

ОТЗЫВ

официального оппонента

Демьянушко Ирины Вадимовны

на диссертацию

Бобровой Валерии Игоревны

**на тему «Численный метод расчета пологих оболочек на динамические
воздействия»,**

по специальности: 05. 23. 17 .– «Строительная механика»

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Актуальность избранной темы.

Пологие оболочки являются важными элементами многих строительных сооружений, элементами зданий, мостовых конструкций. Пологие тонкостенные оболочки также применяются в машиностроительных конструкциях – в автомобилестроении, авиации, кораблестроении и т.д. В связи с этим теория расчета тонкостенных пологих оболочек, входящая в общую теорию тонких оболочек, развивалась достаточно давно, начиная с работ Кирхгофа, Арона, Лява и далее многочисленных зарубежных и отечественных авторов. Большинство работ по теории пологих оболочек основано на применении гипотезы Кирхгофа – Лява (жесткой нормали), что было оправдано при использовании однородных материалов. Однако с применением конструктивно-ортотропных конструкций, появлением композитных материалов, к которым можно отнести и железобетонные конструкции, применение этой гипотезы уже нуждалось в модификации. Аналитические методы практически не позволяют решить уравнения теории пологих оболочек за исключением простейших задач. Появление и развитие численных методов решения уравнений математической физики, приспособленных для использования ЭВМ, позволило сделать существенный скачок в решении задач расчета пологих оболочек. Многочисленные монографии, статьи и диссертации посвящены применению различных численных методов решения задач статики

пологих оболочек, из которых основными являются метод конечных элементов (МКЭ) и метод конечных разностей (МКР). Работ, посвященных расчету пологих оболочек при динамических нагрузках, значительно меньше, в то время как, практически все перечисленные конструкции работают именно в условиях динамического нагружения, и разрушения их по большей части вызваны усталостными явлениями.

В связи с этим тема диссертации В.И. Бобровой, посвященной разработке метода расчета пологих оболочек на динамические нагрузки, представляется актуальной, особенно учитывая, что диссертант задалась целью разработать алгоритм и компьютерную программу этого расчета, которая может быть использована при проектировании оболочек и для валидации расчетных моделей, создаваемых с использованием универсальных инженерных расчетных комплексов.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Рассмотрение этих вопросов удобнее вести по главам диссертации.

Так в первом параграфе 1-ой главы автор приводит обзор аналитических методов расчета оболочек. При этом перечисляются методы Навье, Леви и Бубнова-Галеркина. Первые два относятся действительно к точным, связанным с непосредственным интегрированием дифференциальных уравнений изгиба прямоугольной в плане пластинки, и применяются к расчету пластин с учетом мембранных напряжений вместе с уравнением Максвелла – Эри. В то же время метод Бубнова – Галеркина принято называть вариационным, и здесь автор не дает достаточно подробного анализа. Здесь также не упомянут метод Ритца, который широко используется в расчетах оболочек.

Второй параграф посвящен обзору численных методов, в том числе, обзору работ по МКЭ. Рассмотрены основные этапы расчета МКЭ с применением различных элементов (плоских и криволинейных), и дается обоснованный анализ, показывающий предпочтительность криволинейных элементов и необходимость обеспечения сходимости, что осложняется при выборе различных элементов при сложных конструктивных схемах. Подробный анализ позволяет автору обосновать альтернативное использование МКР в расчетах оболочек. Аналогично

проанализирован метод последовательных аппроксимаций (МПА), рассмотрены работы в этом направлении, показано, что применение сплайнов для учета конечных разрывов аппроксимируемой функции и ее производных может быть использовано в диссертации. В самом деле, этот подход не требует введения законтурных точек, что является большим плюсом и применено диссертантом.

На основании обзора, содержащегося в первой главе, автор после краткого рассмотрения МКР, обосновывает перспективность так называемого обобщенного метода конечных разностей, предложенного Р.Ф. Габбасовым. Отметим, что здесь не достаточно подробно и четко рассмотрены отличия и элементы новизны в формулировках предложенных решений статических задач по сравнению с работами Р.Ф. Габбасова.

