

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию Игнатьева Александра Владимировича
«Развитие метода конечных элементов

в форме классического смешанного метода строительной механики»,
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.23.17 - Строительная механика

Актуальность темы диссертационного исследования. В настоящее время возрастают требования к точности расчётного обоснования проектируемых конструкций, зданий и сооружений.

Сегодня одним из наиболее универсальных численных методов решения краевых задач в области механики деформируемого твердого тела и строительной механики является метод конечных элементов (МКЭ). Его популярность обусловлена простотой и наглядностью, возможностью расчета тел практически любой геометрической формы не только на силовые и деформационные воздействия, но и на воздействия тепловых, электромагнитных, акустических и других полей. В настоящее время МКЭ заложен в основу почти всех систем автоматизированного проектирования конструкций. При этом, как справедливо замечает автор в обосновании актуальности темы исследования, форма МКЭ в перемещениях, на которой основано большинство программных комплексов, наряду с достоинствами имеет и ряд неразрешенных до конца проблем, приводящих к необходимости верификации получаемых на его основе результатов расчета. Использование для расчетов конструкций альтернативных вариантов метода конечных элементов позволяет более точно определять их напряженно деформированное состояние и, тем самым, повысить их надежность. Это является толчком для развития других формулировок МКЭ.

Сформулированная в диссертации научная проблема – расширения возможностей метода конечных элементов и его развития в форме классического смешанного метода строительной механики, дающего возможность сравнительного анализа результатов расчета получаемых на основе его различных форм, даёт основание утверждать, что тема исследования является актуальной.

Вся диссертационная работа объединена одной общей **целью** – исследование эффективности разработанной формы МКЭ на основе классического смешанного метода строительной механики в линейных и нелинейных задачах статики, динамики и устойчивости,

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, считаю обоснованными. Структура и логика соответствуют поставленным в диссертации целям исследования. При разработке физико-математических моделей конечных элементов и алгоритмов расчетов различных типов конструктивных элементов и конструкций в линейной и нелинейной постановках автор корректно использует основные соотношения строительной механики, теории упругости и механики сплошной среды. Достоверность результатов полученных с помощью разработанных конечных элементов подтверждается сравнением результатов решения тестовых примеров с результатами исследований других авторов.

Научная новизна положений, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, заключается в следующем:

1. Введено фундаментальное понятие-термин – «матрица откликов», являющееся обобщением понятий матриц жесткости и податливости, что позволяет рассматривать классический смешанный метод строительной механики с позиций общей теории метода конечных элементов.

2. Разработаны алгоритмы получения матриц откликов КЭ для задач статики, а также матриц масс для задач динамики и матриц откликов для задач устойчивости.

3. На основе предложенной «матрицы откликов» разработаны алгоритмы построения систем разрешающих конечно-элементных уравнений для задач статики, динамики и устойчивости для смешанной формы МКЭ.

4. Предложено решение проблемы исключения влияния на деформированное состояние системы перемещений конечных элементов как жесткого целого. В разрешающих уравнениях МКЭ в форме классического смешанного метода исключение влияния перемещений конечных элементов как жесткого целого из разрешающих конечно-элементных уравнений выполняется в явном виде, что снимает проблему плохой обусловленности систем разрешающих уравнений, присущую МКЭ в перемещениях.

5. Впервые на основе МКЭ в форме классического смешанного метода разработан единый алгоритм решения нелинейных задач о нахождении напряженно-деформированного состояния, как нерастяжимых, так и растяжимых нитей.

6. Предложен алгоритм решения геометрически нелинейных задач, позволяющий выявить конфигурации конструкции, соответствующие точкам бифуркации.

7. Разработан алгоритм расчета конструктивно нелинейных систем с односторонними связями, который позволяет отследить включение и выключение односторонних связей в процессе пошагового нагружения, устранить проблему заклинивания в итерационном процессе отыскания рабочей схемы и существенно уменьшить число итераций.

Теоретическая и практическая значимость результатов, полученных автором диссертации. Теоретическая значимость полученных автором результатов состоит в том, что расширенный МКЭ в форме классического смешанного метода по степени простоты формализации и алгоритмизации аналогичен классическому МКЭ в перемещениях.

Практическая значимость полученных результатов состоит в разработке алгоритмов и модулей программного комплекса «ПК КСФ МКЭ», позволяющего выполнять статический и динамический расчет стержневых систем и пластин. На

программные компоненты программного комплекса получено 6 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ. Они уже нашли применение как в проектной практике, так и в учебном процессе ИАиС ВолгГТУ.

