании которого установлена применимость методики оптимизации и возможность использования барьера в качестве средства защиты от вибраций высокой интенсивности.

Достоверность положений, выводов и рекомендаций диссертации, их научная новизна, обоснованность и соответствие критериям, предъявляемым к диссертациям

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

достигнуты в диссертационном исследовании за счёт: корректной постановки задачи на основании фундаментальных положений механики сплошной среды и механики грунтов; использования верифицированного и апробированного в других задачах механики программного комплекса SIMULIA Abaqus FEA и верификации расчётных моделей на имеющихся экспериментальных данных и зависимостях, полученных в рамках натуральных и лабораторных испытаний, а также теоретических результатах, полученных решением сходных задач аналитически либо с помощью других численных подходов.

Основные положения диссертации апробированы на шести международных конференциях. Научные результаты достаточно полно изложены в 10 научных публикациях, из которых 2 статьи напечатаны в журналах из перечня ВАК и 1 статья напечатана в журнале, входящем в базу данных Web of Science.

Значимость полученных результатов

Полученные в результате работы рекомендации по проектированию вертикального сейсмического барьера и предложенная конечно-разностная методика оптимизации, позволят разрабатывать более эффективные средства защиты от вибраций низкой интенсивности. Также приведённые методики позволяют делать предварительную оценку возможности применения вертикального барьера для защиты от вибраций высокой интенсивности.

Научная новизна работы

Новизна выполненной работы заключается в проведённом численном моделировании взаимодействия вертикальных сейсмических барьеров с поверхностными сейсмическими волнами во временной области, на основании которого выявлены основные параметры вертикального сейсмического барьера, определяющие снижение вибраций в защищаемой зоне для которых впоследствии даны рекомендации для практического проектирования. Кроме того, рассмотренная и реализованная методика оптимизации параметров барьера позволяет проектировать барьер, обеспечивающий достаточный уровень снижения вибрации при минимальной стоимости. Проведённый анализ взаимодействия вертикального сейсмического барьера с поверхностными сейсмическими волнами Рэлея с учётом пластического

характера деформирования грунта при разных уровнях сдвиговых деформаций показывает, что барьер наиболее эффективен для вибраций малой интенсивности, однако его использование возможно и для высокоинтенсивных вибраций с требуемой дополнительной расчетной проверкой, учитывающей нелинейный характер работы грунта.

Практическое значение работы

Практическая ценность данной работы заключается в полученных рекомендациях по проектированию вертикального сейсмического барьера и предложенной конечно-разностной методикой оптимизации, позволяющей разрабатывать более эффективные средства защиты от вибраций низкой интенсивности. Также разработанные автором методики позволяют делать предварительную оценку возможности применения вертикального барьера для защиты от вибраций высокой интенсивности.

Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования

Результаты работы могут быть использованы при проектировании средств виброзащиты от вибраций естественной и искусственной природы:

- при проектировании виброзащитного барьера для защиты от вибраций, вызванных высокоскоростным железнодорожным наземным транспортом;
- при проектировании сейсмозащиты в случае подтверждения возможности возникновения поверхностных волн Рэлея в данной местности.

Выявленные замечания по диссертации

- 1) В работе рассмотрена защита от поверхностных волн Рэлея, однако при землетрясениях могут возникать объёмные волны, защиту от которых барьер не обеспечивает, что ограничивает его область применения.
- 2) В главе 1 необходимо упомянуть другие методы снижения вибраций, например, недавно предложенный и достаточно разработанный метод резонансных масс (Качиолла и др.), а также дать больше информации по возможности использования «метаматериалов», позволяющих отклонять поверхностные волны.

- 3) Недостаточно подробно описана используемая численная схема: каким образом выбираются её параметры и какое влияние это оказывает на численные результаты?
- 4) Применение барьеров также имеет серьёзные ограничения для защиты зданий и объектов городской инфраструктуры. Например, в таблице 4.1. (стр. 114) получены параметры барьеров: примерно высотой 30 метров и шириной 6,5 метра, при применении пенополистерола, и высотой 67 метров и шириной 3 метра, при применении бетона. На наш взгляд указанные размеры барьеров, с учетом различных коммуникаций (трубопроводов, линий связей и т.п.), на практике не реализуемы.
- 5) В формулах (1.1), (1.2) и (1.3), на стр. 13-14, автором в числителях неправильно указаны амплитудные значения нормируемых параметров (ускорения, скорости, виброперемещения). В нормах в соответствующие формулы входят средние квадратические значения нормируемых параметров. Также неправильно указано опорное значение виброускорения: $3 \cdot 10^{-4}$, вместо 10^{-6} м/сек^2 .
- 6) Содержатся синтаксические и стилистические ошибки.

Данные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей ценности работы.

Заключение

В целом, диссертационная работа Дудченко А.В. «Анализ и оптимизация параметров вертикальных сейсмических барьеров при учёте диссипации энергии» представляет собой законченное научное исследование, которое по его актуальности, научному уровню, а также практической и теоретической значимости отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. для диссертаций, представленных на соискание учёной степени кандидата технических наук), а её автор, Дудченко А.В., заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 - механика деформируемого твердого тела. Автореферат диссертации достаточно полно отражает основное содержание диссертационной работы.

Отзыв на диссертацию и автореферат рассмотрен и одобрен на заседании НТС «Теория сооружений» ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» (протокол № 3/19 от 16.05.2019г.).

Директор ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко
АО «НИЦ «Строительство»
доктор техн. наук, профессор
Тел.: 8 (499) 171 26 50, 8 (495) 766 81 36
e-mail: vedyakov@gmail.com

Ведяков Иван Иванович

Заведующий лабораторией
динамики сооружений
ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко
АО «НИЦ «Строительство»
кандидат техн. наук
Тел.: 8 (499) 170 15 45, 8 (926) 111 86 76
e-mail: 89261118676@mail.ru

Арутюнян Марат Владимирович

Акционерное Общество «Научно-исследовательский центр «Строительство»
(АО «НИЦ «Строительство»),
109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., д.6, корп. 1
+7 (495) 602 00 70
e-mail: inf@cstroy.ru, www.cstroy.ru, info@cstroy.ru

Подпись Ведякова И.И., Арутюняна М.В.



удостоверено
Гл. специалист по персоналу Голуб С.А. Милославская