

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук, доцента **Джабраилова Арсена Шахнавазовича** на диссертационную работу **Завьялова Ивана Сергеевича** на тему «**Совершенствование редуционных алгоритмов расчета пластин при статических и динамических воздействиях с помощью МКЭ в форме классического смешанного метода**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика (технические науки)

Актуальность темы диссертационного исследования.

Диссертационное исследование Завьялова И. С. посвящено актуальной проблеме разработки алгоритмов редуцирования СЛАУ высокого порядка, получаемых при расчете пластин на статическое и динамическое воздействие с использованием МКЭ в форме классического смешанного метода. Актуальность данной темы обусловлена тенденцией к увеличению размерности расчётных моделей и необходимостью оптимизации вычислительных затрат.

Работа над этой темой неразрывно связана с исследованиями научного руководителя Завьялова И. С. — Игнатьева А. В. и основателя научной школы Игнатьева В. А., а также других их учеников.

В рамках научной школы уже был продемонстрирован потенциал применения метода конечных элементов в форме классического смешанного метода для решения различных задач строительной механики. Однако вопрос разработки и формализации алгоритмов редукиции для расчёта пластин при статических и динамических воздействиях, включая задачу расчёта плит на упругом основании с изменяющейся жёсткостью, ранее столь подробно не рассматривался.

В диссертации разработаны алгоритмы редуцирования СЛАУ, получаемой на основе МКЭ в форме КСМ. Обоснованы теоретически и продемонстрированы на тестовых задачах преимущества предлагаемых алгоритмов по сравнению с имеющимися алгоритмами расчета таких систем.

Также показаны возможности составления комбинированных алгоритмов расчета пластин. В частности, разработан алгоритм, сочетающий преимущества базового унифицированного алгоритма редуцирования на основе интерполяции и метода частотно-динамической конденсации.

Тема диссертационного исследования представляется весьма актуальной и востребованной, особенно в контексте разработки современных программных комплексов для расчета зданий и сооружений.

Цель и задачи работы.

Целью работы являлась 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.

Поставленная цель достигнута в результате решения следующих задач:

1. Разработка базового алгоритма редуцирования 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 редукции 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 редуцировании основных неизвестных и методе компенсирующих нагрузок.
4. Анализ эффективности разработанных алгоритмов по сравнению с алгоритмами, реализующими подходы и методы других исследователей.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна.

Анализ результатов применения алгоритмов к расчетным задачам, представленным в работе, показывает эффективность разработанных

алгоритмов. С одной стороны, в качестве численной характеристики эффективности принимается порядок решаемой СЛАУ, который, в сравнении с исходными расчетными схемами, оказывается меньшим. С другой стороны, предлагаемые соискателем алгоритмы показывают достаточно близкие численные значения вычисляемых параметров напряженно-деформированного состояния при сравнении с расчетами по нередуцированной расчетной схеме одного порядка.

Результаты диссертационной работы являются достоверными, это обеспечивается математической обоснованностью МКЭ в форме классического смешанного метода, совпадением количественных результатов, полученных при использовании разработанных алгоритмов, с данными исследований других авторов, результатами, полученными аналитическим путем. Основные положения диссертации опубликованы в 12 научных работах диссертанта.

Научная новизна диссертационной работы Завьялова И.С. заключается в следующем:

1. Разработан и впервые предложен базовый алгоритм редуцирования СЛАУ при расчете пластин на статическое и динамическое воздействие при помощи МКЭ в форме классического смешанного метода, в основе которого лежит идея интерполяции основных неизвестных.

2. Разработаны специализированные частные алгоритмы редуцирования СЛАУ на основе базового алгоритма редуцирования СЛАУ при помощи МКЭ в форме классического смешанного метода, в которых для интерполяции основных неизвестных используется билинейная интерполяция, или используется неполный бикубический полином.

3. Разработаны и впервые предложены 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. Разработан комплексный подход к расчету плит на упругом основании с изменяющейся жесткостью на основе МКЭ в форме классического смешанного метода, сочетающий преимущества разработанных редуцированных алгоритмов и метода компенсирующих нагрузок.

5. Доказана эффективность впервые разработанных редуцированных алгоритмов в расчетах изгибаемых пластин при статических и динамических нагрузках. Для ряда задач установлены количественные характеристики эффективности, заключающиеся в уменьшении порядка решаемой СЛАУ, приводящей к достоверному результату расчета.

Теоретическая и практическая значимость результатов, полученных автором диссертации.

Теоретическая значимость полученных автором результатов заключается в развитии теоретических основ МКЭ в форме классического смешанного метода посредством разработки новых алгоритмов редуцирования СЛАУ при расчете пластин на статическое и динамическое воздействие, в частности плит на упругом основании с изменяющейся жесткостью. Данные алгоритмы расширяют теоретические основы этой формы МКЭ.

На основе результатов исследования были разработаны программные модули, которые позволяют корректно определять напряженно-деформированное состояние пластин при различных видах граничных условий, а также вариантах воздействия.

Основные результаты диссертационной работы за период исследования обсуждались на различных семинарах, докладывались на международных и национальных конференциях, где получили одобрение ведущих ученых. К диссертации прилагается акт внедрения результатов работы в учебный процесс на кафедре «Строительная механика» Волгоградского государственного технического университета.

Степень завершенности и качество оформления диссертации.

Диссертационная работа является завершенной научно-квалификационной работой, подготовленной на достаточно высоком для

кандидатских диссертаций научном уровне.

Диссертация оформлена в соответствии с действующими требованиями, стиль изложения построен логически грамотно и позволяет провести на должном уровне экспертизу полученных автором результатов исследования. Основные положения диссертационной работы изложены на 164 страницах, состоят из введения, четырех глав, после каждой главы сформулированы выводы, заключения, списка литературы и 2 приложений. Список литературы содержит 142 источника. Заключение в полном объеме отражает полученные в ходе исследования результаты.

Достаточность и полнота публикаций по теме диссертации.

У автора имеется 12 научных публикаций по теме диссертационной работы. 7 из которых опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 статьи в журналах, проиндексированных в базах данных SCOPUS. Имеются 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Опубликованные материалы достаточно полно представляют содержание диссертации.

Личный вклад автора в разработку научной проблемы и в получение результатов.

Личный вклад автора заключается в: разработке базового алгоритма редуцирования СЛАУ, получаемой при расчете пластин на основе МКЭ в форме классического смешанного метода, выполняющего функцию общей платформы для разработанных специализированных частных алгоритмов решения задач статики и динамики. Специализированные частные алгоритмы, в свою очередь, отражают особенности применения различных видов интерполяционных полиномов для выражения связи между главными и второстепенными узлами. Разработке комплексного подхода к расчету плит на упругом основании с изменяющейся жесткостью, основанного на редуцировании получаемой системы уравнений МКЭ в форме КСМ и методе компенсирующих нагрузок.

Замечания по диссертационной работе:

1. В результате применения метода конечных элементов в смешанной форме формируются системы уравнений с несимметричными матрицами коэффициентов, которые могут быть плохо обусловленными. Это обстоятельство может потребовать использования специальных методов для их решения. Однако из текста диссертации неясно, какой именно метод был использован автором для решения редуцированных систем уравнений.

2. Не указано, какие конечные элементы были выбраны для верификации решения в ПК ЛИРА.

Заключение

Указанные замечания не являются принципиальными и не снижают значимости диссертационной работы. В целом работа выполнена на хорошем уровне, достаточном для кандидатской диссертации, она подтверждает высокую квалификацию соискателя и является самостоятельным законченным научным исследованием с актуальной темой, научной новизной и практической значимостью.

Диссертация и полученные результаты соответствуют специальности 2.1.9. Строительная механика (технические науки):

- 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.

Диссертация Завьялова И.С. отвечает требованиям пп. 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 кандидата технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.

Основные публикации официального оппонента, кандидата технических наук, доцента Джабраилова Арсена Шахнавазовича в рецензируемых научных журналах и изданиях:

1. Джабраилов, А.Ш. Вариативная параметризация эллипсоидальной тонкой оболочки с реализацией на основе МКЭ [Текст] / Ю. В. Клочков, А. П. Николаев, О. В. Вахнина [и др.] // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. – 2023. – Т. 165, № 1. – С. 49-67. – DOI 10.26907/2541-7746.2023.1.49-67. – EDN ZWMYMO.

2. Джабраилов, А.Ш. Учет смещения как твердого тела в алгоритме МКЭ при расчете оболочек вращения [Текст] / А. Ш. Джабраилов, А. П. Николаев, Ю. В. Клочков, Н. А. Гуреева // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. – 2023. – № 6. – С. 23-38. – DOI 10.31857/S0572329922600797. – EDN PSLZTK.

3. Dzhabrailov, A. Sh. Accounting for Displacement of the Shells of Revolution as a Solid in FEM Algorithm [Text] / A. Sh. Dzhabrailov, A. P. Nikolaev, Yu. V. Klochkov, N. A. Gureeva // Mechanics of Solids. – 2023. – Vol. 58, No. 6. – P. 1946-1959. – DOI 10.3103/S0025654423600058. – EDN HTYOIN.

4. Джабраилов, А.Ш. Конечно-элементный алгоритм расчета эллипсоидальной оболочки при учете смещения как жесткого целого [Текст] / А. Ш. Джабраилов, А. П. Николаев, Ю. В. Клочков [и др.] // Прикладная математика и механика. - 2022. - Т. 86. — №2. - С. 251-262. -DOI 10.31857/S0032823522020059.

5. Dzhabrailov, A. Sh. Finite element algorithm for implementing variants of physically nonlinear defining equations in the calculation of an ellipsoidal shell [Text] / A. Sh. Dzhabrailov, A. P. Nikolaev, Yu. V. Klochkov, N. A. Gureyeva // Materials Physics and Mechanics. - 2022. - Vol. 50. - No 2. - P. 319-330. - DOI 10.18149/MPM.5022022 11.

6. Джабраилов, А.Ш. Нелинейное деформирование осесимметрично нагруженной оболочки вращения на основе МКЭ при различных вариантах

определяющих уравнений [Текст] / Джабраилов А.Ш., Николаев А.П., Клочков Ю.В., Гуреева Н.А., Ищанов Т.Р. // Известия саратовского университета. Новая серия. Серия: математика. Механика. Информатика. - 2022 - Т.22 - №1 - с. 48-61 - DOI: 10.18500/1816-9791-2022-22-1-48-61.

7. Джабраилов, А.Ш. Конечно-элементный расчет эллиптического цилиндра в геометрически нелинейной постановке при использовании векторной формы интерполяционной процедуры [Текст] / Клочков Ю.В., Джабраилов А.Ш., Ищанов Т.Р., Марченко С.С., Андреев А.С., Клочков М.Ю. // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. - 2022. - №1 - с. 58-71 - DOI: 10.15593/perm.mech/2022.1.06.

8. Dzhabrailov, A. Sh. The use of thin-walled structures for the sustainable development of agro-industrial systems and facilities [Text] / Y. V. Klochkov, A. P. Nikolaev, T. R. Ishchanov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volgograd, 12–14 мая 2021 года. – Volgograd, 2022. – P. 012055. – DOI 10.1088/1755-1315/965/1/012055. – EDN XUFGWW.

9. Dzhabrailov, A. Sh. Strength calculation algorithm for shell structures based on a four-node discretization element [Text] / Y. V. Klochkov, T. R. Ishchanov, A. S. Dzhabrailov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, Novosibirsk, 12-14 мая 2021 года. - Novosibirsk, 2021.-P. 012035.-DOI 10.1088/1742-6596/2032/1/012035.