Применение программного комплекса для сравнительного анализа результатов расчета, полученных с использованием других программных комплексов уменьшает вероятность возникновения аварий.

Основные результаты диссертации опубликованы в 75 работах. Из них: 32 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, 6 статей в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирований Web of Science и Scopus, 1 монография, 5 учебных пособий. Результаты исследований обсуждались на различных семинарах и конференциях.

Общие замечания по диссертационной работе.

1. Эффективность разрабатываемой формы МКЭ показана только на тестовых задачах, а не на расчетах практических конструкций.

2. Не рассмотрены комбинированные конструкции, включающие соединения различных типов конечных элементов, которые могут иметь различные, несовпадающие наборы узловых неизвестных.

3. Необходимо уточнить какой алгоритм решения системы линейных уравнений смешанного метода применялся для выполнения контрольных расчетов. Если выполнялось преобразование к системе метода перемещений, то нет преимуществ одновременности вычисления перемещений и усилий, о котором упоминается в выводах к главе 2. Если система уравнений решалась прямо, то необходимо пояснить метод решения системы уравнений, которая не является симметричной и положительно определенной.

4. В главе 2 приведены алгоритмы формирования «матрицы откликов» для конечных элементов и виде сегмента кольца и для объемного конечного, но в главе 3 не приведены примеры расчетов и с использованием таких элементов, а также их сравнение с конечными элементами метода перемещений.

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования А.В. Игнатьева. В целом работа выполнена на высоком научном уровне и является законченным научным исследованием. Автореферат соответствует диссертации и в достаточной степени даёт представление об основных положениях работы.

Заключение. Считаю, что диссертация Игнатьева Александра Владимировича на соискание ученой степени доктора наук является научно-квалификационной работой, в которой решается фундаментальная научная проблема расширения возможностей метода конечных элементов путём развития и включения в неё МКЭ в форме классического смешанного метода строительной механики, что соответствует требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.17 – Строительная механика.

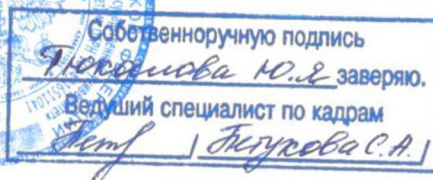
Официальный оппонент
доктор технических наук, доцент
профессор кафедры строительных конструкций и машин ФГБОУ ВО ВятГУ



Тюкалов Юрий Яковлевич

Список основных публикаций Тюкалова Юрия Яковлевича

1. Tyukalov, Yu. Ya. Calculation method of bending plates with assuming shear deformations / **Yu. Ya. Tyukalov** // Инженерно-строительный журнал. - 2019. - № 1 (85). - С. 107-122.
2. Tyukalov, Yu. Ya. Finite element models in stresses for plane elasticity problems / **Yu. Ya. Tyukalov** // Инженерно-строительный журнал. - 2018. - № 1 (77). - С. 23-37.
3. Tyukalov, Yu. Ya. Refined finite element of rods for stability calculation / **Yu. Ya. Tyukalov** // Инженерно-строительный журнал. - 2018. - № 3 (79). - С. 54-65.



4. Tyukalov, Yu. Ya. Finite element models in stresses for bending plates / **Yu. Ya. Tyukalov** // Инженерно-строительный журнал. - 2018. - № 6 (82). - С. 170-190.
5. Tyukalov, Yu. Ya. Calculation of bending plates by finite element method in stresses/ **Yu. Ya. Tyukalov** // Published under licence by IOP Publishing Ltd
IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 451. - 2018. –
URL : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/451/1/012046/pdf>
6. Tyukalov, Yu. Ya. The functional of additional energy for stability analysis of spatial rod systems
/ **Yu. Ya. Tyukalov** // Инженерно-строительный журнал. - 2017. - № 2 (70). - С. 18-32.
7. Tyukalov, Yu. Ya. Stress finite element models for determining the frequencies of free oscillations
/ **Yu. Ya. Tyukalov** // Инженерно-строительный журнал. - 2016. - № 7 (67). - С. 39-54.
8. Тюкалов, Ю.Я. Влияние жесткости опорных узлов на несущую способность гофрированных арочных грунтозасыпных мостов / **Ю. Я. Тюкалов**, И. В. Рябов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. - 2016. - № 1 (28). - С. 84-86.
9. Тюкалов, Ю.Я. Исследование несущей способности гофрированных арочных грунтозасыпных мостов с учетом предварительного напряжения и податливости опорных узлов / **Ю. Я. Тюкалов**, И. В. Рябов // Транспортное строительство. 2015. № 10. С. 14-16.

