

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИПРИМ РАН

д.т.н., профессор

М.И. Власов

А. Н. Власов

« 4 »

2015 г.



ОТЗЫВ

ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу

ОКОНЕЧНИКОВА Анатолия Сергеевича

**«Нестационарное движение сосредоточенной нагрузки
по границе упругой полуплоскости»,**

представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твёрдого тела»

Общие сведения о диссертационной работе.

На рассмотрение ведущей организации представлена диссертационная работа Оконецникова Анатолия Сергеевича объемом 96 страниц, включающая 16 рисунков и 4 таблицы, структурно подразделенная на введение, три главы, заключение, библиографический список из 89 наименований, а также автореферат вышеозначенной диссертации.

Изучение диссертационной работы, автореферата и публикаций соискателя позволило сформулировать представленные ниже заключения.

1. Актуальность темы диссертационной работы

Проблема качественного исследования напряженно-деформированного состояния упругих тел при действии на них нестационарных полей внешних сил не имеет исчерпывающего решения, также как нет и метода ее решения, охватывающего все теоретически и практически важные частные случаи. Численное решение задачи в линейной постановке на базе современных комплексов прикладных программ представляется вполне возможным, однако предоставляет расчетчику только количественную информацию, не обеспечивая качественного анализа динамического процесса. Кроме того, построение численного решения при наличии распространяющихся в

упругом теле фронтов волн напряжения представляет собой нетривиальную задачу с учетом возникающих трудностей при подавлении нефизических осцилляций решения в окрестности фронтов, обеспечении устойчивости вычислительного процесса и соответствия исходной задаче ее дискретному аналогу при введении искусственной (т. н. «схемной») вязкости и т. д. Универсальные аналитические методы решения нестационарных задач хотя бы для областей канонической геометрии являются необходимым инструментом качественного анализа в нестационарной динамике упругих тел. В то же время количество современных работ по аналитическим методам решения нестационарных задач теории упругости относительно невелико; следовательно, их разработка и совершенствование, безусловно, актуальны.

2. Оценка содержания диссертационной работы, ее завершенность.

Основными целями диссертационной работы являлись:

- построение решения нестационарной задачи о динамическом деформировании упругой полуплоскости под действием нормальной сосредоточенной силы, равномерно движущейся вдоль границы полуплоскости;
- построение метода решения нестационарной задачи о динамическом деформировании упругой полуплоскости под действием нормальной сосредоточенной силы, движущейся вдоль границы полуплоскости по произвольному закону;
- анализ пространственно-временной зависимости нормального перемещения границы упругой полуплоскости при нестационарном воздействии движущейся вдоль границы нормальной силы.

Для достижения сформулированных целей диссертационной работы соискателем были поставлены и решены следующие **задачи**:

- построить на базе метода переходных функций аналитическое решение нестационарной задачи о действии на границу полуплоскости равномерно движущейся нормальной силы, используя в качестве ядра решение Лэмба;
- выделить и исследовать особенности в окрестности фронтов волн и окрестности подвижной точки приложения на контуре нормальной силы;
- на основе асимптотического анализа интегралов, входящих в решение нестационарной задачи, исследовать случаи движения точки приложения нормальной силы с критическими значениями скорости;
- на базе полученных результатов построить метод решения задач о движении по контуру нагрузки с произвольно изменяющейся скоростью.

Постановка и решение описанных задач, анализ результатов сведены в работу следующей **структуры и содержания**.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели работы и задачи, решаемые для достижения перечисленных целей, обоснован выбор метода решения поставленных задач, указана научная новизна результатов работы, их теоретическая и практическая значимость, представлены сведения об апробации работы, публикациях соискателя, структуре и объеме диссертации, а также перечислены результаты, выносимые на защиту.

