

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

доцента, доктора физико-математических наук Голубева Василия Ивановича на диссертационную работу Жавхлан Саруул на тему «Свайные сейсмические барьеры для защиты зданий и сооружений от поверхностных сейсмических волн», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.1.9. Строительная механика

### **Актуальность темы исследования**

Обеспечение безопасности населения является приоритетной задачей. Сохранение сейсмической устойчивости наземных сооружений, подвергающихся динамическим нагрузкам при инициации сейсмической активности в регионе, является актуальной научно-технической задачей. Используемые методы строительства зданий в сейсмоопасных регионах не всегда обеспечивают достаточную прочность сооружений. Подтверждением этого является регулярное разрушение строений и человеческие жертвы в ходе недавних землетрясений с магнитудой более 7 баллов.

Представленная соискателем работа посвящена исследованию вопроса взаимодействия поверхностных волн Рэлея со свайными барьерами. С использованием методов математического моделирования показан эффект образования «зоны тени», в которой обеспечивается наибольшая защита зданий. Представлены результаты нахождения оптимального расстояния между сваями при их фиксированной длине.

Полученные в работе результаты могут быть широко использованы на практике при проектировании новых сооружений в сейсмоактивных регионах, а также для повышения безопасности существующих строений путём установки подходящих сейсмических барьеров.

### **Структура и содержание работы**

Диссертационная работа Жавхлан Саруул состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка использованной литературы (136 источников). Работа подготовлена на 110 страницах, содержит 71 рисунок и 4 таблицы.

**Во введении** сформулирована тематика исследований, обоснована актуальность исследования, представлено описание развития области исследований, начиная от классических работ Рэлея до современных работ Komatitsch. Соискателем сформулирована основная цель работы, приведена декомпозиция всего исследования на отдельные научно-технические задачи. Сформулированы положения, выносимые на защиту, личный вклад соискателя в работу.

**В первой главе** диссертации представлен обзор территориальных методов сейсмической защиты. Выполнен их анализ и сопоставление. В частности, описаны основные типы сейсмических барьеров. Также представлены успешные примеры применения их на практике.

**Во второй главе** диссертации изложена теория взаимодействия сейсмических барьеров с сейсмическими волнами. Описаны основные типы объёмных и поверхностных волн, их свойства, в зависимости от частоты. Выписана основная определяющая система уравнений изотропной упругой среды, обоснован вид сигнала, используемого для моделирования рэлеевских волн с помощью ударных нагрузок.

**В третьей главе** диссертации приведена разработанная соискателем конечно-элементная модель для исследования свайных барьеров. С использованием программного комплекса Abaqus проведены расчёты магнитуды перемещений в различных точках наблюдения в отсутствие и при установке свайных барьеров. По их результатам произведён расчёт коэффициентов редукции, подтверждающий образование «зоны тени». Отметим, что все расчёты выполнялись в полной трёхмерной постановке, что обеспечивает достоверность результатов их интерпретации. Представлены результаты расчётов защитных свойств композитных свай-оболочек, выявлена значимая зависимость защитных свойств от расстояния до объекта. На основе прямых численных расчётов и с учётом оценки экономической составляющей показана выгода в использовании именно композитных свай.

**В четвёртой главе** диссертации решена оптимизационная задача по расчёту оптимальных параметров сейсмических барьеров. Представлен обзор алгоритмов оптимизации: безусловные, условные, генетические. С использованием Парето оптимизации решена задача поиска оптимального расстояния между осями свай при фиксированной их длине и диаметре.

#### **Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

Новизна представленных результатов работы заключается в разработке модели композитных свай в виде полый трубы, заполненной гранулированным материалом, используемой для оценки защитных свойств сейсмических барьеров. С использованием программного языка комплекса SIMULIA Abaqus соискателем разработана методика оптимизации параметров сейсмических барьеров.

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением апробированных численных методов и верифицированных расчётных программ, что подтверждено свидетельством в системе РААСН № 05/SIMULIA Abaqus/2014.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Теоретическая значимость работы заключается в развитии вычислительных подходов к моделированию процесса взаимодействия поверхностных волн с различными сейсмическими барьерами конечно-элементными методами.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения результатов проведённых исследований на этапе проектирования оптимальных свайных барьеров при строительстве в сейсмоопасных регионах. Дополнительно полученные результаты пространственного распределения коэффициента редукции за барьером могут быть использованы для оценки возможности реконструкции построенных ранее зданий и сооружений.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность научных положений и сделанных в диссертации выводов обеспечивается использованием верифицированных механико-математических моделей деформируемого твёрдого тела, хорошо изученных конечно-элементных методов и всесторонне протестированного проблемно ориентированного программного обеспечения.

Основные научные результаты опубликованы в пяти печатных работах, из которых одна – в журнале из перечня ВАК и одна – в журнале из зарубежной базы Scopus.

### **Замечания**

1. Из представленного автором описания к Таблице 1 (стр. 58) не вполне ясно, в какой момент времени проводились измерения указанного коэффициента редукции. Являются ли эти значения максимальными по всему времени наблюдения?

2. В разделе 3.1 рассматривается две постановки задач: со свайными барьерами и без них. При этом указано, что на всей нижней границе расчётной области использовалось условие нулевых смещений (стр. 51). Поскольку данная граница введена искусственно, чтобы проводить расчёт в конечной области, представляется интересным исследование влияния используемых на ней граничных условий на рассчитываемые волновые процессы.

3. Поскольку в работе основным исследовательским инструментом выступает конечно-элементное моделирование, проводились ли исследования сходимости используемого решателя? Из каких соображений оценивалась достаточность мелкости используемой расчётной сетки при решении описываемых постановок задач?

4. Насколько можно предположить, все расчёты в работе выполнены одним фиксированным численным методом. В таком случае считаю избыточным указывать его более чем в одном месте в тексте работы, как было сделано автором.

5. В тексте диссертационной работы присутствует достаточно большое число опечаток и дублирования текста, что затрудняет её чтение. По-видимому, автору стоило провести более внимательную итоговую вычитку текста.

Указанные замечания не влияют существенно на положительное впечатление от рассмотренной диссертационной работы.

### **Заключение**

Диссертационная работа Жавхлан Саруул является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой по актуальной теме, содержащей научные результаты, обладающие новизной. Диссертация «Свайные сейсмические барьеры для защиты зданий и сооружений от поверхностных сейсмических волн» отвечает критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней (постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.) для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Жавхлан Саруул заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.

### **Официальный оппонент:**

Доцент, доктор физико-математических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной математики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»  
117303, г. Москва, ул. Керченская, д.1 А, корп. 1

Адрес: 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д.9.  
E-mail: [golubev.vi@mipt.ru](mailto:golubev.vi@mipt.ru), [w.golubev@mail.ru](mailto:w.golubev@mail.ru)  
Тел.: 8 926 45 72 707



**Голубев Василий Иванович**

09.06.2023



**ЗАВЕРЯЮ**  
**УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ**  
**УЧЕНОГО СОВЕТА МФИ**  
**ЕГ ЕВСЕЕВ**