

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**

В настоящее время расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) строительных конструкций выполняется, как правило, с использованием промышленных программных комплексов, реализующих основной численный метод строительной механики – метод конечных элементов (МКЭ). При этом используется вариант МКЭ в форме метода перемещений, в котором неизвестными, относительно которых составляется и решается система уравнений, являются перемещения и углы поворота узлов конечно-элементной сетки. Такой вариант МКЭ, наряду с хорошо известными достоинствами, имеет и ряд недостатков. К числу таких основных недостатков, как отмечается в рецензируемой диссертации, относятся: пониженная точность определения усилий (напряжений) по сравнению с точностью определения перемещений; ухудшение обусловленности матрицы системы уравнений при наличии в расчетной схеме элементов конструкции с большой жесткостью; разрывный характер полей напряжений на границах конечных элементов; необходимость построения специальных сложных алгоритмов численного решения при решении нелинейных задач с сингулярными точками: предельными точками и точками бифуркации на кривой «перемещение-нагрузка».

Одним из способов преодоления указанных недостатков метода перемещений является использование МКЭ в форме смешанного метода. Несмотря на то, что такая форма МКЭ известна давно, в существующих программных комплексах этот метод не реализован, что свидетельствует о недостаточной его разработанности, особенно при решении нелинейных задач. Поэтому тема

диссертационной работы Игнатьева А.В., в которой рассматриваются теоретические и алгоритмические проблемы решения широкого круга задач строительной механики с использованием смешанной формы метода конечных элементов, является **актуальной**.

В рецензируемой диссертации рассмотрены основные математические модели строительной механики: гибкие нити, стержневые системы, изгибаемые тонкие пластины, теория упругости. Для всех указанных моделей на основе единого подхода строятся различные варианты конечных элементов смешанного метода. Анализируются вопросы использования МКЭ в форме смешанного метода для задач статики, динамики и устойчивости. Разработан и продемонстрирован на примерах алгоритм решения геометрически и конструктивно нелинейных задач на основе МКЭ в форме смешанного метода.

Научная новизна полученных в диссертации А.В.Игнатьева результатов заключается в следующем:

- разработан метод построения матриц конечных элементов смешанного метода, названных автором «матрицы откликов», на основе классического смешанного метода строительной механики в отличие от традиционного подхода, использующего континуальные смешанные функционалы типа функционалов Рейсснера;

- на основе разработанного подхода получены матрицы откликов конечных элементов для широкого круга задач строительной механики – нити, стержни, тонкие пластины, теория упругости;

- с использованием разработанного подхода получены матрицы масс и матрицы геометрической жесткости, позволяющие решать задачи динамики и устойчивости конструкций на основе МКЭ в форме смешанного метода;

- разработаны алгоритмы решения нелинейных задач на основе смешанной формы МКЭ, позволяющие: а) определить сингулярные точки – предельные точки и точки бифуркации, найти критическую нагрузку, при которой система теряет устойчивость, получить ниспадающую ветвь кривой «перемещение – нагрузка»;

- б) решить конструктивно нелинейные задачи с односторонними связями;

- в) решить нелинейные задачи, как для нерастяжимых, так и для растяжимых нитей;

- разработаны алгоритмы численной реализации, предложенных в диссертации подходов, на основе которых созданы авторские программы.

Обоснованность и достоверность результатов и выводов диссертации А.В.Игнатьева обеспечивается:

- корректным использованием математических методов и моделей строительной механики;
- сравнением численных решений, полученных автором, с аналитическими решениями, в тех случаях, когда имеются аналитические решения;
- сравнением полученных автором решений с решениями, полученными с помощью программного комплекса ЛИРА САПР.

Приведенные в диссертации примеры расчетов подтверждают, что конечные элементы смешанного метода на основе разработанных автором алгоритмов и программ позволяют проводить анализ НДС строительных конструкций и их элементов с достаточно высокой точностью и при этом в ряде случаев преодолеть упомянутые выше недостатки МКЭ в форме метода перемещений.

