

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

Кабановой Любови Александровны

на тему:

**«Метод структурных функций в решении квазистатических задач об
изгибе неоднородных упругих пластин»**

по специальности 1.1.8. – механика деформируемого твердого тела

Развитие универсальных с точки зрения произвольной неоднородности тела, математически строгих методов приближенного решения задачи теории упругости – важная задача механики деформируемого твердого тела. Диссертационная работа Л. А. Кабановой посвящена исследованию одного из подобных методов – метода структурных функций, являющегося в известной степени родственным асимптотическому методу (методу малого геометрического параметра). Последний хорошо зарекомендовал себя для решения практических задач; метод структурных функций же значительно менее исследован и развит, что делает несомненно актуальной диссертационное исследование – оно посвящено изучению метода структурных функций, выделению его параметров, построению приближенных решений тестовой задачи и изучению влияния параметров на построенные приближенные решения.

В качестве тестовой в работе выбрана задача о нагружении линейно-упругой слоистой пластины. Так как пластины – один из основных структурных элементов инженерных конструкций, разработаны разнообразные подходы к решению таких задач, что делает последние удобными для изучения новых и существующих методов решения задачи теории упругости. В диссертации приведен обзор способов приближенного решения задачи теории пластин – от классического подхода, использующего

гипотезу Кирхгофа-Лява, до более современных вариантов, учитывающих характер неоднородности материала, в целом дающий представление о методах решения подобных задач. Также приведен обзор исследований метода структурных функций, подчеркивающий актуальность вопросов, исследуемых в данной диссертации.

В первой главе описаны классические теории пластин, основанные на гипотезах Кирхгофа-Лява и типа Тимошенко, описаны качественные свойства решений, которые позволяют построить эти теории в задаче о нагружении линейно-упругой слоистой пластины.

Во второй главе приведены общие соотношения метода структурных функций. Данный метод предполагает построение решения задачи теории упругости путем решения вспомогательной (сопутствующей) задачи о нагружении однородного тела той же геометрии, и нахождения структурных функций. Общие построения метода для смешанной краевой задачи не накладывают каких-либо ограничений на выбор упругих свойств сопутствующего тела.

Рассматривается вопрос применения метода структурных функций к решению задачи теории упругости для неоднородного тела в трехмерной постановке. Отмечено, что, поскольку нахождение точного решения сопутствующей задачи в этом случае затруднительно, можно выделить три параметра метода структурных функций: упругие свойства сопутствующего тела, порядок метода структурных функций, порядок точности решения сопутствующей задачи.

Далее в главе 2 приводится детальная процедура построения решения трехмерной постановки задачи о нагружении линейно-упругой слоистой пластины методом структурных функций. Выведены явные формулы для структурных функций первого и второго порядка. Записаны выражения для приближений по методу структурных функций компонент напряженно-деформированного состояния пластины, задействующие решения сопутствующей задачи разной точности. Получены ограничения на выбор

упругих свойств сопутствующего тела – такие ограничения следуют из соображений выполнения граничных условий на лицевых плоскостях пластины. Исследуется вопрос влияния точности решения сопутствующей задачи на качество конечного приближения. Показано, что при использовании решения сопутствующей задачи по модели С. П. Тимошенко (или более точной) приближения перемещений, построенные методом структурных функций, представляют собой криволинейные ломаные поперечной координаты. Показано, что при использовании решения сопутствующей задачи в трехмерной постановке уже метод структурных функций позволяет напрямую, по закону Гука вычислить поперечные напряжения в пластине. Данные исследования для метода структурных функций проведены впервые, что позволяет говорить о научной новизне работы.

В третьей главе автор выполняет сопоставления полученных в главе 2 приближений по методу структурных функций с известными решениями той же задачи. Для этого выбрано аналитическое решение задачи в трехмерной постановке, конечноэлементные решения с двумя типами элементов и приближенное решение в рамках гипотезы С. П. Тимошенко. Эти сопоставления подтверждают аналитические выводы автора. Важно отметить, что поперечные напряжения в пластине поддаются достаточно точному вычислению.

В заключении подведены итоги диссертационного исследования. Работа имеет законченную форму, автореферат соответствует содержанию диссертации.

Результаты работы прошли достаточную апробацию. Основные результаты доложены в 4 публикациях в журналах из списка Scopus.

Тем не менее, к работе есть замечания.

- 1) Общая формула (2.7) для структурных функций приведена без вывода, со ссылкой на первоисточники, которые увидеть затруднительно. По мнению оппонента было бы полезно привести вывод этой важной формулы, тем более что основные этапы вывода классических теорий пластин Кирхгофа-Лява и Тимошенко в диссертации приведены, в главе 1.
- 2) Развиваемый в диссертации метод структурных функций (МСФ), в том виде, как он изложен в диссертации, имеет как достоинства, так и определенные недостатки.

Судя по изложению в диссертации:

- МСФ почти ничего не говорит о том, как должна выглядеть сопутствующая задача (это аналог осредненной задачи в методах асимптотического осреднения (МАО), в этих методах осредненная задача естественным способом выводится в самом методе), судя по всему, МСФ позволяет лишь найти ограничения на часть эффективных модулей упругости сопутствующей задачи,
- повышение порядка приближения в МСФ (от первого ко второму и т.д.) почти никак математически не обосновывается (в МАО – это удерживание степеней более высокого порядка от малого параметра), и рекомендуется лишь путем решения тестовых задач;
- прием, который используется в МСФ, - приравнивание нулю коэффициентов при одних и тех же производных от функций - решения сопутствующей задачи, образует лишь достаточные условия получения решения задачи, о чем указано в диссертации; математическое обоснование этого приема уступает аналогичному этапу методов МАО, в которых приравниваются нулю коэффициенты при различных степенях от малого параметра.

К достоинствам метода МСФ следует отнести принципиально важный результат – его применимость не только для тонкостенных тел, это условие является обязательным условием для МАО (для асимптотических теорий тонких тел).

3) При упоминании метода вычисления сдвиговых и поперечных напряжений в пластинах путем «постобработки» указана ссылка на работы 2000-х годов, а книга академика РАН В.В. Васильева «Механика конструкций из композиционных материалов» (1988 г) не указана в этой связи, в ней этот метод реализован для общего случая оболочек.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования: полученные в нем приближенные аналитические решения являются новым теоретическим результатом, а сама методика получения решений имеет перспективу дальнейшего развития для решения задач механики неоднородных конструкций, в том числе для тех, которые не обладают условиями тонкостенности.

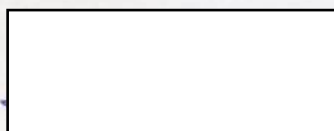
Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.1.8. – механика деформируемого твердого тела (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Кабанова Любовь Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. – механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой «Вычислительная математика и математическая физика» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н. Э. Баумана)

доктор физико-математических
наук, профессор



/ Ю.И. Димитриенко /

Дата подписания

20.05.2025

Контактные данные:

тел.: +7 (499) 263-64-45, e-mail: dimit@bmstu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена докторская диссертация:

01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Адрес места работы:

105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, с. 1, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Подпись сотрудника МГТУ им. Н.Э. Баумана

Димитриенко Ю.И. удостоверяю:

