

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной деятельности
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский
государственный архитектурно-
строительный университет»
Королев Евгений Валерьевич



« 22 » 04 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский
государственный архитектурно-строительный университет»
на диссертационную работу**

Завьялова Ивана Сергеевича

**«Совершенствование редуцированных алгоритмов расчета пластин при
статических и динамических воздействиях с помощью МКЭ в форме
классического смешанного метода»,
представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 2.1.9. Строительная механика**

1. Актуальность темы диссертационного исследования.

Расчет конструкций современных зданий и сооружений с помощью метода конечных элементов (далее - МКЭ) всегда связан с решением систем линейных алгебраических уравнений (далее - СЛАУ). Даже применение простых конечных элементов в расчете сложных конструкций приводит к системам уравнений высокого порядка, решение которых становится затруднительным даже при решении статических задач на современных ЭВМ. Следует отметить, что тенденция роста размерности задач устойчива, поэтому способность программного комплекса быстро и корректно решать СЛАУ высокого порядка является крайне важной. Проблема решения таких СЛАУ связана с тем, что матрицы коэффициентов при неизвестных, как правило, сильно разрежены, и поэтому обычные известные методы решения СЛАУ оказываются крайне неэффективными.

Трудности решения существенно возрастают при рассмотрении задач динамики и устойчивости. Исследование динамики сложных структур

предполагает наличие достаточно эффективного аппарата решения проблемы собственных значений (далее - СЗ) и собственных векторов (далее - СВ).

Высокий порядок матриц жесткости и масс пространственных конструкций в еще большей мере сказывается при их динамическом расчете.

Следует отметить, что исследования преимущественно посвящены анализу методов формирования и решения СЛАУ, возникающих при использовании МКЭ в форме метода перемещений.

При этом методы формирования и решения СЛАУ, связанные с применением смешанных и гибридных формулировок, до сих пор остаются мало изученными в рамках современной строительной механики. Учитывая растущий интерес к использованию смешанных и гибридных формулировок МКЭ, разработка алгоритмов редуцирования систем уравнений МКЭ высокого порядка, получаемых с использованием таких вариантов МКЭ при моделировании сложных конструкций, является актуальной проблемой.

В работе автором поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработка базового алгоритма редукиции СЛАУ, получаемых на основе МКЭ в форме классического смешанного метода (КСМ) при расчете пластин на статическое и динамическое воздействие.

2. Разработка специализированных и комбинированных алгоритмов редукиции СЛАУ, получаемых на основе МКЭ в форме КСМ при расчете пластин на статическое и динамическое воздействие.

3. Разработка комплексного подхода к расчету плит на упругом основании с изменяющейся жесткостью, находящихся под статическими нагрузками, основанного на редукиции основных неизвестных и методе компенсирующих нагрузок.

4. Анализ эффективности разработанных алгоритмов по сравнению с алгоритмами, реализующими подходы и методы других исследователей.

Задачи исследования сформулированы исходя из цели диссертационной работы, которой является разработка и совершенствование алгоритмов редуцирования СЛАУ высокого порядка, получаемых при расчете пластин на статическое и динамическое воздействие с использованием МКЭ в форме классического смешанного метода.

2. Структура работы

Во введении обоснована актуальность выбранного направления исследований в связи с необходимостью развития альтернативных алгоритмов редуцирования СЛАУ на основе МКЭ в форме классического смешанного метода, сформулированы цели и задачи научного исследования, отмечается новизна и практическая значимость работы, приводится общая характеристика работы и основные положения, которые автор выносит на защиту.

В первой главе приведен обзор работ по теории методов решения больших СЛАУ в статическом и динамическом анализе строительных конструкций. Описаны проблемы, возникающие при обработке СЛАУ высокой размерности, а также методы решения алгебраической проблемы

собственных значений для таких систем уравнений. Обоснована актуальность разработки алгоритмов, которые способны быстро и точно решать сложные задачи в инженерной практике.

Результаты проведенного анализа позволили обосновать актуальность, цель и задачи исследования.

Во второй главе приводится описание базового алгоритма редуцирования систем уравнений МКЭ в форме классического смешанного метода (далее - КСМ) с использованием интерполяции основных неизвестных для расчета пластин на статическое воздействие. Приведено подробное изложение формирования и получения редуцированной системы разрешающих уравнений МКЭ в форме классического смешанного метода. Приводится описание расчета различных задач строительной механики с использованием алгоритма и его модификаций.

Выполнены численные расчеты тонких изгибаемых пластин с различными типами закрепления на статическое воздействие, и проведен анализ полученных результатов.

В третьей главе рассмотрен комплексный подход к расчету плит на упругом основании с изменяющейся жесткостью, находящихся под статическими нагрузками, основанного на редукции основных неизвестных и методе компенсирующих нагрузок. В качестве примеров в главе выполнен численный расчет фундаментной плиты при различных вариантах нагружения. При расчетах работа сваи в грунте была представлена как работа отдельно стоящей, упруго-податливой опоры. Для описания характеристик этой опоры используются результаты испытания грунтов сваями статическими вдавливающими нагрузками, представленные в виде диаграммы зависимости осадки от нагрузки в виде кусочной функции.

В четвертой главе приведено описание алгоритмов редуцирования системы частотных уравнений МКЭ в форме КСМ с использованием интерполяции основных неизвестных и его модификаций.

С использованием этих алгоритмов был выполнен расчет нижней части спектра собственных частот колебаний для тонких изгибаемых пластин с различными типами закрепления и проведен анализ полученных результатов.

Дополнительно была решена задача определения собственных частот и собственных форм колебаний для плиты на упруго-податливых опорах.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

В Приложении А представлены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

В Приложении Б представлены документы, подтверждающие внедрение результатов диссертационной работы.

Содержание и структура диссертации находятся в логическом единстве и соответствуют поставленной цели исследования, что подтверждается наличием последовательного плана исследования. Выдвигаемые соискателем теоретические и методологические положения, а также сформированные в диссертации выводы и результаты исследования являются новыми.

Автореферат полностью отвечает ее содержанию.

3. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность результатов исследования обеспечивается корректным использованием основных гипотез и допущений строительной механики, обоснованных численных методов решения СЛАУ и подтверждается сравнением результатов решения задач с имеющимися аналитическим решением, принимаемым за точное, а также решениями, полученными другими методами.

4. Научная новизна

Соискателем разработаны:

1. Базовый алгоритм редуцирования СЛАУ, получаемых на основе МКЭ в форме КСМ при расчете пластин на статическое и динамическое воздействие, в основе которого лежит идея интерполяции основных неизвестных.

2. Специализированные частные алгоритмы редуцирования СЛАУ, получаемых при расчете пластин на статическое и динамическое воздействие на основе МКЭ в форме КСМ, в которых для интерполяции основных неизвестных используется билинейная интерполяция, или используется неполный бикубический полином.

3. Комбинированные алгоритмы редуцирования частотных уравнений, сочетающие в себе преимущества алгоритма на основе интерполяции основных неизвестных и методов статической и последовательной частотно-динамической конденсации в форме классического смешанного метода.

4. Комплексный подход к расчету плит на упругом основании с изменяющейся жесткостью, находящихся под статическими нагрузками, сочетающий преимущества разработанных редукционных алгоритмов и метода компенсирующих нагрузок.

5. Проведены численные расчеты пластин, имеющих различные условия опирания и находящихся под действием различного рода нагрузок, исследована сходимость вычислительного процесса. На основе выполненных расчетов была показана высокая степень точности разработанных алгоритмов. Также в качестве другой численной характеристики эффективности приведено уменьшение порядка решаемой СЛАУ, необходимой для получения достоверного результата.

Научная и практическая ценность диссертации

Практическая ценность полученных результатов состоит в том, что разработанные впервые алгоритмы и программы численной реализации, реализующие МКЭ в форме КСМ, более эффективны по сравнению с алгоритмами, реализующими другие подходы и методы.

Указанную практическую ценность подтверждают свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Полученные результаты (методики, алгоритмы расчёта и данные расчётов) используются при изучении дисциплин обучающимися факультета строительства и жилищно-коммунального хозяйства в рамках следующих образовательных программ высшего образования:

08.04.01 Строительство (Промышленное и гражданское строительство: проектирование): «Методы механики деформируемого твёрдого тела в расчётах строительных конструкций»;

08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений (Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений): «Теория расчета пластин и оболочек».

6. Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки

1. Разработанные алгоритмы редуцирования систем линейных алгебраических уравнений, получаемых при расчете пластин на статическое и динамическое воздействие на основе МКЭ в форме классического смешанного метода, существенно расширяют область его применения как альтернативы методу конечных элементов в перемещениях

2. Показана высокая точность и корректность предложенных алгоритмов редуцирования СЛАУ при расчете пластин с различными видами граничных условий на основе МКЭ в форме классического смешанного метода.

3. Алгоритмы, разработанные в ходе исследования, закладывают основу для создания новых программных инструментов и их интеграции в уже существующие системы, реализующие метод конечных элементов в форме классического смешанного метода.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты алгоритмы расчёта рекомендуется использовать при разработке программных инструментов для расчета пластин на статическое и динамическое воздействие.

Полученные в диссертации результаты также могут быть включены в курсы лекций для студентов и аспирантов строительных вузов.

8. Замечания

1. В описании алгоритма расчета плит на упругом основании с изменяющейся жесткостью на основе МКЭ в форме классического смешанного метода (стр. 77-79) в нумерации шагов пропущен пункт 6.

2. В этом же алгоритме на шаге 5 через Δ с различными индексами обозначаются перемещения. При этом в шаге 9, из формулы 3.2, описывающей условие выхода из алгоритма, следует, что Δ является безразмерной величиной. Автору следовало использовать другое обозначение, более того соотношение величин компенсирующих нагрузок на (j) -й и $(j+1)$ -й итерации следовало задать в процентах.

3. В диссертации указывается, что её целью является разработка и совершенствование редуccionных алгоритмов расчёта пластин при статических и динамических воздействиях на основе МКЭ в форме КСМ. Не лишним было бы, для лучшего восприятия работы этих алгоритмов, представить их в виде блок-схем.

Указанные замечания не снижают высокого уровня работы Завьялова Ивана Сергеевича и ее значимости в решении проблемы совершенствования численных методов расчета тонких пластин на прочность при статических и динамических воздействиях.

9. Заключение

Диссертация Завьялова Ивана Сергеевича на тему «Совершенствование редуccionных алгоритмов расчета пластин при статических и динамических воздействиях с помощью МКЭ в форме классического смешанного метода» является завершённой научно-квалификационной работой, характеризуется внутренним единством, содержательностью и достаточностью совокупных научных результатов, выносимых автором на публичную защиту, подтверждает личный вклад соискателя в решение проблемы развития МКЭ в форме классического смешанного метода.

Заявленная цель диссертации достигнута, поставленные задачи комплексно и успешно решены, основные научные положения, вследствие своей оригинальности и перспективности, в полном объеме могут использоваться для последующих научных исследований. Диссертация написана технически грамотным языком, материал изложен последовательно и соответствует следующему пункту паспорта специальности 2.1.9. Строительная механика: п. 4 (Численные и численно-аналитические методы расчета зданий, сооружений и их элементов на прочность, жесткость, устойчивость при статических, динамических, температурных нагрузках и других воздействиях).

Автореферат и научные публикации соискателя в должной мере раскрывают содержание диссертации. Считаем, что представленная к защите диссертационная работа Завьялова Ивана Сергеевича на тему «Совершенствование редуccionных алгоритмов расчета пластин при статических и динамических воздействиях с помощью МКЭ в форме классического смешанного метода» соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Автор, Завьялов Иван Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.

Отзыв на диссертационную работу Завьялова Ивана Сергеевича на тему «Совершенствование редуccionных алгоритмов расчета пластин при статических и динамических воздействиях с помощью МКЭ в форме

классического смешанного метода» рассмотрен и утвержден на заседании кафедры строительной механики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», протокол заседания № 09 от 13 марта 2025 г. Присутствовали: 23 человека. Результаты голосования: «за» – 23 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел.