Результаты, полученные в диссертации, прошли апробацию в научной печати и публичное обсуждение на научно-технических конференциях. Основные положения диссертационного исследования опубликованы в монографии, в 32 статьях в журналах из Перечня ВАК РФ, в 6 статьях в журналах, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science, а также неоднократно докладывались на конференциях и семинарах.

Публикации автора в достаточной степени отражают основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Практическая значимость для науки и практики результатов, полученных в диссертации А.В.Игнатьева, заключается в следующем:

- теоретические положения, численные алгоритмы и программы, разработанные в диссертации, позволяют проводить анализ НДС строительных конструкций, в том числе, в тех случаях, когда затруднено или не эффективно использование МКЭ в форме метода перемещений;
- методы и алгоритмы, разработанные в диссертации, могут быть применены не только для рассмотренных в диссертации задач, но и для других математических моделей, используемых в строительной механике;

- компьютерные программы, разработанные под руководством автора, могут быть использованы при создании программных комплексов для анализа НДС строительных конструкций на основе смешанной формы МКЭ.

Практическую значимость результатов диссертации А.В.Игнатьева повышает тот факт, что авторские программы, реализующие разработанные в диссертации методы и алгоритмы, прошли регистрацию в Федеральной службе по интеллектуальной собственности.

Результаты, полученные в диссертационной работе, могут быть рекомендованы для использования в научных и образовательных организациях строительного профиля.

По рецензируемой работе могут быть сделаны следующие **замечания**:

1.К сожалению, в работе нигде не описаны использованные автором численные алгоритмы решения систем уравнений смешанного метода. Так как матрица этой системы уравнений не является положительно определенной, то стандартные алгоритмы решения систем уравнений, используемые в методе перемещений, не годятся для смешанного метода.

Для задач статики в п. 2.4 автор упоминает о возможности сведения уравнений смешанного метода к системе уравнений метода перемещений, но остается неясным использовался ли именно этот подход в разработанных автором программах.

Что же касается численного алгоритма решения проблемы собственных значений для уравнений смешанного метода, который необходимо использовать при решении задач динамики и устойчивости, то этот алгоритм остался в работе не изложенным.

2. При решении задач динамики смешанным методом известен эффект «перемешивания» частот собственных колебаний. В работе:

Исполов Ю.Г., Сливкер В.И. Об одном эффекте, возникающем при использовании метода конечных элементов в смешанной форме

// Строительная механика и расчет сооружений.-1984.- № 1.- С. 43 - 48

доказано, что при использовании метода конечных элементов в смешанной форме частоты собственных колебаний могут оказаться не упорядочены по возрастанию

их численных значений. Автор диссертационной работы не изложил свои предложения об учете этого эффекта.

3. В п. 4.3, рассматривая задачи о вынужденных колебаниях при полигармоническом воздействии, автор утверждает (с. 136): «Определив возникающие в системе от действия каждой из нагрузок максимальные усилия, на основе принципа независимости действия сил найдем максимальные усилия при суммарном воздействии этих нагрузок». В таком общем виде с этим утверждением трудно согласиться, так как максимальные усилия от разных нагрузок могут возникать в разные моменты времени. Проблема суммирования динамических откликов на разных частотах хорошо известна, например, в задачах сейсмостойкости конструкций и до сих пор является одной из нерешенных до конца задач строительной механики.

Замечания редакционного характера:

4. В п. 4.2.1 и п. 5.2.1 два раза приводится подробное решение одной и той же задачи об устойчивости фермы Мизеса. Причем один раз полученный результат сравнивается с решением Корноухова Н.В. из работы 1949 г., другой раз тот же самый результат сравнивается с решением Игнатьева В.А. из работы 1979 г.