Применение МКР рассмотрено во второй главе. Здесь приводятся уравнения пологих оболочек в безразмерной форме с учетом производных, что дает возможность обойтись без введения законтурных точек. Краевые условия также приводятся к безразмерному виду. Формулировки этой главы практически представляют собой алгоритм расчета, который затем использован автором при составлении компьютерной программы. Использование безразмерной формы в формулировках алгоритма создает по нашему мнению перспективы дальнейшего использования алгоритма, например, для целей оптимизации.

Центральная часть работы (3-я глава), которая соответствует поставленной задаче расчета полой оболочки на динамические нагрузки, вызывает наибольшее количество замечаний.

Все они кратко сводятся к одному – автор не определил, какого типа динамику она рассматривает. Более четко надо было сформулировать, что рассматриваются задачи собственных колебаний полой оболочки без затухания (в общих уравнениях параметр затухания введен, но далее нигде не используется) и вынужденных колебаний, опять же – без затухания, при определенных типах силовых воздействий - гармонических. Это с нашей точки зрения объясняется упрощением задачи до двухмерной – параметры колебательного процесса рассматриваются последовательно для каждой временной точки, и фактически решаются квазистатические задачи. Конечно, для тестовых и учебных целей такой

подход к решению задач даже предпочтителен, так как позволяет получить некоторые представления при ограниченных вычислительных средствах, однако для решения реальных практических задач впоследствии необходима существенная доработка этого метода. Приведенные в главе примеры расчета (по утверждению автора часть из них представляет собой новые решения, из текста не ясно, какие) дают представление о возможностях метода, позволяют подтвердить простоту подхода и возможность использования программного продукта для исследований и учебных целей. К сожалению, в диссертации и автореферате не содержатся сведения об использовании Программы в Вузе.

Достоверность и новизна, полученных результатов.

Рассмотрение работы позволяет считать, что проверка решений с помощью сравнения с известными аналитическими расчетами и использование апробированного подхода МКР к разработке алгоритма, составление программы, с рациональным использованием языка программирования Visual Basic с использованием Microsoft Excel, подтверждают достоверность результатов работы. Новизна диссертации заключается в предложенном алгоритме расчета колебаний тонкой полой оболочки методом конечных разностей при учете двоякой кривизны с различными граничными условиями и с приложением гармонических нагрузок с составлением компьютерной программы, позволяющей реализовать предложенный подход.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов.

Теоретическая значимость работы заключается в расширении традиционного применения метода конечных разностей на решение задач поведения тонких пологих оболочек, прямоугольных в плане, при приложении нагрузок разного типа и с широким кругом граничных условий, и в разработке алгоритма решения для ЭВМ, позволяющего в принципе далее использовать его для целей оптимизации.

Практическая значимость заключается в разработке и оформлении программы расчета по предложенному методу для ЭВМ (Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2018616521 от 01.06.2018) и в возможном применении этой программы при проектировании конструкций и в учебном процессе.

Оценка содержания диссертации, её завершенность.

Основное содержание диссертации дает полное представление о работе диссертанта, позволяет полностью составить мнение о достоинствах работы, ее новизне и практической значимости. Диссертация В.И. Бобровой является полностью завершенной работой, все поставленные автором задачи решены и завершаются конкретными результатами.

Достоинство и недостатки в содержании и оформлении диссертации, влияние отмеченных недостатков на качество исследования.

Основные недостатки в содержании представленной работы изложены выше, здесь мы перечислим кратко наиболее заметные:

- не достаточно подробно и четко рассмотрены отличия и элементы новизны в формулировках предложенных решений статических задач по сравнению с работами Р.Ф. Габбасова;
- автор не определила, какого типа динамику она рассматривает, вообще общие определения – «динамические воздействия», «динамические нагрузки», «произвольные динамические нагрузки», на каждом шаге встречающиеся в работе, не производят впечатления глубокого проникновения диссертанта в проблемы теории колебаний, поэтому и, походя, упоминаются «коэффициент поглощения энергии» и тут же «параметр затухания», которые далее не расшифровываются и не участвуют в решениях задач, отсутствуют также ссылки на известные монографии по теории колебаний;
- и в диссертации и в автореферате диссертант утверждает, что решены новые задачи, однако в тексте это нигде не отмечено, какие именно.

По оформлению работы практически замечаний нет, хотя список литературы мог бы быть сокращен за счет необязательного упоминания всех трудов научного руководителя. Диссертация и автореферат написаны хорошим русским языком, и оформление соответствует стандарту.