В **первой главе** приведен аналитический обзор литературы, относящийся к теме диссертации. Описана общая постановка задачи динамики упругой среды при действии граничного возмущения. Приведены уравнения плоского движения однородной изотропной среды в безразмерных величинах относительно скалярного и векторного потенциалов упругих смещений. Предполагается, что на границу полуплоскости действует нормальная сосредоточенная сила, перемещающаяся вдоль границы по произвольному закону. Приведена формулировка начально-краевой задачи при краевых условиях первого, второго и третьего рода. Описан основанный на принципе суперпозиции метод аналитического решения линейной задачи динамики упругой среды. Нормальные перемещения границы полуплоскости определяются двойной сверткой нормальных напряжений по временной и пространственной переменным с функцией влияния, в качестве которой применяется известное решение задачи Лэмба. С использованием свойств обобщенных функций начально-краевая задача приведена к одномерному интегральному представлению решения.

Во **второй главе** исследуется движение сосредоточенной нормальной силы по границе полуплоскости с постоянной скоростью. С помощью графоаналитического метода определяются пределы интегрирования, входящие в полученное выше интегральное представление решения. Выявлена существенная зависимость решения задачи от скорости движения нагрузки. С использованием замены переменной и разложения ядра интегрального представления на элементарные дроби задача сведена к сумме однотипных интегральных представлений, подлежащих анализу. Исследуемые интегралы, в зависимости от значений параметров процесса, могут быть сингулярными. Доказан ряд утверждений, описывающих свойства полученных интегральных представлений, и на их основе проведен анализ построенных решений на наличие особенностей. Изучено поведение решения при произвольных значениях скорости движения нагрузки. Показано существенное различие полученных решений при движении со

дозвуковой, трансзвуковой и сверхзвуковой скоростями. Выделены и исследованы особенности на фронте движения нагрузки и фронтах волн Рэлея. Изучен характер особенностей при движении нагрузки с критическими скоростями. Приведены зависимости безразмерного нормального перемещения точек границы от продольной координаты для различных моментов безразмерного времени.

В третьей главе рассмотрен случай движения сосредоточенной нормальной силы вдоль границы полуплоскости по произвольному закону. Закон движения силы интерполируется линейными функциями, чем обеспечивается приведение решения исходной задачи к сумме решений задач о движении нагрузки с постоянной скоростью. На базе исследованной выше структуры полученного интегрального представления решения начально-краевой задачи формулируется утверждение о справедливости всех свойств особенностей решений, выявленных для случая движения нагрузки с постоянной скоростью, в равной мере и для случая движения нагрузки по произвольному закону. Представлен пример решения задачи для произвольно движущейся нормальной нагрузки.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

3. Степень достоверности результатов и выводов.

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечена грамотным применением математического аппарата, достаточным уровнем математической строгости, корректностью постановок задач, обоснованным использованием апробированного метода переходных функций, а также обстоятельным анализом каждой из рассматриваемых соискателем задач.

4. Научная новизна основных результатов диссертации.

К настоящему моменту теоретическому исследованию воздействия подвижных нагрузок на упругую полуплоскость посвящено значительное количество публикаций, однако при этом имеется весьма ограниченный круг работ, в которых ставятся и решаются нестационарные задачи. Как правило, построить явное аналитическое решение весьма трудно, что подтверждается результатами обзора, приведенного соискателем в первой главе.

Работа посвящена исследованию нестационарного процесса деформирования упругой полуплоскости при воздействии подвижной сосредоточенной нормальной силы на ее границу. В работе построено и полностью изучено решение для случая движения нагрузки с постоянной скоростью, учтено влияние параметров процесса, принимающих все

возможные значения, исследованы критические режимы движения нагрузки: со скоростью волн дилатации, сдвига и Рэлея. Полученные ранее результаты относятся только к частным случаям данной задачи. Кроме того, соискателем представлен численно-аналитический метод решения для произвольного закона движения нормальной нагрузки вдоль границы полуплоскости. Данные результаты, полученные лично автором работы, являются новыми.

5. Научная и практическая значимость результатов диссертации.

Ценность результатов, полученных в рассмотренной диссертационной работе, с фундаментальной точки зрения заключается в следующем:

- предложен алгоритм решения задачи о воздействии на границу упругой полуплоскости сосредоточенной силы, основанный на использовании аппарата переходных функций и допускающий распространение на достаточно широкий класс задач о более сложных краевых воздействиях;
- построенное решение задачи о нестационарном процессе деформирования упругой полуплоскости при действии граничной нагрузки соискателем теоретически изучено в полной мере, включая критические режимы движения нагрузки.

