

О Т З Ы В

официального оппонента Кима Алексея Юрьевича доктора технических наук, профессора кафедры «Теория сооружений и строительных конструкций» Института урбанистики, архитектуры и строительства ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», на диссертационную работу Ищанова Тлека Рахметоловича «Конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния тонких оболочек с учетом поперечного сдвига при различных вариантах аппроксимации угловых перемещений», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17. – Строительная механика

Актуальность темы. Метод конечных элементов (МКЭ) в силу универсальности, обширного диапазона применимости и высокой приспособленности к автоматизации в настоящее время приобрел статус одного из наиболее разработанных и мощных средств решения различных линейных и нелинейных задач статики, устойчивости и динамики инженерных конструкций.

Наиболее распространенной областью практического приложения МКЭ является расчет пластин и оболочек. Большинство таких конструкций можно отнести к классу тонких изотропных оболочек, что позволяет рассматривать деформирование только их срединной поверхности и проводить решение задачи в двумерной постановке с достаточно высокой точностью.

Те задачи, которые не могут быть решены в рамках теории тонких оболочек и требуют применения пространственных моделей, в данной диссертации не рассматриваются.

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.23.17 – Строительная механика, в частности, пункту 2 «Линейная и нелинейная механика конструкций и сооружений, разработка физико-математических моделей их расчета» и пункту 4 «Численные методы расчета сооружений и их элементов» области исследований.

В двадцатом веке наиболее широкое распространение получила классическая теория, основанная на гипотезе Кирхгофа-Лява. Она используется в многочисленных работах ученых по расчету пластин и оболочек. Эту теорию автор диссертации использует для оценки полученных основных результатов.

Однако при расчете оболочек эту гипотезу можно не использовать, если учитывать деформации поперечного сдвига. Сдвиговые теории С.П. Тимошенко и других ученых более корректны и хорошо соответствуют физическому смыслу решаемых задач. Сдвиговым теориям принадлежит будущее.

Актуальность темы диссертации не вызывает сомнения. В настоящее время, когда уже существуют достаточно универсальные программы расчета строительных конструкций методом конечных элементов, наступил период накопления знаний вплоть до разработки специализированных алгоритмов и

подпрограмм, позволяющих усовершенствовать МКЭ в различных направлениях. Такие задачи решаются автором диссертации, и они еще долго будут актуальны.

Цель диссертации - создание алгоритмов конечно-элементного анализа НДС тонких оболочек с учетом деформации поперечного сдвига при использовании скалярной и векторной аппроксимации угловых перемещений.

Для достижения поставленной цели автор разрабатывает алгоритм формирования матриц жесткостей четырехугольных конечных элементов для расчета тонких изотропных, геометрически и физически линейных оболочек с учетом деформации поперечного сдвига. Автором выполнен численный анализ НДС тонких оболочек с учетом деформаций поперечного сдвига при различных вариантах отсчета угла наклона нормали в процессе деформирования с использованием скалярной и векторной аппроксимации полей перемещений.

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается известностью математического вывода основных геометрических соотношений, рассмотрением оболочек, относящихся к классу тонких изотропных систем, использованием положений теории интерполяции искомых величин. При этом в работе выдержано соответствие результатов расчета физической картине исследуемых процессов и показано совпадение количественных результатов, полученных автором, с результатами исследований других исследователей, в том числе с результатами, полученными по аналитическим формулам.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертации подтверждена широкой апробацией работы на конференциях различного уровня. К диссертации прилагается акт внедрения результатов работы в ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт эколого-мелиоративных технологий».

У автора имеется 12 научных публикаций по теме диссертационной работы, 4 из которых опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 – в SCOPUS / Web of Science, 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Оценка содержания диссертации.

В первой главе диссертации *«Научно-аналитический обзор МКЭ в расчетах тонких оболочек при учете деформации поперечного сдвига»* автор диссертации показывает этапы развития метода конечных элементов в строительной механике и формулирует постановку задач, решаемых в диссертации.