В целом, отмеченные по ходу рассмотрения работы недостатки и замечания несколько снижают качество исследований, но они не влияют на основные теоретические и практические результаты диссертационного исследования, состоящие в новой формулировке задачи расчета колебаний пологой оболочки по

МКР и решении практических задач расчета типовых случаев нагружения пологих оболочек с помощью разработанной компьютерной программы, которые представляются значимыми, особенно учитывая учебно-методическую направленность результатов.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации.

Автореферат диссертации В.И. Бобровой на тему «Численный метод расчета пологих оболочек на динамические воздействия» полностью отражает основное содержание диссертации.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Представленная диссертация В.И. Бобровой на тему «Численный метод расчета пологих оболочек на динамические воздействия» и автореферат полностью соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. М.: Стандартинформ. – 2012.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положение о присуждении ученых степеней» по пунктам 10, 11 и 14.

Диссертация В.И. Бобровой на тему «Численный метод расчета пологих оболочек на динамические воздействия» написана автором самостоятельно. Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора - В.И. Бобровой, в науку. Все предложенные аспекты разработок аргументированы и оценены по сравнению с другими известными аналитическими и численными решениями, основанными на МКЭ и МПА.

Основные научные результаты диссертации В.И. Бобровой опубликованы в 3-х рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК и компьютерная программа имеет Гос. регистрацию.

В диссертации В.И. Бобровой имеется достаточное количество ссылок на используемые и рассмотренные источники (всего 285), и указаны работы, выполненные лично или в соавторстве.

В целом:

диссертация В.И. Бобровой на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи разработки численного метода расчета пологих оболочек на динамические воздействия, имеющей существенное значение для соответствующей отрасли знаний, а именно строительной механики, что соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор В.И. Боброва, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17. - «Строительная механика».

Официальный оппонент,

Демьянушко Ирина Вадимовна,

Доктор техн. наук,

01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»

почтовый адрес: 107014. Москва, ул. Гастелло, д.12, в. 48.

телефон +7 903 729 92 17,

sopromat@madi.ru

ФБГОУ ВО Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), зав. каф. Строительной механики



И.В. Демьянушко

Подпись И.В. Демьянушко подтверждаю

Ученый секретарь

к.т.н. С.В. Зайцев

26.11.2018



ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Бобровой Валерии Игоревны
(фамилия, имя, отчество – при наличии (полностью))

на тему «Численный метод расчета пологих оболочек на динамические воздействия»
(название диссертации)

по специальности 05.23.17 – Строительная механика
(шифр и наименование специальности)

на соискание ученой степени кандидата технических наук
(отрасль науки)

Актуальность темы диссертационной работы

Задачи механики тонкостенных оболочек весьма сложны с вычислительной точки зрения в силу присутствия в уравнениях движения недифференциальных членов с большими коэффициентами, вследствие чего краевые и начально-краевые задачи являются сингулярно вырожденными, а их решения содержат как медленно изменяющиеся, так и быстро изменяющиеся слагаемые (состояния типа простого краевого эффекта в классической теории оболочек, а также состояния типа пограничных слоев в теориях, учитывающих трансверсальные деформации). При усложнении модели оболочки путем введения в рассмотрение дополнительных степеней свободы возникают ситуации усложняются. Использование в данной ситуации как стандартных методов дискретизации исходной континуальной модели методом конечных элементов при автоматической генерации сеток средствами программных комплексов нередко приводит к недопустимой погрешности в оценке напряженного состояния. Методы и алгоритмы разбиения, позволяющие априори учесть существование пограничного слоя в решении задачи механики оболочки автоматизированными средствами программных комплексов, находятся в состоянии предварительной разработки. С другой стороны, решение нестационарных задач динамики оболочек (в частности, описание реакции оболочки на ударное воздействие) вычислительными методами, обеспечивающими устойчивое решение трехмерных задач, сталкивается с развитием нефизических осцилляций. Применение специальных численных методов, зарекомендовавших себя при исследовании динамического разрушения твердых тел с фрагментацией, являющихся весьма ресурсоемкими, в динамических задачах строительной механики представляется нецелесообразным. Ситуация существенно усложняется при наличии особенностей

– трещин, включений и т. д. Следовательно, развитие методов численного решения задач динамики оболочек, в том числе в классе методов, развиваемых в данной диссертационной работе, является актуальным как с практической, так и, безусловно, с методической точки зрения.