Практическая ценность результатов работы заключается:

- в качественном анализе переходного процесса при действии на границу полуограниченной области некоторой системы сил и выделении характерных областей полупространства в окрестности фронта волны;
- в возможности построения системы точных эталонных решений, применимых при исследовании сходимости решений численных.

6. Рекомендации по использованию результатов диссертации.

Результаты работы следует использовать для качественного анализа действия нагрузок на границу упругого тела в двумерной постановке задачи, предваряя таким образом количественное решение путем прямого численного интегрирования уравнений движения упругой среды.

7. Оценка стиля диссертации и автореферата.

Диссертация изложена грамотно. Стиль изложения теоретического материала, использование математического аппарата и терминологии соответствуют требованиям к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности «Механика деформированного твердого тела».

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Изложенные в диссертации результаты опубликованы в четырнадцати печатных работах, в том числе в двух статьях в журналах, входящих в перечень ВАК РФ.

8. Общие замечания по содержанию и оформлению диссертации.

По диссертационной работе имеются следующие замечания.

1. В обзорной главе диссертации соискатель упоминает ряд работ, содержащих решения некоторых частных случаев рассматриваемой им задачи различными методами, например, работу Ю.Д. Каплунова, в библиографическом списке значащую под номером 55. В то же время сравнения полученных соискателем результатов с результатами, ранее полученных другими авторами, не приводятся. Такой сравнительный анализ был бы вполне целесообразен как для обоснования достоверности полученных соискателем результатов, так и для обоснования эффективности предложенного метода решения нестационарной задачи динамики упругой полуплоскости.
2. Существует значительное количество решений стационарных задач о движении нормальной и касательной сил вдоль границы упругой полуплоскости. Представляется целесообразным также сравнение результатов, полученных на основе предложенного соискателем метода, с полученными ранее результатами на базе перехода к постановке автомодельной задачи для упругой полуплоскости при действии стационарной подвижной нагрузки.
3. Замечено значительное количество опечаток, как в тексте работы, так и в некоторых формулах. Так, например, в формуле (3.10), судя по структуре выражения для коэффициентов разложения, аналогичной (2.8), в знаменателе пропущен множитель $\pi\eta^4$.
4. В диссертационной работе получены решения только для случая действия нормальной нагрузки и для нормального компонента перемещения точки контура. Дополнение данных результатов решениями для подвижной касательной силы и касательного к контуру компонента вектора перемещения могло бы существенно усилить диссертационную работу.

Перечисленные замечания не свидетельствуют о снижении качества диссертации и не препятствуют ее положительной оценке.

С учетом перечисленного выше следует заключить, что *диссертационная работа представляет собой завершенное исследование, выполненное на высоком научном и методическом уровне.*

**Заключение о соответствии диссертационной работы критериям,
установленным Положением о присуждении ученых степеней.**

Представленная к защите диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой получено аналитическое решение важной, актуальной как теоретически, так и в прикладном отношении задачи.

Структура диссертации, язык изложения материала и терминология соответствуют современному уровню и существующим требованиям к научно-квалификационным работам.

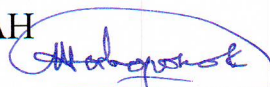
Результаты диссертационной работы получены соискателем самостоятельно, являются новыми, обладают как теоретической, так и практической значимостью, опубликованы в достаточном количестве в периодических изданиях, включенных в Перечень ВАК РФ, обсуждены на международных и российских научных конференциях, симпозиумах и семинарах с участием ведущих специалистов в области исследования.

Область исследования и основные результаты диссертационной работы полностью соответствуют паспорту специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

В целом, работу следует оценить положительно.

Диссертация отвечает требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Оконечников Анатолий Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твёрдого тела».

Старший научный сотрудник
отдела механики адаптивных
и композиционных материалов и систем
ФГБУН «Институт прикладной механики
Российской академии наук» - ИПРИМ РАН
кандидат физико-математических наук



ЖАВОРОНОК
Сергей Игоревич

125040, Россия, Москва, Ленинградский проспект, д. 7
Телефон: +7 (495) 946-18-06
E-mail: iam@iam.ras.ru