Существует три формы МКЭ: метод перемещений, метод сил и смешанный метод. Метод конечных элементов в форме метода перемещений, основанный на принципе Лагранжа, принят автором к исследованию. В методе перемещений основными неизвестными выступают перемещения узлов конечных элементов. К достоинствам этого метода можно отнести простоту алгоритма реализации, приемлемую точность вычислений и устойчивость решения с гарантированной сходимостью к нижней границе результатов.

Анализ научно-исследовательских работ, использующих сдвиговую теорию, показывает, что на данный момент для расчета конструкций оболочечного типа в

различных постановках (линейной и нелинейной) нашли применение конечные элементы различной конфигурации, различающихся между собой геометрией, количеством степеней свободы в узлах, интерполяционными функциями, ориентацией на срединной поверхности. Исследования, проведенные авторами научных работ по расчету НДС оболочек различной конфигурации, показывают, что разработанные на данный момент конечные элементы позволяют решать достаточно широкий круг задач.

В подавляющем большинстве работ отсчет угла поворота нормали по традиции осуществляется от исходного состояния, в то же время при больших перемещениях и больших углах поворота конечных элементов, особенно для расчета геометрически нелинейных оболочек, более точным является вариант, когда угол отсчитывается от деформированного состояния нормали.

Известно, что для учета смещения элемента в криволинейной системе координат необходимо использовать векторную аппроксимацию полей перемещений. В декартовой системе координат достаточно применять скалярную аппроксимацию, как более простую.

Учет сдвига при расчете тонких оболочек, использование наряду с декартовыми координатами криволинейных координат, смещение конечного элемента как твердого тела, скалярная и векторная аппроксимация полей перемещений – таковы основные вопросы строительной механики МКЭ, освещаемые в работе соискателем.

Во второй главе диссертации *«Анализ НДС тонких оболочек на основании гипотезы Кирхгофа-Лява с использованием геометрических соотношений Новожилова»* автором разработан алгоритм компоновки матрицы жесткости четырехузловоем оболочечного элемента дискретизации с узловыми неизвестными, которые представлены компонентами вектора перемещения и их производными при использовании скалярной и векторной интерполяций полей перемещений.

Отметим, что при векторной интерполяционной процедуре каждая компонента вектора перемещения и ее производные по глобальным координатам зависят от узловых значений всех трех компонент (x , y , z) вектора перемещения и их производных в глобальной системе координат. В этом состоит отличие векторной интерполяции от общепринятой скалярной интерполяции перемещений, при которой отдельная компонента вектора перемещения зависит от узловых значений только этой же компоненты и не зависит от узловых значений остальных двух компонент.

При решении тестовой задачи по определению НДС эллиптического цилиндра нагруженного вдоль образующей поперечной линейно распределенной нагрузкой автором показано, что векторная аппроксимация при использовании соотношений Новожилова В. В. эффективна как для оболочек вращения, так и для оболочек произвольной геометрии. Скалярная же аппроксимация дает удовлетворительные результаты только при круговом цилиндре, т.е. когда рассчитываемая оболочка является оболочкой вращения.

Автором показано, что инвариантная интерполяционная процедура векторных полей перемещений решает проблему учета смещения конечного элемента как жесткого тела, закрепленного пружинами. В этом случае использование скалярной аппроксимации в расчетах конструкций с жестким смещением приводит к существенным погрешностям вычислений.

В третьей главе диссертации *«Анализ НДС тонких оболочек с учетом деформации поперечного сдвига при использовании интерполяции узловых неизвестных как скалярных величин»* автор разрабатывает алгоритм компоновки матриц жесткости четырехузловых оболочечных элементов дискретизации для численного анализа НДС тонких оболочек с учетом сдвиговых деформаций при использовании скалярных величин.

Автором разработан алгоритм компоновки матриц жесткости размерностью 44×44 четырехузловых оболочечных элементов дискретизации для численного анализа НДС тонких коротких оболочек с учетом сдвиговых деформаций при использовании интерполяции отдельных компонент вектора перемещений и компонент вектора углов поворота нормали как скалярных величин. В первом варианте компоновки матрицы жесткости четырехугольного конечного элемента отсчет угла поворота нормали осуществляется от ее исходного состояния, во втором – от ее деформированного состояния. Алгоритм реализован на примере оболочки в форме эллиптического цилиндра при различных нагрузках и видах опирания.