Степень обоснованности научных положений выводов и рекомендаций

Степень обоснованности основных положений, выносимых на защиту, а также выводов и рекомендаций представляется вполне достаточной для диссертационной работы, так как автором используются корректные постановки задач, выбор методов решения которых основывается на анализе существующих результатов, полученных ранее, методов, с помощью которых известные результаты были получены, критической оценки преимуществ и недостатков данных методов.

Результаты диссертационного исследования апробированы, в частности, на международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова (2018 г.), кроме того, по результатам диссертации представлены к публикации, допущены рецензентами и опубликованы три печатные работы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Достоверность и новизна, полученных результатов

Достоверность полученных результатов основывается на:

- Корректных постановках начально-краевых задач механики пологих оболочек;
- Обдуманном, обоснованном и адекватном развитии апробированных методов дискретизации на базе обобщенного конечно-разностного подхода, а также численных методов решения дискретных аналогов краевых и начально-краевых задач;
- Аккуратным решением модельных задач, критическим анализом точности полученных решений.

Диссертационная работа содержит следующие основные новые результаты:

- Метод решения задач механики пологих оболочек при динамических внешних воздействиях на основе обобщенного метода конечных разностей,
- Алгоритм численного решения дискретных аналогов задач динамики тонкостенных пологих оболочек и реализующая его программа,

- Новые результаты решения задач механики пологих оболочек при динамических воздействиях, основанные на предложенном методе и полученные с помощью выносимого на защиту алгоритма.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Теоретическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в разработке нового метода дискретизации начально-краевых задач механики тонкостенных пологих оболочек на прямоугольном плане и алгоритма вычислительного моделирования, обладающего малой ресурсоемкостью при достаточной точности доставляемых им решений

Практическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в создании метода решения задач механики строительных конструкций, позволяющего при дальнейшем развитии создать прикладные пакеты программ, альтернативные существующим универсальным коммерческим программным комплексам.

Оценка содержания диссертации, её завершенность

Диссертация содержит введение, четыре главы, заключение, список литературы, приложения. Общий объем диссертации составляет 111 страниц, в текст включены 41 рисунок и 11 таблиц.

Диссертация представляется завершенной научно-квалификационной работой, содержащей основные структурные элементы, требуемые для обоснования новизны и значимости результатов исследования.

Во введении приводится обоснование актуальности выбранной темы исследования, формулируются основные цели работы, задачи исследования, решение которых обеспечивает достижение сформулированной цели, оцениваются научная новизна результатов работы и их практическая ценность.

В первой главе содержится достаточно подробный обзор численных методов решения задач механики тонкостенных конструкций, на основе которого автором обосновывается необходимость предпринятого развития темы и новизна полученных результатов исследования. Обзорная глава диссертации структурирована по различным классам методов численного решения задач.

Во второй главе диссертационной работы выполнена постановка задачи, приводятся уравнения равновесия пологих оболочек в размерной и безразмерной форме записи, а также основные краевые условия. Приводится также описание процедуры дискретизации обобщенным методом конечных разностей и полученные разностные аналоги краевых задач.

В третьей главе аналогичным образом описаны постановки начально-краевых задач динамики оболочек, получены безразмерные уравнения движения, построены разностные уравнения движения.

В четвертой главе диссертации изложен предложенный автором работы алгоритмы численного решения задач статики и динамики тонкостенных пологих оболочек, приведены решения модельных задач статики и динамики пологих оболочек на прямоугольном плане, а именно:

- Решение задачи статики полой оболочки на прямоугольном плане и вычисление табулированной переходной функции для полой оболочки
- Решение задачи динамики полой оболочки при приложении постоянной распределенной нагрузки, изменяющейся во времени по гармоническому закону;
- Решение задачи динамики полой оболочки при приложении локальной нагрузки, изменяющейся во времени по гармоническому закону;
- Решение задачи динамики полой оболочки при приложении кусочно-постоянной распределенной нагрузки, изменяющейся во времени по гармоническому закону.

В заключении приводятся основные выводы, следующие из полученных результатов.

