

РЕШЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.282.05
в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении
высшего образования «Волгоградский государственный технический
университет» по результатам публичной защиты диссертации
Завьялова Ивана Сергеевича
«Совершенствование редукционных алгоритмов расчета пластин при
статических и динамических воздействиях с помощью МКЭ в форме
классического смешанного метода»

Выписка из протокола заседания совета № 03 от 03 июня 2025 г.

Присутствовали на заседании следующие члены диссертационного совета:

Калашников Сергей Юрьевич (председатель) — доктор технических наук, профессор (2.1.9., технические науки);

Пшеничкина Валерия Александровна (зам. председателя) — доктор технических наук, профессор (2.1.9., технические науки);

Корниенко Сергей Валерьевич (ученый секретарь) — доктор технических наук, доцент (2.1.3., технические науки);

Азаров Валерий Николаевич — доктор технических наук, профессор (2.1.3., технические науки);

Боровков Дмитрий Павлович — доктор технических наук, доцент (2.1.3., технические науки);

Бурлаченко Олег Васильевич — доктор технических наук, профессор (2.1.3., технические науки);

Игнатьев Александр Владимирович — доктор технических наук, доцент (2.1.9., технические науки);

Клочков Юрий Васильевич — доктор технических наук, профессор (2.1.9., технические науки);

Николаев Анатолий Петрович — доктор технических наук, профессор (2.1.9., технические науки);

Савкин Алексей Николаевич — доктор технических наук, профессор (2.1.9., технические науки);

Федянов Евгений Алексеевич — доктор технических наук, профессор (2.1.3., технические науки);

Харланов Владимир Леонтьевич — доктор технических наук, доцент (2.1.9., технические науки);

Языев Батыр Меретович — доктор технических наук, профессор (2.1.9., технические науки).

Повестка дня:

1. Защита диссертации Завьялова Ивана Сергеевича на тему: «Совершенствование редукционных 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 (технические науки).

1.1 СЛУШАЛИ: защиту диссертации Завьялова Ивана Сергеевича на тему: «Совершенствование редукционных 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 (технические науки).

Научный руководитель: Игнатьев Александр Владимирович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет»

Официальные оппоненты:

Тюкалов Юрий Яковлевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Строительные конструкции и машины» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Вятский государственный университет».

Джабраилов Арсен Шахнавазович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Высшая математика» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет»

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург.

ПОСТАНОВИЛИ:

1. На основании тайного голосования членов диссертационного совета по вопросу о присуждении ученой степени кандидата технических наук Завьялову Ивану Сергеевичу считать, что его диссертация соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положение о присуждении ученых степеней» и присудить Завьялову И.С. ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика (технические науки).

Присутствовали 13 членов диссертационного совета из 18 по списку.

Результаты голосования: "за" – 13, "воздержались" – нет, "против" – нет.

2. На основании результатов тайного голосования членов совета ("за" - 13, "воздержались" – нет, "против" – нет) утвердить протокол о результатах тайного голосования.

3. По результатам открытого голосования принять **Заключение диссертационного совета** в соответствии с п. 32 «Положение о присуждении ученых степеней», а также с п. 40 «Положение о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Результаты голосования: "за" – 13; "против" – нет, "воздержались" – нет.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.282.05,
созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический
университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.**

аттестационное дело № _____

**решение диссертационного совета от 03 июня 2025г. № 03
о присуждении Завьялову Ивану Сергеевичу, гражданину России, ученой степени
кандидата технических наук**

Диссертация «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 принята к защите 06 марта 2025 г. (протокол заседания № 02) диссертационным советом 24.2.282.05, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (400005, пр. им. В.И. Ленина, д. 28, г. Волгоград) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации; приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 91/нк от 26.01.2018 г. с частичными изменениями, приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 679/нк от 24.06.2022.

Соискатель Завьялов Иван Сергеевич, 13 мая 1997 года рождения, в 2020 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», присвоена квалификация инженер-строитель, а в 2024 году окончил очную аспирантуру в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский государственный технический университет». Диплом об окончании аспирантуры выдан 12 июля 2024 года тем же университетом 103424 0459262, рег. номер 38; работает ассистентом кафедры «Строительная механика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский

государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Строительная механика» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Игнатьев Александр Владимирович, профессор кафедры «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет»

Официальные оппоненты:

Тюкалов Юрий Яковлевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Строительные конструкции и машины» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Вятский государственный университет».

Джабраилов Арсен Шахнавазович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Высшая математика» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург, в своем положительном заключении, подписанном доцентом Масленниковым Никитой Александровичем, заведующим кафедрой «Строительная механика», кандидатом технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика, указали, что диссертация является завершенной 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. Диссертационная работа соответствует п.п. 9-14 «Положение о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Завьялов Иван Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика (технические науки).