5. В п. 5.2.5 рассматриваются три примера решения задач об устойчивости различных стержневых систем. Во всех примерах (с.183, с.185, с.186) полученные решения сравниваются с результатами работы с номером 161 из списка литературы. Однако, в указанной под этим номером работе Розина Л.А. задачи устойчивости не рассматривались.

Сделанные замечания не снижают достоинств рассматриваемой работы.

Диссертация соответствует Паспорту специальности 05.23.17 – Строительная механика. Название работы отвечает содержанию рассматриваемых в ней вопросов. Автореферат диссертации отражает основные результаты, полученные в диссертационной работе.

В целом, можно констатировать, что диссертация Игнатьева А.В. «Развитие метода конечных элементов в форме классического смешанного метода строительной механики», представленная к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.17 – Строительная механика, является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании

выполненных автором исследований разработаны методы, алгоритмы и созданы программы, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Игнатьева Александра Владимировича отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.17 – Строительная механика.

Официальный оппонент:

доктор технических наук по
специальности 01.02.04 (Механика
деформируемого твердого тела),
профессор Высшей школы
промышленно-гражданского и
дорожного строительства Инженерно-
строительного института

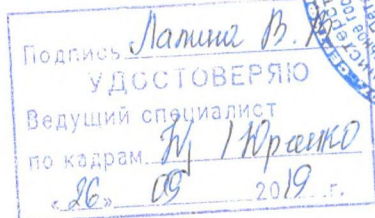
Моб. тел. +79213199878

E-mail: vllalin@yandex.ru



Лалин Владимир
Владимирович

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
"Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого"
195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
Телефон: +7 (812) 552-60-80
e-mail: office@spbstu.ru



Согласие официального оппонента

Я, Лалин Владимир Владимирович, 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	профессор
Шифр и наименование научной специальности	01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела
Полное и сокращенное наименование организации – места работы	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО СПбПУ)
Должность	Заведующий кафедрой «Строительная механика и строительные конструкции»
Почтовый адрес организации	195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29
Телефон	+79213199878
Факс	-
e-mail	vllalin@yandex.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 цитирований Web of Science и Scopus	1. Лалин, В. В. Устойчивость равновесия упругих арок с учетом искривления оси / А. Н. Дмитриев, А. А. Семенов, В. В. Лалин // Строительство уникальных зданий и сооружений. - 2018. - № 4 (67). - С. 19-31. 2. Лалин, В. В. Вариационная постановка динамических задач для нелинейной среды Коссера / Е. В. Зданчук, В. В. Куроедов, В. В. Лалин , И. И. Лалина, Е. А. Проваторова // Прикладная математика и механика. - 2017. - Т. 81. - № 1. - С. 97-102.

	<p>3. Лалин, В. В. Conditions on the surface of discontinuity for the reduced Cosserat continuum / V. V. Lalin, E. V. Zdanchuk // Materials Physics and Mechanics. - 2017. - Т. 31. - № 1-2. - С. 28-31.</p> <p>4. Лалин, В. В. Изгиб геометрически нелинейного консольного стержня. решение по теориям Кирхгофа и Коссера – Тимошенко / В. В. Лалин, М. О. Беляев // Инженерно-строительный журнал. - 2015. - № 1 (53). - С. 39-55.</p> <p>5. Лалин, В. В. Вариационные постановки нелинейных задач с независимыми вращательными степенями свободы / В. В. Лалин, Е. В. Зданчук, Д. А. Кушова, Л. А. Розин // Инженерно-строительный журнал. - 2015. - № 4 (56). - С. 54-65.</p> <p>6. Лалин, В. В. The optimal control of the elastic stress state using boundary loads / V. Lalin, A. Savchenko, S. Dyakov, I. Lalina // Applied Mechanics and Materials. - 2015. - Т. 725-726. - С. 836.</p>
--	--

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Строительная механика
и строительные конструкции» ФГАОУ ВО СПбПУ


Владимир Владимирович Лалин

Подпись В.В. Лалина заверяю