Произведен сопоставительный анализ конечно-элементных решений тонких оболочек при учете сдвиговых деформаций при отсчете угла поворота нормали от ее исходного состояния и при отсчете угла поворота нормали от ее деформированного состояния с использованием интерполяции отдельных компонент вектора перемещения и компонент вектора углов поворота нормали как скалярных величин. При этом автор сделал вывод о предпочтительности второго варианта расчета, при котором можно получать удовлетворительные по точности значения напряжений при относительно редкой сетке элементов дискретизации. В то же время автор отмечает, что первый вариант компоновки матрицы жесткости четырехугольного конечного элемента с учетом деформации поперечного сдвига тоже позволяет получать приемлемые результаты, но при весьма существенном сгущении сетки дискретизации рассчитываемой оболочки.

В четвертой главе диссертации *«Анализ НДС тонких оболочек с учетом сдвиговых деформаций при использовании инвариантной интерполяционной процедуры векторных полей перемещений»* автор разрабатывает алгоритм компоновки матриц жесткости четырехузловых оболочечных элементов дискретизации для численного анализа НДС тонких оболочек с учетом сдвиговых деформаций при использовании векторных величин.

В этой главе разработан алгоритм компоновки матриц жесткости размерностью 44×44 четырехузловых оболочечных элементов дискретизации для численного анализа НДС тонких оболочек с учетом сдвиговых деформаций при использовании инвариантной интерполяционной процедуры векторных полей

перемещений и векторных полей углов поворота нормали. В первом варианте компоновки матрицы жесткости четырехугольного конечного элемента отсчет угла поворота нормали осуществляется от ее исходного состояния, во втором – от ее деформированного состояния.

Ценность работы состоит в том, что автором диссертации произведен сопоставительный анализ конечно-элементных расчетов тонких оболочек с учетом сдвиговых деформаций. Рассмотрены различные варианты отсчета угла наклона нормали в процессе деформирования, как при скалярной, так и при векторной формах аппроксимации полей перемещений. На примерах расчетов показано, что использование инвариантной интерполяционной процедуры векторных полей перемещений и векторных полей углов поворота нормали позволяет учесть составляющие смещения конечного элемента как жесткого тела, чего не позволяет сделать скалярная аппроксимация.

Научная новизна диссертации состоит в том, что автором впервые обоснована и использована векторная форма интерполяционной процедуры для вектора угла поворота нормали.

Личный вклад автора диссертации состоит в разработке алгоритмов и создании программ для расчета на прочность тонких столбчатых оболочек некругового вращения, четыре из которых зарегистрированы комитетом РФ.

По диссертационной работе можно высказать следующие замечания:

1. Автор в диссертации не затрагивает такие вопросы, которые обычно возникают в процессе реализации алгоритма на практике, а именно: неизбежность увеличения времени счета на ЭВМ, проблема формирования массивов исходных данных, использование проектными институтами разработанных автором программ расчета тонких оболочек на ЭВМ и тому подобное.

2. В диссертации при исследовании проблемы учета смещения конструкции как жесткого целого автор использует формулировку «смещение конечного элемента как жесткого целого». Мысль эта интересная, но она была известна еще в прошлые века. Если короткую оболочку, наполненную газом высокого давления, поставить на пружины и качнуть, то она будет качаться, как твердое тело. Вопросы прочности могут быть здесь ни при чем. Это система со многими степенями свободы, и является обычно элементом машиностроения. Но автор решает задачу строительной механики, то есть рассматривает прочность и деформативность геометрически неизменяемых систем. Поэтому, когда автор анализирует результаты (см. Таблицу 4.3 - Расчет НДС эллиптического цилиндра с пружинными опорами), то следует быть осторожнее в выводах: природа перемещений в этих случаях различная и точность алгоритмов строительной механики здесь ни при чем. Для решения этой проблемы, прежде всего, нужно иметь правильно сформулированную классификацию систем и главным образом для задач динамики, а не статики. Но это под силу не аспирантам, а научным руководителям. В будущем без пограничных задач в науке не обойтись.