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 12 работ: опубликованных в ведущих рецензируемых научных изданиях – 7, в соавторстве - 6 (общий объем 66 стр., авт. вклад – 29,7 стр.); в изданиях, входящих в международную базу Scopus – 2, в соавторстве - 2 (общий объем 21 стр., авт. вклад – 9 стр.); свидетельства о регистрации программ для ЭВМ – 3, в соавторстве – 3.

Наиболее значительные работы:

1. Завьялов, И.С. Расчет изгибаемых пластин, имеющих отверстия, с использованием полиномиальной интерполяции основных смешанных неизвестных [Текст] / А. В. Игнатьев, И. С. Завьялов, М. И. Бочков // Строительная механика и расчет сооружений. – 2024. – № 4(315). – С. 11-19. – DOI 10.37538/0039-2383.2024.4.11.19. – EDN UCLSLA.
2. Завьялов, И. С. Сравнительный анализ точности результатов расчета тонкой изгибаемой пластинки с использованием различных форм МКЭ [Текст] / И. С. Завьялов // Строительная механика и расчет сооружений. – 2022. – № 6(305). – С. 8-17. – DOI 10.37538/0039-2383.2022.6.8.17. – EDN SMHGLW.
3. Завьялов, И. С. Алгоритм расчета изгибаемой пластинки на основе МКЭ в форме классического смешанного метода с использованием прямоугольного КЭ с четырьмя основными неизвестными в углах [Текст] / В. А. Игнатьев, А. В. Игнатьев, И. С. Завьялов // Строительная механика и расчет сооружений. - 2021. - № 4 (297). - С. 12-16. DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.12.16

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: д-ра техн. наук, доц. Чепурненко А.С., проф. каф. «Строительная механика и теория сооружений» Донского государственного технического университета; д-ра техн. наук, проф. Ширунова Г.Н., проф. 7-й каф. управления строительством и эксплуатацией объектов военной инфраструктуры Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала А.В. Хрулева; д-ра техн. наук, доц. Литвинова С.В., доц. каф. «Строительная механика и теория сооружений» Донского государственного технического университета; канд. техн. наук, доц. Пайзулаева М.М., зав. каф. «Сопротивление материалов, теоретическая и строительная механика» Дагестанского государственного технического университета; канд. техн. наук, доц. Колесникова А.Г., зав. каф. уникальных зданий и сооружений Юго-Западного государственного университета; д-ра техн. наук, проф. Кима А.Ю., проф. каф. «Строительные материалы, конструкции и технологии» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.; д-ра техн. наук, доц. Филатова В.В., проф. каф. «Строительная и теоретическая механика», директора института цифровых технологий и моделирования в строительстве НИУ МГСУ; д-ра техн. наук, доц. Рыбакова В.А., доц. высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого; д-ра техн. наук, проф. Крысько В.А., зав. каф. «Математика и моделирование» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.; д-ра физико-математических наук, доц. Жигалова М.В., проф. каф. «Математика и моделирование» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.; д-ра физико-математических наук, проф. Крысько А.В., проф. каф. «Прикладная математика и системный анализ» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.; канд. техн. наук, проф. Себешева В.Г., проф. каф. «Строительная механика» Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). Все отзывы положительные.

Отмечаются следующие замечания: не очень удачен выбор в качестве тестового примера задачи расчета пластины с квадратным отверстием. В углах отверстия усилия будут стремиться к бесконечности при сгущении сетки; в рассмотренных примерах порядок СЛАУ составлял не более 1000 неизвестных. В дальнейшем рекомендуется протестировать стабильность и эффективность работы предложенных алгоритмов на СЛАУ порядка 10^5 - 10^6 ; не ясно, почему в частном алгоритме редуцирования №2 для установления связи между смешанными неизвестными во второстепенных и главных узлах выбран неполный бикубический полином; хотелось бы видеть больше графических данных, которые позволили бы более наглядно представить полученные результаты; на рис. 5 не указаны величины, отложенные на осях координат, что затрудняет интерпретацию данных; в третьей главе рассмотрен расчет плит на упругом основании. Приводится сравнение расчета, выполненного на основе МКЭ в форме КСМ, где указывается, что увеличение числа конечных элементов приводит к более точным результатам, однако это не всегда так. Желательно выполнить сравнение с аналитическим решением; в примере № 5 тестовой задачи стр. 17, табл. 8 не понятно, какой применен для вычисления метод шаговый или шагово-итерационный; пример № 6 тестовой задачи на стр. 19 для решения задачи указаны не все исходные данные; полученные результаты показаны в табличной форме, более наглядно было бы дать часть из них в виде графиков; во второй главе автореферата рассматриваются алгоритмы редуцирования систем уравнений МКЭ в форме КСМ с использованием интерполяции основных неизвестных для статического расчета пластин. Подробно описан эффективный и новый базовый алгоритм построения редуцированной системы уравнений, описывающей напряженно-деформированное состояние двумерной конструкции, который основан на интерполяции основных неизвестных смешанного метода в узлах конечно-элементной сетки с мелкими ячейками через значения тех же неизвестных в узлах конечно-элементной сетки с крупными, который эффективен в расчетах изгибаемых пластин при статических и динамических нагрузках, для чего в четвертой главе автореферата рассматривается модификация базового

