

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

Преамбула. Задачи изгиба балок, пластин и других элементов конструкций исследуются многие десятилетия и кажутся детально изученными, но простота испытаний на изгиб – это кажущаяся простота. Испытания на изгиб наиболее просты в реализации, но наиболее сложны в интерпретации результатов, особенно, если речь идёт о материалах со сложной структурой. Полимерные волокнистые композиты типа стекло-, угле-, органопластиков, необходимость и эффективность которых в конструкциях летательных аппаратов и аэрокосмических систем не вызывает нынче никаких сомнений, обладают специфическими свойствами: конструктивной анизотропией, существенной неоднородностью, разномодульностью при растяжении и сжатии, что делает недостаточно эффективными традиционные подходы и требует новых подходов в механике композитов.

В связи с этим проверка применимости к задачам изгиба неоднородных пластин универсального метода структурных функций оказывается важным направлением механики композитов, что делает вполне **актуальной** тему диссертации Л.А. Кabanовой.

Цели диссертации непосредственно вытекают из потребностей решать, как фундаментальные проблемы сложного деформирования, так и расчетные задачи практики.

В общем случае сам Метод структурных функций (МСФ) разработан для приближенного решения задач теории упругости о нагружении неоднородного тела с помощью решения двух типов вспомогательных задач: 1) о таком же нагружении однородного геометрически идентичного тела и 2) о построении набора функций, определяемых структурой материала. В общей постановке МСФ не ограничен типом структурной неоднородности материала и характером приложенных нагрузок, однако реальное применение МСФ, например, к упругим задачам изгиба сопряжено с пока ещё мало изученными сложностями, преодолению которых и посвящена настоящая диссертационная работа.

Диссертация Л.А. Кабановой состоит из Введения, обзора литературы, трех основных глав, Заключение, Приложения и Списка использованной литературы, содержащего 156 источников. Общий объём диссертации - 132 страницы.

Во **Введении** обоснована необходимость уточненной оценки влияния неоднородности при решении задач изгиба. Приведён краткий обзор последних исследований метода структурных функций (МСФ), обоснована актуальность задач данной диссертационной работы. Так как МСФ применяется для решения квазистатической задачи изгиба неоднородной пластины, приведен краткий обзор литературы в области теории пластин, в который включены подходы, не предполагающие конкретного характера структурной неоднородности.

В **первой обзорной главе** изложены основные приближенные модели, используемые для описания НДС в пластинах с произвольной анизотропией, оценено соответствие приближенных решений, основанных на гипотезах Кирхгофа-Лява или С.П. Тимошенко, сформулированным критериям качества моделей слоистых пластин.

Вторая глава посвящена описанию метода структурных функций, пояснены предпосылки его создания и основные соотношения. Рассмотрена

возможность его применения к решению трехмерных смешанных краевых задач теории упругости, выделены параметры: порядок метода, порядок точности решения сопутствующей задачи, упругие свойства сопутствующего тела. Показано, как повышение порядка метода решения сопутствующей задачи связано с повышением точности решения этой задачи.

Далее методом структурных функций построены приближенные решения для свободно опертой по контуру прямоугольной пластины, составленной из линейно-упругих, ортотропных слоев. Из требований выполнения граничных условий выведены ограничения на выбор упругих свойств сопутствующего тела. Выведены аналитические выражения для структурных функций первого и второго порядка, и для компонент НДС пластины. Интересно отметить, что, несмотря на общую формулировку решений в бесконечных рядах, уже первый порядок МСФ позволяет описать изменение перемещений по толщине пластины в виде ломаных линий, если использовать модель С.П. Тимошенко (или более высокого порядка) при решении сопутствующей задачи. Кроме того, уже первый порядок МСФ позволяет приближенно вычислить не только мембранные, но и поперечные напряжения в пластине, что показано с помощью приближенного решения сопутствующей задачи в трехмерной постановке.