3. Предполагаю, что и у других рецензентов диссертации может возникнуть вопрос: зачем соискатель рассматривал скалярную форму аппроксимации координатных и угловых перемещений, если в исследуемых задачах она неэффективна? Однако вопрос этот, по-видимому, отпадет, если соискатель ответит на него аргументировано.

4. Имеются замечания также по стилю изложения текста диссертации.

«Разработан алгоритм формирования матриц жесткостей четырехугольных конечных элементов при общепринятом и альтернативном вариантах отсчета угла поворота нормали для расчета тонких оболочек с учетом деформации поперечного сдвига на основании скалярной конечно-элементной интерполяционной процедуры.

«при общепринятом и альтернативном вариантах...» - пишет автор. И рецензент, естественно, пытается расшифровать, что автор понимает под тем или иным определением, но на ближайших страницах ответа он не находит. Сам-то автор, возможно, вспомнит, что это такое, но потребует время. Такие нечеткости есть во многих местах диссертации. Это не научный стиль письма. Руководителю желательно отредактировать текст в этом отношении, чтобы абстрактные прилагательные были заменены на чёткие названия с явным отличительным признаком.

5. На наш взгляд название диссертации можно было бы несколько сократить. Например, примерно так, как указано в статье:

Клочков, Ю. В. Конечно-элементный анализ НДС оболочек вращения с учетом деформаций поперечного сдвига / Ю. В. Клочков, А. П. Николаев, Т. Р. Ищанов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2016. - № 5. С. 49–54.

Приведено название диссертационной статьи Ищанова. Поэтому в качестве первой фамилии лучше написать не Клочкова, а Ищанова. Например, так:

Ищанов, Т. Р. Конечно-элементный анализ НДС оболочек вращения с учетом деформаций поперечного сдвига /Т. Р. Ищанов, Ю. В. Клочков, А. П. Николаев // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2016. - № 5. С. 49–54.

Высказанные замечания, однако, не снижают общего положительного впечатления о работе.

Заключение о соответствии диссертации критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней».

Оценивая диссертационную работу в целом, отметим, что диссертационная работа имеет завершённый характер. Все поставленные автором вопросы рассмотрены достаточно подробно, изложены четко и аргументировано. В целом диссертация оформлена на современном уровне с использованием компьютерных технологий и снабжена большим количеством иллюстративного материала.

Основное содержание диссертации опубликовано в 7 работах автора, в том числе в трех изданиях, рекомендованных ВАК для диссертаций. Большой личный вклад соискателя в разработку рассматриваемой проблемы подтверждается опубликованными статьями. Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации.

Рассматриваемая диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне. Полученные автором результаты имеют теоретическое и практическое значение. По содержанию, актуальности и ценности результатов проведенных исследований диссертация **«Конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния тонких оболочек с учетом поперечного сдвига при различных вариантах аппроксимации угловых перемещений»** соответствует п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013г, требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор **Ищанов Тлек Рахметолович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17 – Строительная механика.

Профессор кафедры «Теория сооружений и
строительных конструкций» Института урбанистики,
архитектуры и строительства

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный
технический университет имени Гагарина Ю.А.»,
доктор технических наук по специальности
05.23.17 – Строительная механика

тел.: +7(452) 99-87-84

e-mail: sberbanksp@yandex.ru

Ким

 Алексей Юрьевич

Адрес: Приволжский федеральный округ, Саратовская область,
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77,

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

«16» ноября _____ 2018 г.

Подпись Кима Алексея Юрьевича заверяю

Ученый секретарь Ученого совета
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный
технический университет имени Гагарина Ю.А.»,
к. ф.-м. н. доцент





Салтыкова О.А.

«16» ноября _____ 2018 г.

