

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ФГБУН
«Институт прикладной механики РАН»
доктор технических наук Власов А. Н.

«23» 05 2022 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Нгуен Зыонг Фунг

«Исследование вибропоглощающих свойств пластины
под воздействием нестационарных волн различного вида»,
представленную на соискание ученой степени

кандидата технических наук

по специальности 01.02.06 –

«Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»

Актуальность темы диссертации. Автором диссертационной работы поставлена и решена задача о волновом поле в упругом грунте за плоской виброзащитной преградой, являющаяся теоретической основой разработки современных и перспективных систем защиты зданий, сооружений и подземных объектов от негативного воздействия вибрационных нагрузок, генерируемых источниками различного типа – транспортными средствами, производственным оборудованием и т. д. Создание вибрационной защиты различных объектов является насущной проблемой в условиях повышения плотности застройки в крупных городах, в том числе при наличии развитой сети подземного транспорта и крупных объектов тяжелой промышленности, также как и обеспечение защиты различных объектов при проведении взрывных работ. Следовательно, тематика диссертационного исследования является актуальной и востребованной в инженерной практике.

Уддел документационного
обеспечения МАИ

«03 06 2022»

Значимость и новизна полученных автором диссертации результатов.

Автором построена математическая модель взаимодействия нестационарных плоских и цилиндрических затухающих волн в грунте с плоской упругой преградой, как однородной, так и трехслойной, основанная на применении математического аппарата переходных функций к описанию воздействия упругой волны на преграду. На базе сформулированной задачи нестационарной задачи динамики системы «грунт – пластина» построены решения задач о взаимодействии нестационарных волн и виброзащитных барьеров различной структуры, позволяющее определить значения напряжений и перемещений в произвольной точке грунта после прохождения вибропоглощающего препятствия. Получены оценки вибропоглощающих свойств преграды, выработаны рекомендации по выбору геометрических параметров преграды, ее структуры и физических постоянных материала, обеспечивающих наибольшее снижение амплитуд колебаний за преградой.

Результаты диссертации обладают как научной значимостью, так и новизной, поскольку с помощью аналитических методов теории упругости и теории пластин построены в двумерной постановке новые решения задач о взаимодействии упругих волн в сплошной среде, моделирующей грунт, с преградами в форме пластин как однородной, так и трехслойной структуры. Практическая ценность результатов диссертационного исследования заключается в возможности применения найденных диссертантом решений в качестве основы для проектирования шумо- и виброзащитных экранов.

Достоверность полученных автором результатов обеспечивается строгостью постановок задач механики деформируемого твердого тела, применением апробированных математических методов, проведенным анализом сходимости решения и сравнительным анализом решений для различных моделей преграды.

Содержание диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка условных обозначений, списка цитируемой литературы, содержащего 115 наименований, и приложения.

Во введении обосновываются актуальность темы диссертационной работы, формулируется цель работы и задачи, решение которых необходимо для достижения цели, описываются объект, предмет и методы исследования, обосновывается научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов проведенного диссертационного исследования, достоверность полученных результатов, перечислены основные положения диссертационного исследования, выносимые на защиту, приводятся сведения об апробации работы и опубликовании ее основных результатов, а также о структуре и объеме диссертации.

В первой главе диссертации приведен обзор существующих способов виброзащиты и методов моделирования взаимодействия волн, распространяющихся в грунте, с различными препятствиями. Описаны различные источники колебаний в грунте – функционирующее производственное оборудование, производство строительных работ, в том числе взрывных, движение транспортных средств, перечислены основные свойства колебаний, вызванных данными источниками, в первую очередь характерные амплитуды деформаций, параметры источников, влияющие на характер колебаний, и указано, в каких случаях допустимым является применение линейных и линеаризованных моделей грунта. Отдельно рассмотрены сейсмические колебания, сопровождающиеся высокими амплитудами деформаций и качественным изменением свойств грунта. Приведено условное разделение колебаний в грунтах по критерию отрицательного воздействия на человека, здания, сооружения. Изложена классификация вибрационных нагрузок (периодические, импульсные, нерегулярные и др.), и указаны параметры, применяемые для оценки вибрационного воздействия (вибрационные ускорения, виброскорости, виброперемещения, дозы вибрации, эквивалентные уровни шума),