Заведующий кафедрой строительной механики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» кандидат технических наук, доцент

Масленников Никита Александрович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Юридический адрес: 190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Фактический адрес: Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Телефон: +7 (812) 575-05-50.

Адрес электронной почты: rector@spbgasu.ru

Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <https://spbgasu.ru>

Учредитель образовательной организации: Министерство науки и высшего образования РФ.

21.04.2025

Сведения о ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Адрес: 190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

E-mail: rector@spbgasu.ru.

Телефон: +7 (812) 575-05-34.

Факс: +7 (812) 316-58-72.

Сведения о лице, подписавшем отзыв

Масленников Никита Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительной механики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Диссертация на соискание ученой степени кандидата наук «Реакция гражданских зданий на воздействие городского транспорта» защищена в 1990 году по специальности 2.1.9 Строительная механика.

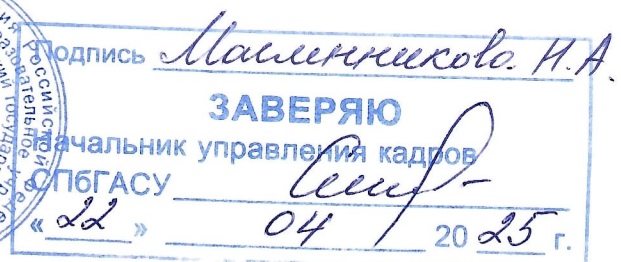
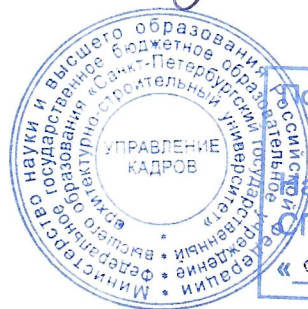
Адрес: 190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, каб. 322-С.

E-mail: maslennikov.n.a@lan.spbgasu.ru

Телефон: +7 (812) 575-05-50.

Согласен на включение персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Н.А. Масленников



« 08 » ЛИСТОВ	Вх. № 04-67 « 29 » 04 20 25 г. ВолгГТУ
------------------	--

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ)

2-я Красноармейская ул., 4, Санкт-Петербург, 190005
Тел: (812) 400-06-67 Факс: (812) 316-58-72; rector@spbgasu.ru; www.spbgasu.ru
ОКПО 02068580; ОГРН 1027810225310; ИНН / КПП 7809011023/783901001

19.03.2025 № 67-НД-09

На № _____ от _____

[О согласии выступить в качестве]
ведущей организации по диссертации

Председателю
диссертационного совета
24.2.282.05,
доктору технических наук,
профессору
Калашникову С.Ю.

Уважаемый Сергей Юрьевич!

В ответ на Ваше письмо от 06.03.2025 № 04-67-197ИАиС федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» выражает согласие выступить в качестве ведущей организации по диссертации Завьялова Ивана Сергеевича, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему: «Совершенствование редуцированных алгоритмов расчета пластин при статических и динамических воздействиях с помощью МКЭ в форме классического смешанного метода» по специальности 2.1.9. Строительная механика.

Необходимые сведения об СПбГАСУ как о ведущей организации представляем и выражаем согласие на размещение этих сведений и отзыва на официальном сайте ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет».

Приложение: Сведения о ведущей организации на 2 листах в 1 экз.

Проректор по научной деятельности



Е.В. Королев

Исп.: Егорова Е.Ю.
Тел.: (812) 316-53-11

Сведения о ведущей организации

по диссертации Завьялова Ивана Сергеевича на тему:
 «Совершенствование редуцированных алгоритмов расчета пластин при
 статических и динамических воздействиях с помощью МКЭ в форме
 классического смешанного метода» на соискание ученой степени кандидата
 технических наук по специальности по специальности
 2.1.9. Строительная механика

Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	ФГБОУ ВО «СПбГАСУ», СПбГАСУ, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Ведомственная принадлежность организации	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Место нахождения	Российская Федерация, Санкт-Петербург
Почтовый адрес	190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., дом 4
Телефон	8 (812) 575-05-34
Адрес электронной почты	rector@spbgasu.ru
Адрес официального сайта в сети «Интернет»	https://www.spbgasu.ru
Кафедра, осуществляющая подготовку отзыва	Кафедра строительной механики
Список основных публикаций работников ведущей организации в соответствующей отрасли науки в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет	1. Ostrovskaya, N.V., Rutman, Y.L. Methods for Determining the Key Parameters of Elastoplastic Seismic Isolators // Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures (WCSI 2023), Lecture Notes in Civil Engineering, Springer. 2024. Vol. 533. P. 39-56. 2. Кондаков Б.И., Островская Н.В., Рутман Ю.Л. Коэффициенты динамичности нагрузок от воздействия цунами на береговые сооружения // Морские интеллектуальные технологии. 2024. № 3 (65). Т. 2. С. 125–131. 3. Lukashevich, A., Lukashevich, N. Computational models of contact interaction and fracture using contact finite elements // AIP Conference Proceedings. 2023. Vol. 2812, Article № 020021. 4. Островская Н.В., Тетушкин С.С. Анализ основных подходов к математическому моделированию системы «сооружение–сейсмоизоляция» // Вестник гражданских инженеров. 2023. № 1(96). С. 33-45. 5. Карпов В.В., Бакусов П.А., Масленников А.М., Семёнов А.А. Математические модели деформирования оболочечных конструкций и алгоритмы их исследования. Часть 1. Модели деформирования оболочечных конструкций // Известия Саратовского университета. Новая серия: Математика,

	Механика. Информатика. 2023. Т.23. Вып.3. С.370-410. DOI: 10.18500/1816-9791-2023-23-3-370-410. EDN: YSOXDU. 6. Факири А., Рутман Ю.Л., Островская Н.В. Расчетно-теоретическая оценка эффективности кинематических опор Ю. Д. Черепинского с учетом их параметров // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 1 (90). С. 38-47. 7. Vladimir Karpov, Evgeny Kobelev, Aleksandr Maslennikov. Evaluating the applicability of bernoulli's hypothesis in beam analysis // Architecture and Engineering. 2022. Vol 7. №3. Pp. 37- 43. 8. Lukashevich, A. Finite Element Models Based on The Approximation of Discontinuous Stress Fields // Magazine of Civil Engineering. 2022. Vol. 2(110). Article № 11004. 9. Назаров А.А., Назарова Ш.Ш., Уздин А.М., Масленников А.М. Выбор шага при оцифровке акселерограмм // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2022. №1(56), С. 21- 24. 10. Сухотерин М.В., Масленников А.М., Распутина Е.И., Войтко И.В. Сравнительный анализ определения частот собственных колебаний прямоугольных панелей с защемлённо - свободными краями // Вестник гражданских инженеров. 2022. №2 (91). С.45-57. 11. Лукашевич А.А., Лукашевич Н.К., Островская Н.В. Моделирование и численное решение задачи с односторонними связями и трением при динамическом действии нагрузки // Наука и техника. 2021. №1(20). С. 16-25. 12. Лесных К.А., Никонов С.А., Островская Н.В. Особенности расчёта динамических задач с трением с помощью пакета «ADAMS» // Морские интеллектуальные технологии. 2021. № 2(52) Т. 3. С. 130–137. 13. Масленников А.М., Сухотерин М.В., Глухих В.Н., Кондратьева Л.Н., Мелешко В.А. Пластическая матрица жёсткости плоского стержневого макроэлемента для дискретно - аналитического расчёта прочности // Вестник гражданских инженеров. 2021. №6 (89). С.66-71 14. Lukashevich, A., Lukashevich, N., Kobelev, E. Finite Elements for Problems of the Elasticity Theory with the Discontinuous Stress Approximation // E3S Web of Conferences. Ser. "Topical Problems of Agriculture, Civil and Environmental Engineering, TRACEE 2020". 2020. Article № 02012. 15. Масленников А. М., Кобелев Е. А., Масленников Н.А. Решение задач устойчивости методом конечных элементов // Вестник гражданских инженеров. 2020. №2(79). С. 68-75.
--	--

Проректор по научной деятельности

Е.В. Королев



« 03 » ЛИСТОВ	Вх. № 04-67-30 « 27 » 03 2025 г. ВолгГТУ
------------------	--