СПИСОК

основных публикаций оппонента Кима Алексея Юрьевича, доктора технических наук, профессора кафедры «Теория сооружений и строительных конструкций» Института урбанистики, архитектуры и строительства ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

1. Ким А.Ю., Полников С.В. Сравнение экспериментального и численного исследования большепролетного пневматического линзообразного сооружения // Научное обозрение. 2016. № 15. С. 36-41.
2. Ким А.Ю., Полников С.В. Харитонов С.П., Расчет нелинейных линзообразных мембранно-пневматических покрытий сооружений больших пролетов итерационным методом приращений параметров с усовершенствованной численной процедурой// Научное обозрение. 2017. № 19. С. 35-41.
3. Ким А.Ю., Харитонов С.П., Борзенко Д.А. Архитектура пневматических сооружений // Научное обозрение. 2015. № 15. С. 65-68.
4. Ким А.Ю., Харитонов С.П. Расчет воздухоопорных мембранно-пневматических сооружений с учетом геометрической нелинейности // Научное обозрение. 2014. № 12-3. С. 744-746.
5. Ким А.Ю., Харитонов С.П., Булычев А.С., Кубраков А.Г., Чижов А.М. Экспериментально-теоретическое исследование статической работы модели воздухоопорного мембранно-пневматического покрытия сооружения // Научное обозрение. 2014. № 12-3. С. 747-752.

Доктор технических наук,
профессор кафедры «Теория сооружений и
строительных конструкций»
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный
технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Ким

Алексей Юрьевич

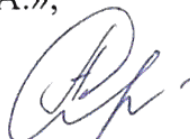


Подпись Кима Алексея Юрьевича заверяю

Ученый секретарь Ученого совета
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный
технический университет имени Гагарина Ю.А.»,
к. ф.-м. н., доцент



«16» ноября 2018 г.



Салтыкова О.А.

Волгоградский государственный
технический университет
Председателю диссертационного совета
Д 212.028.10
С.Ю. Калашникову

Я, Ким Алексей Юрьевич, даю свое согласие выступить в качестве официального оппонента по диссертации Ищанова Тлека Рахметоловича «Конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния тонких оболочек с учетом поперечного сдвига при различных вариантах аппроксимации угловых перемещений» по специальности 05.23.17 «Строительная механика», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук. Выражаю свое согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации.

Сведения об официальном оппоненте

Фамилия, имя, отчество	Ким Алексей Юрьевич
Ученая степень, шифр и наименование научной специальности в соответствии с номенклатурой, по которой защищена диссертация	доктор технических наук по специальности 05.23.17 – Строительная механика
Ученое звание	доцент
Полное наименование организации, являющейся местом работы в момент предоставления отзыва, должность	Профессор кафедры «Теория сооружений и строительных конструкций» Института урбанистики, архитектуры и строительства ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»
Список основных публикаций официального оппонента по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет	
1. Ким А.Ю., Полников С.В. Сравнение экспериментального и численного исследования большепролетного пневматического линзообразного сооружения // Научное обозрение. 2016. № 15. С. 36-41. 2. Ким А.Ю., Харитонов С.П. Расчет воздухоопорных мембранно-пневматических сооружений с учетом геометрической нелинейности // Научное обозрение. 2014. № 12-3. С. 744-746. 3. Ким А.Ю., Харитонов С.П., Булычев А.С., Кубраков А.Г., Чижов А.М. Экспериментально-теоретическое исследование статической работы модели воздухоопорного мембранно-пневматического покрытия сооружения // Научное обозрение. 2014. № 12-3. С. 747-752. 4. Ким А.Ю., Полников С.В., Харитонов С.П. Расчет нелинейных линзообразных мембранно-пневматических покрытий сооружений больших пролетов итерационным методом приращений параметров с усовершенствованной численной процедурой // Научное обозрение. 2017. № 19. С. 35-41.	

Официальный оппонент
доктор технических наук,
профессор кафедры «Теория сооружений и
строительных конструкций»
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный
технический университет имени Гагарина Ю.А.»



Ким
Алексей Юрьевич

Подпись Кима Алексея Юрьевича заверяю

Ученый секретарь Ученого совета
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный
технический университет имени Гагарина Ю.А.»,
к. ф.-м. н., доцент



Салтыкова О.А.