Достоинство и недостатки в содержании и оформлении диссертации

По диссертации имеются следующие замечания:

1. Весьма подробный и обстоятельный обзор, предшествующий постановке задачи исследования, выглядит перегруженным материалом, непосредственно к теме работы не относящимся – а именно, изложением различных вариантов метода конечных элементов, описанием задания функций формы, техники нумерации узлов, и т. д. Представляется более правильным привести ряд ключевых работ, посвященных именно динамике тонкостенных конструкций, иллюстрирующих

основные недостатки МКЭ (некоторые сведения приведены на с. 16-17 диссертации), с обязательным анализом возникающих при использовании стандартных вариантов конечных элементов погрешностей, порождаемых неадекватным грубым разбиением, и вычислительных затруднений при решении «жестких» задач динамики с развивающимися нефизическими осцилляциями. В то же время автор сводит обзор теорий пологих оболочек вообще и результатов, полученных аналитически, в частности к простому перечислению авторов, тогда как применение известных аналитических решений в качестве эталонов при развитии численного метода обеспечивает дополнительное обоснование достоверности авторских результатов.

2. Структура работы «Численный метод расчета пологих оболочек на динамические воздействия» с выделением в отдельную главу постановки задачи статики пологой оболочки представляется не вполне обоснованным. Более целесообразным было бы ограничиться постановкой начально-краевой задачи динамики оболочки, тогда как статическая задача может быть кратко описана как частный случай. Предложенная автором структура диссертации и ее название несколько противоречивы, так как основная ценность заключается, несомненно, в разработке метода решения именно динамических задач, как наиболее сложных. Аналогичное замечание следует сделать и по главе 4, где следовало сделать акцент на динамических задачах.
3. Не вполне обоснован отказ от возможности локального сгущения сетки, по крайней мере, в постановочной части. В приведенных решениях в таком сгущении, возможно, острой необходимости нет, однако в общем случае быстро изменяющиеся решения типа пограничного слоя могут и не улавливаться на грубой сетке; о такой погрешности может свидетельствовать результат, приведенный на рис. 4.32, где наблюдается негладкость распределения моментов в окрестности края, тем более результат, приведенный на рис. 4.26 и 4.34 (негладкие распределения компонентов вектора перемещения). На практике в подобных случаях нередко упускается максимальное значение напряжения, поэтому локальное сгущение в зоне краевого эффекта является обоснованным.
4. Не вполне обоснованным представляется применение при решении линейных задач только метода Зейделя, тогда как некоторые другие итерационные методы,

в частности, метод сопряженных градиентов, метод верхней релаксации и т. д. могут оказаться эффективнее.

Указанные замечания, однако, не являются препятствием для положительной оценки диссертационной работы.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы, раскрывает цель и задачи исследования, новизну полученных результатов, содержит описание положений, выносимых автором на защиту.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. М.: Стандартинформ. – 2012;

Диссертация полностью критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» по пунктам 9, 10, 11 и 14, а именно:

- Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для строительной механики, а именно – построение новых методов численного решения задач нестационарной динамики тонкостенных пологих оболочек, основанных на обобщенном методе конечных разностей, построение и апробация вычислительных алгоритмов, реализующих предложенные в диссертации методы и подходы к вычислительному моделированию динамики строительных конструкций, допускающая их дальнейшее применение в инженерной практике, что соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней;
- В диссертации приведены новые, полученные автором лично научные результаты в соответствии с требованием п. 10 Положения о присуждении ученых степеней;
- Основные результаты диссертационной работы опубликованы в трех статьях в открытых периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования результатов диссертационных работ в соответствии с п. 11 Положения о присуждении ученых степеней;

- В диссертации присутствуют ссылки на авторов и источники заимствования материалов в соответствии с требованием п. 14 Положения о присуждении ученых степеней.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата наук:

Диссертация Бобровой Валерии Игоревны на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченным научно-квалификационным трудом, содержит новые результаты, имеющие практическую значимость, выполнена на высоком уровне и, следовательно, соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Боброва Валерия Игоревна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17 – Строительная механика.

Официальный оппонент
Жаворонок Сергей Игоревич,
Кандидат физико-математических наук,
01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела,
125040, Москва, Ленинградский проспект 7,
(499) 946-17-77, Zhavoronok@iam.ras.ru
ФГБУН Институт прикладной механики РАН
Старший научный сотрудник



(подпись)

... Жаворонок С. И.
(инициалы, фамилия)

Подпись Жаворонка С. И. заверяю

Директор ИПРИМ РАН
д. т. н.



(подпись)

... Власов А. Н.
(инициалы, фамилия)