приведены ссылки на нормативные документы, регламентирующие оценки и допустимые уровни вибраций. Перечислены методы расчета оснований. Кратко изложены модели деформирования грунтов, включая модели, основанные на теории фильтрационной консолидации и теории предельных состояний, а также различные варианты теоретического описания пластического деформирования грунта. Описаны основные типы волн в сплошной среде, рассматриваемые при исследовании вибраций и моделировании вибрационной защиты. Отдельно рассмотрены способы снижения вибраций в грунте, в первую очередь способы, основанные на организации виброзащитных преград – траншей, экранов, стен в грунте, свайных полей, волновых барьеров и т.д., приведены некоторые оценки эффективности преград, главным образом по уровню пропускаемого шума, приведены ссылки на отдельные исследования, опирающиеся на аналитические методы, в том числе на применяемый в дальнейшем метод переходных функций. Кроме того, в первой главе приведена в общем виде постановка двумерной задачи о взаимодействии плоской и цилиндрической волн в линейно-упругом грунте и плоского неоднородного упругого экрана.

Во второй главе выполнена постановка задачи нестационарной динамики грунта, моделируемого в первом приближении однородной изотропной упругой средой, при распространении в ней экспоненциально затухающей волны. Произведен выбор системы безразмерных независимых и зависимых переменных задачи. Произведен переход к формулировке задачи динамики линейно-упругой среды относительно скалярного и векторного потенциалов, в частном случае двумерной задачи сводящихся к двум скалярным потенциальным функциям, и далее применением преобразования Лапласа по времени – переход в пространство изображений. Применительно к задаче о взаимодействии грунта с пластиной конечной высоты, моделирующей виброзащитный экран, переменные представлены частичными суммами рядов Фурье по

тригонометрическим функциям, выписаны уравнения движения, кинематические и определяющие соотношения относительно коэффициентов Фурье. Получено аналитическое решение поставленной задачи для случая упругого полупространства, определены перемещения и напряжения в грунте для случаев плоской и цилиндрической экспоненциально затухающих волн.

В третьей главе рассматривается в двумерной постановке задачи динамика однородной шарнирно опертой пластины, моделирующей простейший защитный экран. Кинематика пластины описывается в линейном приближении соотношениями канонической теории Кирхгоффа. Произведен выбор системы безразмерных независимых и зависимых переменных задачи. С учетом рассматриваемого типа краевых условий решение построено на основе представления нормального перемещения частичной суммой ряда Фурье по синусам и преобразования Лапласа по времени. На основе уравнения Софи Жермен выведены разрешающие уравнения для образов по Лапласу коэффициентов Фурье нормального перемещения. Получено решение вспомогательной задачи о волновом поле в грунте при единичном кинематическом воздействии на его поверхность, и при использовании в дальнейшем данного решения в качестве переходной функции вычислены эквивалентные давления грунта на срединную поверхность пластины, порождаемые распространяющимися волнами со стороны источника вибраций и давления, соответствующие вследствие принципа Гюйгенса волне, излучаемой пластиной. На базе представления давления на срединную поверхность пластины в виде свертки распределения нормального перемещения ее точек с переходной функцией получены в пространстве изображений аналитические решения задач о динамике пластины для случаев плоской и цилиндрической волн. Оригиналы вычислены методом Дурбина и модифицированным методом Дурбина, исследована сходимость решения по норме евклидова пространства. Вычислены зависимости нормальных перемещений в грунте

в точке, лежащей на нормали к срединной поверхности пластины в ее центре, от нормальной координаты как до преграды, так и за преградой, и соответствующие напряжения в грунте.

В четвёртой главе получено решение задачи о взаимодействии волн в грунте с неоднородным защитным экраном, моделируемым трехслойной пластиной с однородными изотропными несущими слоями и сотовым наполнителем, на базе линейной теории пластин, учитывающей трансверсальные деформации в наполнителе, в варианте В. Н. Паймушина. Приведены в операторной записи уравнения движения трехслойной пластины. Введена система безразмерных независимых и зависимых переменных задачи. Решение для частного случая шарнирного опирания пластины в двумерной постановке задачи построено на основе представления решения частичной суммой ряда Фурье по тригонометрической системе и преобразования Лапласа. Выведены разрешающие уравнения для образов по Лапласу коэффициентов Фурье безразмерных неизвестных задачи. Получено общее решение уравнений в пространстве изображений. Константы интегрирования вычислены из краевых условий на лицевых поверхностях пластины, взаимодействующей с грунтом, в предположении о гладкости лицевых поверхностей и, как следствие, обращении в нули касательных напряжений. Приведено решение задачи для пластины со стальными несущими слоями и сотовым наполнителем, подверженной воздействию плоской или цилиндрической затухающей волны, распространяющейся в упругом грунте. Оригиналы коэффициентов Фурье вычислены методом Дурбина или модифицированным методом Дурбина. Вычислены зависимости напряжений и перемещений в грунте в точке, лежащей на нормали к поверхности пластины в ее центре. Приведены зависимости безразмерного напряжения и перемещения в грунте от безразмерного времени.