алгоритма редуцирования систем конечно-элементных уравнений статического расчета двумерных конструкций; на рисунках в таблицах 3-6 для обозначения номеров узлов используется слишком мелкий шрифт, что делает текст практически неразборчивым. Это же замечание можно отнести и к рисунку 5, обозначения осей неразличимы; предложение на стр. 17 «Так как, согласно результатам статических испытаний грунтов сваями, функция, ...» плохо структурировано и звучит громоздко. Его можно разделить на два, с уточнением в первом из них, что функция описывает работу связей; полезным было бы объяснение высокой эффективности предложенных алгоритмов в сравнении с существующими, например, в связи с особыми свойствами матрицы коэффициентов разрешающих уравнений метода конечных элементов в форме классического смешанного метода; в примере 1 рассматривается пластинка загруженная равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью q и имеющей по контуру шарнирные опоры (стр.9), для которой имеется ставшее классическим точное решение этой задачи в двойных тригонометрических рядах А. Навье и в одинарных тригонометрических рядах М. Леви, на которые ссылаются все классики. Кроме того, имеется оригинальное и эффективное решение методом вариационных итераций – расширенным методом Канторовича, разработанное авторами этого отзыва. Было бы неплохо привести сравнения с данными подходами; в примере 2 рассмотрена задача изгиба жестко защемленной по контуру пластины под действием равномерно распределенной нагрузки, для которой имеется точное решение. Эти решения приведены в книге Л.В. Канторовича и В.И. Крылова «Приближенные методы высшего анализа», 1962 год. В этой же книге приведены решения этих же задач методами Канторовича и Бубнова-Галеркина. Для достоверности полученных автором результатов можно использовать эти проверенные методы; в работе не показано преимущества, изложенного авторами, по сравнению с известными подходами. Не указано, какими конечными элементами решаются задачи. От этого зависит точность получаемых результатов; задача для пластинки с отверстиями может быть решена с использованием функций Хэвисайда и вариационных методов и других методов,

результаты которых так же можно использовать для сравнения с полученными автором; не понятно почему задача на упругом основании моделируется с помощью идеи Винклера, а не идеи Винклера-Пастернака; известно, что в общем случае использования смешанного метода суммарное количество статических и кинематических основных неизвестных больше, чем в частных вариантах – методах сил и перемещений. При наличии определенных особенностей рассчитываемой системы смешанный метод может давать выигрыш в числе неизвестных. Отсутствует такая оценка применительно к рассматриваемым объектам – пластинам. Если это имеет место, то следовало бы определенно констатировать это преимущество; не ясно, применялась ли интерполяция только функции прогибов w (зависимостью (3)) или рассматривалась также возможность описания усилий (моментов) – это могло бы повысить эффективность редукции. Вызывает сомнение правомерность использования упоминаемой билинейной интерполяции прогибов, так как такая функция $w(x, y)$ не удовлетворяет уравнению Софи Жермен-Лагранжа и условиям плавности по границам КЭ; изображения силовых факторов и перемещений на рис. 3 символично не согласуются с содержащейся в комментариях к нему их текстовой расшифровкой, где, в частности, $M_x^{I,J}(x, y)$ и $M_y^{I,J}(x, y)$ – *изгибающие* моменты (погонные – в теории пластин и оболочек), в отличие от реакции R_{JI} дискретной связи. Однако в приводимых результатах расчета пластин размерность *изгибающих* моментов почему-то $[F] \times [L]$, без уточнений и оговорок, хотя, как погонные они должны иметь размерность $[F]$. Если же указанные моменты – *эквивалентные сосредоточенные узловые*, то это требовало разъяснения и иных обозначений – $M_x^{I,J}$ и $M_y^{I,J}$ (на рис. 3 – $M_x^i, M_y^i, \dots, M_x^j, M_y^j$ – в противоречие комментариям). Следует избегать таких методологических некорректностей.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается компетентностью обозначенных лиц в вопросах, связанных с численными методами расчета конструкций зданий и сооружений при статических, динамических и других воздействиях и способностью их определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: впервые разработан базовый алгоритм редуцирования систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), получаемых на основе МКЭ в форме классического смешанного метода (КСМ) при расчете пластин на статическое и динамическое воздействие, в основе которого лежит идея интерполяции основных неизвестных; впервые на основе МКЭ в форме КСМ предложен комплексный подход к расчету плит на упругом основании с изменяющейся жесткостью, сочетающий преимущества разработанных редукционных алгоритмов и метода компенсирующих нагрузок; доказана эффективность разработанных редукционных алгоритмов. Установлены количественные характеристики эффективности, заключающиеся в уменьшении порядка решаемой СЛАУ, приводящей к достоверному результату расчета; впервые в расчетную практику введены специализированные частные алгоритмы редуцирования СЛАУ на основе МКЭ в форме КСМ.