В третьей главе приведены и подробно проанализированы результаты численных сопоставлений приближенных решений, построенных методом СФ, с известными МКЭ и аналитическими решениями тех же расчетных задач в трехмерной постановке и по модели типа Тимошенко. Сравнены решения для пластин из ортотропных слоев с высоким уровнем анизотропии. Для пластин с асимметричной и симметричной структурой армирования сопоставлены достаточно точные приближения, построенные методом СФ, МКЭ и аналитически. Показано, что результат применения МСФ с полученными в диссертации упругими свойствами сопутствующего тела удовлетворительно согласуется с известными решениями, а повышение

порядка метода позволяет улучшить это согласие. Впервые проведено сравнение решений по разным уровням приближений метода СФ, и показано, что повышение точности решения сопутствующей задачи позволяет принципиально повысить качество приближенного решения. Далее показано, что приближенные решения по методу СФ стремятся к точному решению при уменьшении толщины пластины или степени её неоднородности.

В Заключении изложены основные результаты проделанной аналитической и вычислительной работы и сформулированы выводы, связанные с возможностью и эффективностью применения метода структурных функций в задачах изгиба.

Основным научным результатом диссертации Л.А. Кабановой следует считать разработку и апробацию комплексной методики применения МСФ к задачам изгиба неоднородных упругих пластин с произвольной структурой. В такой постановке работа имеет явные признаки **научной новизны и практической значимости**.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна подтверждаются качественным согласием с имеющимися в литературе результатами, корректностью использования математических методов и компьютерных программ, публикациями в авторитетных рецензируемых отечественных и международных изданиях.

Апробация работы и полнота опубликованных результатов. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на всероссийских и международных научных конференциях, в частности - с подробным обсуждением на Московском ежемесячном семинаре молодых ученых и студентов (МЕСМУС-193) по проблемам машиноведения имени Ю.Н. Работнова (в ИМАШ РАН) – 19 марта 2025 г., и на Научно-техническом совете отдела «Прочность, безопасность и живучесть машин» Института

машинovedения им. А.А. Благонравова Российской академии наук. (ИМАШ РАН) - 17 апреля 2025 г.

Результаты диссертации изложены в достаточно большом числе статей, содержание которых, как и содержание автореферата отражает основные положения диссертации.

Наряду с констатацией несомненной новизны и научной значимости диссертации следует указать на отдельные недостатки и высказать определенные замечания и предложения.

1. Основное внимание уделено не решению сложных задач изгиба неоднородных пластин, а лишь проверке эффективности метода структурных функций путём сопоставления с известными решениями для линейно упругих пластин.
2. Решения задачи сформулировано в бесконечных рядах, в которых используется лишь первый (нулевой) или второй член. Возможно, следует пояснить, при каком уровне неоднородности нет смысла искать неохватный набор структурных функций, а достаточно обойтись первым приближением.
3. Следует усилить и прояснить ответ на основной вопрос: что нужно знать о структуре материала, чтобы применять МСФ, и какие дополнительные эксперименты для этого необходимы?
4. Незначительные редакционные замечания по автореферату и тексту диссертации – есть, но их можно не выносить в официальный отзыв именно в связи с их незначительностью.

Отметим, что, указанные замечания и предложения не умаляют значимости диссертационного исследования и общей положительной оценки.

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 за разработку метода структурных функций в задачах изгиба заслуживает ей присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. – механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник лаборатории безопасности
и прочности композитных конструкций
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук

ПОЛИЛОВ Александр Николаевич

19 мая 2025

Контактные данные: тел.: +7 499 135 34 30, e-mail: polilovan@mail.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

01.02.06 – Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры

Адрес места работы: 101000, Москва, Малый Харитоньевский пер., д. 4, ФГБУН

Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук. (ИМАШ

РАН). Отдел «Прочность, безопасность и живучесть машин». Лаборатория безопасности и

прочности композитных конструкций, тел. дирекции: 8-495-628-87-30,

e-mail: info@imash.ru, uchsekr@yandex.ru .

Подпись главного научного сотрудника ИМАШ РАН А.Н. Полилова удостоверяю:

19.05.2025