Глава 5 посвящена сравнительному анализу виброзащитных свойств однородного и трехслойного экранов. Вычислены приведенные параметры

однородной изотропной пластины, эквивалентной по изгибной жесткости пластине трехслойной структуры с сотовым наполнителем. Оценка виброзащитных свойств преграды строится на основе коэффициента редукции, представляющего собой модуль отношения нормальных перемещений в набегающей волне и за преградой. Показано преимущество трехслойного экрана перед однослойным.

В заключении представлены основные выводы, следующие из результатов диссертационного исследования.

Значимость полученных автором диссертации результатов для развития механики деформируемого твёрдого тела.

Полученные автором научные результаты имеют большое значение для развития аналитических методов механики деформируемого твёрдого тела, поскольку предложенный подход позволяет разыскивать в замкнутом виде решения нестационарных задач о взаимодействии волн в упругой среде с неоднородной преградой, необходимые для проектирования систем шумо- и виброзащиты. Кроме того, существует возможность развития предложенных подходов на класс нестационарных задач о взаимодействии преград с нестационарными волнами, допускающих физически линейное приближение, на основе более сложных моделей грунта.

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы. Представленные в диссертационной работе результаты могут быть применены к исследованию гашения низкоамплитудных колебаний плоскими неоднородными, в том числе многослойными, защитными преградами в нестратифицированных консолидированных грунтах при условиях, допускающих применение линейно-упругих моделей.

Результаты диссертации Нгуен Зыонг Фунг могут быть использованы в следующих организациях: НИИ оснований и подземных сооружений им. Н. М. Герсеванова, ЦНИИ строительных конструкций им. В. А. Кучеренко, научно-исследовательских подразделениях Московского государственного строительного университета, проектных и строительных

организациях, и др. Кроме того, результаты работы могут быть внедрены в учебный процесс при подготовке специалистов в области механики оснований и фундаментов, а также вибрационной и противосейсмической защиты зданий и сооружений.

Замечания по диссертационной работе.

1. Обзор и анализ современного состояния проблемы, представленный в главе 1, не вполне соответствует содержанию исследования. Обзор посвящен главным образом описанию различных видов источников колебаний, распространяющихся в грунте и воздействующих на здания и сооружения, методов и устройств вибрационной защиты зданий и сооружений и моделей грунта. В работе же за основу принята простейшая линейная упругая модель грунта, в соответствии с материалами того же обзора применяемая только в случае низкоамплитудных воздействий и неприменимая в случае взрывных и сейсмических воздействий, и рассматривается одна модель преграды – шарнирно опертая упругая пластина. Ограничения класса прикладных задач, решение которых на базе предложенной модели имеет адекватную точность, обзор, однако, не содержит; формулировка цели работы на основе результатов обзора выполнена не вполне четко. В то же время обзор не содержит также анализа методов аналитического решения задачи о взаимодействии тонкостенных преград с распространяющимися в грунте нестационарными затухающими волнами. Развитие техники такого решения и является одним из основных результатов, полученных диссертантом, но недостатки обзора затрудняют оценку их новизны.

2. В п. 3.3 вспомогательная задача для функций $G_{\sigma_{33n}}^{(i)L}$, $G_{w_n}^{(i)L}$, определенных автором как «функции влияния» и являющихся решениями задачи при единичном перемещении в точке граничной поверхности полупространства (стр. 66), сформулирована нечетко; в приведенной

автором постановке задачи имеются разночтения с определением фундаментального решения, затрудняющие понимание дальнейшего.

