

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу Жавхлан Саруул

### **«Свайные сейсмические барьеры для защиты зданий и сооружений от поверхностных сейсмических волн»,**

представленную на соискание ученой степени

кандидата технических наук

по специальности 2.1.9 – Строительная механика

#### **Актуальность избранной темы исследования**

Тема диссертации Жавхлан Саруул представляется актуальной. Она обусловлена необходимостью разработки современных методов сейсмической защиты от широкого спектра сейсмических поверхностных волн и, в частности, поверхностных волн Рэлея. В условиях распространения этих волн в работе рассматривается метод защиты зданий и сооружений, основанный на применении свайных сейсмоизолирующих барьеров, которые позволяют предотвратить разрушение объектов, в том числе повышенного класса ответственности (атомные и тепловые электростанции, мосты, тоннели, взлетные полосы аэродромов), в сейсмоопасной зоне.

Автор отметил важность разработки методов сейсмозащиты с помощью свайных барьеров и привел примеры случаев, когда сооружения, оснащенные системами сейсмоизолирующих устройств, разрушались при действии расчетных сейсмических нагрузок.

#### **Структура и содержание работы**

Диссертационная работа общим объемом 110 страниц содержит 4 таблицы, 71 рисунок и состоит из введения, четырех глав, заключения и списка

литературы, включающего 136 публикаций из отечественных и зарубежных источников. Все материалы глав диссертационного исследования структурированы и логично взаимосвязаны.

**Во введении** представлена общая характеристика диссертационной работы.

**Первая глава** посвящена анализу существующих исследований по территориальным методам сейсмической защиты.

**Во второй главе** дается обзор основных типов сейсмических волн, в частности, поверхностных волн Рэлея и Лява, для защиты от которых требуются сейсмические барьеры различных видов. Автор выделил следующие особенности поверхностных рэлеевских волн, которые делают этот тип волн особенно опасными: экспоненциальное затухание амплитуд перемещений по глубине, локализация энергии волн в узком приповерхностном слое, большее расстояние распространения и с меньшей скоростью по сравнению с объемными волнами, а также сопоставимые величины вертикальной и горизонтальной компонент перемещений на поверхности с отношением примерно 1.4.

Представлена схема свайного барьера, в которой сваи создают круговое поле. Такой барьер окружает и защищает территорию размещения зданий и сооружений. Автор отмечает, что в свайных барьерах могут использоваться железобетонные сваи заводского изготовления.

Для описания среды, в которой распространяются сейсмические волны, автор использовал уравнения движения Навье, записанные в форме Ламе-Клапейрона, и решение внешней задачи Лэмба для упругого изотропного полупространства.

**В третьей главе** проводились сравнительные исследования взаимодействия поверхностных волн Рэлея и круговой системы свайных барьеров с различными физико-механическими и геометрическими

параметрами методом конечных элементов. По результатам численного моделирования автор анализировал эффективность защитных свойств рассматриваемых барьеров.

Представлены разработанные автором имитационные модели свайных барьеров в программном комплексе Abaqus по определению влияния барьеров на рассеяние энергии сейсмических волн. Полученные результаты численных расчетов магнитуд перемещений в точках наблюдения для задач распространения рэлеевских волн при наличии и отсутствии свайного поля (графики на рис. 3.6) и расположения зоны «тени» (рисунок 3.8) показывают, что круговые барьерные поля существенно снижают интенсивность рэлеевских волн в защищаемой территории.

**В четвертой главе** решена оптимизационная задача геометрических параметров барьера, позволяющая спроектировать барьер с максимальными эффективностью и экономичностью. Задача решалась с помощью метода Парето-оптимизации, в которой варьировался шаг между сваями барьера, с 2 метров до 9.5 метров, с постоянным приращением 0.1 метра. Магнитуды волн для каждого заданного шага показаны в графическом представлении на рис. 4.4. На основании этих показателей автор создал Парето-гистограмму, по которой выбрал оптимальный шаг между сваями в свайном барьере, равный 7.5 метрам.

**В заключении** приведены основные выводы, полученные на основании анализа результатов диссертационного исследования.

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

Достоверность полученных результатов обоснована выполнением численного моделирования с использованием хорошо апробированных методов – МКЭ и явных разностных схем второго порядка точности, определяется использованием известных методов решения внешней задачи



Лэмба от гармонического силового воздействия, приложенного к поверхности упругого полупространства, а также удовлетворительным согласованием с результатами исследований, полученными другими авторами.

Научная новизна работы заключается в численном анализе взаимодействия поверхностных волн Рэлея с круговым полем свайных барьеров, проведенном с помощью ПК Abaqus, в построении сравнительных моделей для определения влияния свайных барьеров на рассеяние энергии сейсмических волн, в анализе эффективности схемы защитных свайных барьеров при разных физико-механических и геометрических параметрах, в разработке модели композитных свай-оболочек, в сравнительном исследовании сплошных и композитных свай.

Считаю, что диссертационная работа корректно отражает полученные результаты и является достаточной по объему и значимости для кандидатской диссертации.

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

Теоретическая значимость диссертации состоит в разработке методики определения магнитуд перемещений в защищаемой территории, когда рэлеевские волны распространяются в приповерхностном слое, и методики Парето-оптимизации для подбора оптимальных значений шага в круговом свайном барьере.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования состоит в возможности их дальнейшего использования для защиты территории от поверхностных сейсмических волн, представляющих наибольшую опасность для зданий и сооружений.

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

Основные научные положения, выводы и рекомендации, представленные в работе, обоснованы и в достаточной степени подтверждаются результатами

научных исследований, которые успешно апробированы на шести международных научных конференциях по тематике диссертации. Материалы диссертации изложены в пяти научных публикациях, из которых одна работа опубликована в журнале из перечня ВАК, одна в журнале, индексируемом в международной реферативной базе Scopus, и две работы были выпущены в сборнике по итогам конференции и опубликованы в журнале РИНЦ.

### **Замечания**

По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. Поскольку в работе основное внимание уделяется защите от воздействий поверхностных рэлеевских волн, то было бы целесообразно дать более подробное описание, каким образом при моделировании задается нагрузка, которая должна вызывать соответствующие рэлеевские волны.
2. В оптимизационной задаче автор для оптимального подбора геометрических параметров барьера варьировал значение шага свай от 2 до 9.5 метров, с приращением 0.1 метра, при этом соответствующие магнитуды перемещений показаны только на графике, приведенном на рисунке 4.4. В связи с этим возникает вопрос о том, почему вариация расстояния ограничена интервалом 2 – 9.5 метров?
3. В работе не проводились оптимизационные расчеты для физико-механических параметров барьеров. Например, было бы интересно получить результат оптимальной плотности для материала барьерных свай, например, для железобетона.

Следует отметить, что указанные замечания не снижают научную и практическую ценности проведенного исследования, а полученные результаты свидетельствуют об имеющемся высоком научном потенциале соискателя. Текст автореферата и диссертации грамотно составлен с учетом предъявляемых к научным работам требований.

## Заключение

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

Официальный оппонент:



д.ф.-м.н. Никитин Илья Степанович

«30» июня 2023 г.

Никитин Илья Степанович,

почтовый адрес: 127322, г. Москва, ул. Милашенкова, д. 16, кв. 12,

тел. +7-916-637-70-28,

i\_nikitin@list.ru,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматизации проектирования Российской академии наук,

директор.