Теоретическая значимость исследования обусловлена тем, что: доказаны положения разработанных алгоритмов редуцирования СЛАУ на основе МКЭ в форме КСМ; применительно к проблематике диссертации результативно использован комплексный подход к расчету плит на упругом основании с изменяющейся жесткостью; изложены основные положения комбинированных алгоритмов 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; раскрыты особенности редуцирования частотных уравнений МКЭ в форме КСМ с последовательным использованием интерполяции основных неизвестных и конденсационных методов; изучено влияние выбора интерполяционного полинома, устанавливающего связь между значениями основных неизвестных в узлах крупной и мелкой конечно-элементных, сеток на результаты выполняемых расчетов; проведена модернизация алгоритмов МКЭ в форме КСМ при расчете пластин;

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: разработаны и внедрены: алгоритмы редуцирования СЛАУ на основе МКЭ в форме КСМ внедрены в учебный процесс курса строительной механики для студентов и магистрантов по направлению 08.04.01 «Строительство», 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»; определены перспективы создания новых расчетных программ, так и расширения уже существующих, реализующих МКЭ в форме КСМ; создан унифицированный алгоритм редуцирования СЛАУ на основе МКЭ в форме классического смешанного метода, являющийся общей платформой для специализированных частных алгоритмов расчета; представлены предложения по дальнейшему совершенствованию алгоритмов расчета плит на упругом основании с изменяющейся жесткостью, при динамическом расчете.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: для экспериментальных работ (вычислительных экспериментов) результаты численных экспериментов получены с использованием современного компьютерного оборудования и программных средств, разработанных в ВолгГТУ; теория построена на известных положениях МКЭ в форме классического смешанного метода и обеспечивается корректным использованием основных гипотез и допущений строительной механики, обоснованных численных методов решения СЛАУ; идея базируется на использовании интерполяционных полиномов для установления связи между значениями основных неизвестных, заданных в узлах крупной и мелкой конечно-элементных сеток; для оценки эффективности разработанных алгоритмов использованы результаты решения тестовых примеров, которые ранее решались другими исследователями на основе других подходов и методов; установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с данными результатов, представленных в независимых источниках по расчетам пластин на основе МКЭ; использованы современные ПЭВМ и пакет прикладных математических программ SciLab. Выполнялось сравнение результатов с результатами расчетов, полученными в ПК ЛИРА.

Личный вклад соискателя состоит в: разработке унифицированного алгоритма редуцирования СЛАУ, полученных на основе МКЭ в форме классического смешанного метода, который является базовой платформой для разработанных специализированных частных алгоритмов расчета пластин на статическое и динамическое воздействие; в разработке и применении комплексного подхода к расчету плит на упругом основании с изменяющейся жесткостью.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Завьялов И.С. ответил на задаваемые ему вопросы и привел собственную аргументацию, свидетельствующую о необходимости совершенствования редуцированных алгоритмов расчета пластин на основе метода конечных элементов в форме классического смешанного метода, как альтернативного ставшему классическим МКЭ в форме метода перемещений.

На заседании 03 июня 2025 г. диссертационный совет за решение научной задачи по развитию редуцированных алгоритмов расчета пластин на основе МКЭ в форме классического смешанного метода, имеющих значение для строительной механики, принял решение присудить Завьялову И.С. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **13** человек, из них **8** докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации 2.1.9. Строительная механика, представляемой на соискание ученой степени кандидата технических наук, участвовавших в заседании, из **18** человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - **13**, против – **нет**, недействительных бюллетеней – **нет**.

Председатель
диссертационного совета:



Калашников
Сергей Юрьевич

Ученый секретарь
диссертационного совета:

Корниенко
Сергей Валерьевич

03 июня 2025 г.