3. При постановке краевой задачи для вспомогательной задачи для функций $G_{\sigma_{33n}}^{(i)L}, G_{\omega n}^{(i)L}$ автором приводятся только краевые условия для частичных сумм ряда (3.16) и (3.19), к тому же содержащие смысловую опечатку; при этом в тексте параграфа не приведены соответствующие значения коэффициентов Фурье, что затрудняет понимание дальнейшего изложения решения.
4. В разделе 3.5 приведены кривые, соответствующие решению задачи о волне в грунте, излучаемой однородной пластиной в среду 2 вследствие воздействия на пластину волн, падающих со стороны среды 1, в безразмерной форме. Описание данных кривых чрезмерно скупое и весьма затрудняет понимание полученных автором результатов; например, на Рисунке 3.4 приведена зависимость от координаты z перемещения при единичной амплитуде на поверхности, но ни в тексте, ни в подрисуночных подписях достаточная информация отсутствует. Аналогичные замечания следует сделать к представлению результатов решения задачи для трехслойной пластины в п. 4.4, а также в п. 5.2.
5. В главе 4, п. 4.1 неполно описана геометрия трехслойной пластины в выбранной системе координат, вследствие чего в п. 4.2 нечетко выполнена постановка краевых условий на поверхностях трехслойной пластины. Из соотношений (4.25), (4.26) не очевидно, ставятся условия контакта сред 1 и 2 и пластины на ее лицевых поверхностях $z = \pm h \pm t_1$ либо условия приведены к срединной поверхности заполнителя $z = 0$.
6. В тексте глав 3 и 4 не приведены сведения о количестве членов частичной суммы ряда Фурье, удержания которых достаточно для достижения заявленной точности решения, вследствие чего оценка эффективности предложенного автором решения задачи затруднена.
7. Текст диссертации и, в частности, некоторые формулы содержат опечатки, существенно искажающие смысл:

- a. на стр. 46 присутствует опечатка в формуле (2.11), определяющей изображения по Лапласу коэффициентов Фурье компонентов тензора деформации $\varepsilon_{33n}^{(i)}$ и напряжения $\sigma_{33n}^{(i)}$;
 - b. на стр. 61 уравнение движения (3.4) не учитывает суммарное внешнее давление, т. е. не соответствует уравнениям (3.2) и (3.5);
 - c. на стр. 62 в уравнении движения (3.7) для n -го коэффициента Фурье перемещения w_n ошибочно присутствуют обозначения частных производных по пространственной координате x ;
 - d. на стр. 65 краевые условия (3.16) приведены для частичной суммы ряда, но не для коэффициентов Фурье w_n , тогда как использованы обозначения для коэффициентов ряда;
 - e. на стр. 78 допущена опечатка в обозначении угла между стенками заполнителя трехслойной пластины, и т. д.
8. Не все обозначения, используемые диссертантом, расшифрованы в тексте работы и приведены в списке обозначений на стр. 101.
9. Заключение по диссертационной работе написано чрезвычайно скупо и сводится к перечислению основных полученных результатов, но не содержит их анализа, в первую очередь новизны и преимуществ перед иными известными методами решения задач исследуемого класса.

Публикации, отражающие основное содержание работы. По теме диссертации автором опубликовано 15 печатных работ, в том числе 2 научных статей в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, и 4 в изданиях, входящих в международные реферативную базу данных и систему цитирования SCOPUS. Основные результаты докладывались на научных конференциях высокого уровня. Следовательно, результаты диссертации, выносимые автором на защиту, в достаточной мере опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах, внесенных в Перечень журналов и изданий, утвержденных Высшей аттестационной комиссией. Автореферат полностью отражает основные положения диссертации.

Полученные автором результаты соответствуют уровню кандидатской диссертации по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Отмеченные замечания не приводят к значительному снижению общей положительной оценки работы. Общие выводы диссертации в целом соответствуют содержанию проделанной работы. Автореферат в полном объеме отражает содержание диссертации.

Представленная к защите диссертационная работа соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а её автор, Нгуен Зыонг Фунг, заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Настоящий отзыв рассмотрен и одобрен на заседании научно-методического семинара отдела «Механика адаптивных и композиционных материалов и систем» ИПРИМ РАН 16 мая 2022 года.

Ведущий научный сотрудник
ФГБУН ИПРИМ РАН, к.ф.-м.н.

Жаворонок С. И.

Подпись Жаворонка С. И. заверяю.

Ученый секретарь ИПРИМ РАН

Карнет Ю. Н.

Контактные данные организации:

ФГБУН Институт прикладной механики Российской академии наук

Адрес: 125040, г. Москва, Ленинградский проспект, д.7, стр.1

Телефон: +7 495 946-18-06.

Факс: +7 495 946-18-03.

Адрес электронной почты: iam@iam.ras.ru

Официальный сайт: <https://iam.ras.ru>

С отзывом ознакомлен

03.06.2022

Нгуен Зыонг Фунг.