Ю. Я. Тюкалов



Собственноручную подпись
Тюкалова Ю.Я. заверяю.
Ведущий специалист по кадрам
Бегунова С.А.
19.09.2019

Сведения об официальном оппоненте

ФИО: Тюкалов Юрий Яковлевич

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: доцент

Шифр и наименование научной специальности: 05.23.17 - Строительная механика

Организация – место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет» (ФГБОУ ВО ВятГУ)

Должность: профессор кафедры строительных конструкций и машин

Почтовый адрес организации: 610000, г. Киров, ул. Московская, д.36

Телефон: 8 (8332) 742-889 Факс: 8 (8332) 646-571 e-mail: rectorat@vyatsu.ru

Подпись Ю.Я. Тюкалова заверяю

Согласие официального оппонента

Я, Тюкалов Юрий Яковлевич, согласен выступить в роли официального оппонента на защите диссертации Игнатьева Александра Владимировича «Развитие метода конечных элементов в форме классического смешанного метода строительной механики», представленную к защите на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.23.17 - Строительная механика.

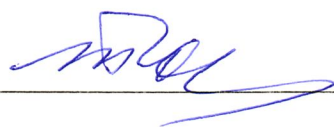
Даю согласие на обработку и передачу моих персональных данных.

О себе сообщаю следующие сведения:

Ученая степень	доктор технических наук
Ученое звание	доцент
Шифр и наименование научной специальности	05.23.17 - Строительная механика
Полное и сокращенное наименование организации – места работы	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет» (ФГБОУ ВО ВятГУ)
Должность	Профессор кафедры строительных конструкций и машин
Почтовый адрес организации	610000, г. Киров, ул. Московская, д.36
Телефон	8 (8332) 742-889
Факс	8 (8332) 646-571
e-mail	rectorat@vyatsu.ru
Список основных публикаций по теме диссертации в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, а также в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science и Scopus	<p>1. Tyukalov, Yu. Ya. Calculation method of bending plates with assuming shear deformations / Yu. Ya. Tyukalov // Инженерно-строительный журнал. - 2019. - № 1 (85). - С. 107-122.</p> <p>2. Tyukalov, Yu. Ya. Finite element models in stresses for plane elasticity problems / Yu. Ya. Tyukalov // Инженерно-строительный журнал. - 2018. - № 1 (77). - С. 23-37.</p> <p>3. Tyukalov, Yu. Ya. Refined finite element of rods for stability calculation / Yu. Ya. Tyukalov // Инженерно-строительный журнал. - 2018. - № 3 (79). - С. 54-65.</p> <p>4. Tyukalov, Yu. Ya. Finite element models in stresses for bending plates / Yu. Ya. Tyukalov // Инженерно-</p>

	<p>5. Tyukalov, Yu. Ya. Calculation of bending plates by finite element method in stresses/ Yu. Ya. Tyukalov // Published under licence by IOP Publishing Ltd IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 451. - 2018. – URL : https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/451/1/012046/pdf</p> <p>6. Tyukalov, Yu. Ya. The functional of additional energy for stability analysis of spatial rod systems / Yu. Ya. Tyukalov // Инженерно-строительный журнал. - 2017. - № 2 (70). - С. 18-32.</p> <p>7. Tyukalov, Yu. Ya. Stress finite element models for determining the frequencies of free oscillations / Yu. Ya. Tyukalov // Инженерно-строительный журнал. - 2016. - № 7 (67). - С. 39-54.</p> <p>8. Тюкалов, Ю.Я. Влияние жесткости опорных узлов на несущую способность гофрированных арочных грунтозасыпных мостов / Ю. Я. Тюкалов, И. В. Рябов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. - 2016. - № 1 (28). - С. 84-86.</p> <p>9. Тюкалов, Ю.Я. Исследование несущей способности гофрированных арочных грунтозасыпных мостов с учетом предварительного напряжения и податливости опорных узлов / Ю. Я. Тюкалов, И. В. Рябов // Транспортное строительство. 2015. № 10. С. 14-16.</p>
--	---

Доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры строительных конструкций и машин
ФГБОУ ВО ВятГУ



Юрий Яковлевич Тюкалов

19.09.19

Подпись Ю.Я. Тюкалова заверяю