10. Джабраилов, А.Ш. Расчет эллиптической цилиндрической оболочки за пределами упругости на основе МКЭ при различных вариантах определяющих уравнений [Текст] / Джабраилов А.Ш., Николаев А.П., Клочков Ю.В., Гуреева Н.А., Ищанов Т.Р. // Проблемы машиностроения и надежности машин - 2020. - №6 - с. 69-81 - DOI: 10.31857/S0235711920060024.

11. Dzhabrailov, A. Sh. Nonlinear strength calculation of shell structure of arbitrary shape based on FEM [Text] / Klochkov Y.V., Nikolaev A.P., Dzhabrailov A.S. // Materials science forum - 2020. - Т. 974 - с. 681-686. - DOI: 10.4028Avwww.scientific.net/MSF.974.681.

Официальный оппонент,
кандидат технических наук,
по специальности 2.1.9. (05.23.17)
строительная механика, доцент,
доцент кафедры «Высшая математика»

Джабраилов
Арсен Шахнавазович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Волгоградский государственный аграрный
университет», кафедра «Высшая математика»

Почтовый адрес: 400002, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г.
Волгоград, пр. Университетский, д. 26.

Тел.: +7 (8442) 41-17-84

E-mail: volgau@volgau.com

Подпись А.Ш. Джабраилова заверяю
Ученый секретарь ФГБОУ ВО
Волгоградский ГАУ, д.т.н., профессор

В.С. Бочарников

«13» 03 2025 г.



« <u>09</u> » ЛИСТОВ	Вх. № <u>04-67-27</u> « <u>24</u> » <u>03</u> 20 <u>25</u> г. ВолгГТУ
-------------------------	---

Председателю
Диссертационного совета 24.2.282.05,
созданного на базе Волгоградского
государственного технического
университета,
доктору технических наук, профессору
Калашникову С.Ю.

Уважаемый Сергей Юрьевич!

Я, Джабраилов Арсен Шахнавазович, даю свое согласие выступить в качестве официального оппонента по диссертации Завьялова И.С. на тему «Совершенствование редуцированных алгоритмов расчета пластин при статических и динамических воздействиях с помощью МКЭ в форме классического смешанного метода», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика. Выражаю свое согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации.

Сведения об официальном оппоненте

Фамилия, имя, отчество	Джабраилов Арсен Шахнавазович
Ученая степень, наименование отрасли науки, научных специальностей, по которым защищена диссертация	Кандидат технических наук по специальности 2.1.9. (05.23.17) – Строительная механика
Ученое звание	доцент
Полное наименование организации, являющееся местом работы в момент предоставления отзыва, должность	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет» кафедра «Высшая математика», доцент
Список основных публикаций официального оппонента по теме диссертации в рецензируемых научных журналах и изданиях за последние 5 лет	
1. Джабраилов, А.Ш. Вариативная параметризация эллипсоидальной тонкой оболочки с реализацией на основе МКЭ [Текст] / Ю. В. Клочков, А. П. Николаев, О. В. Вахнина [и др.] // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. – 2023. – Т. 165, № 1. – С. 49-67. – DOI 10.26907/2541-7746.2023.1.49-67. – EDN ZWMYMO.	
2. Джабраилов, А.Ш. Учет смещения как твердого тела в алгоритме МКЭ при расчете оболочек вращения [Текст] / А. Ш. Джабраилов, А. П. Николаев, Ю. В. Клочков, Н. А. Гуреева // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. – 2023. – № 6. – С. 23-38. – DOI 10.31857/S0572329922600797. – EDN PSLZTK.	
3. Dzhabrailov, A. Sh. Accounting for Displacement of the Shells of Revolution as a Solid in FEM Algorithm [Text] / A. Sh. Dzhabrailov, A. P. Nikolaev, Yu. V. Klochkov, N. A. Gureeva // Mechanics of Solids. – 2023. – Vol. 58, No. 6. – P. 1946-1959. – DOI 10.3103/S0025654423600058. – EDN HTYOIN.	
4. Джабраилов, А.Ш. Конечно-элементный алгоритм расчета эллипсоидальной оболочки при учете смещения как жесткого целого [Текст] / А. Ш. Джабраилов, А. П. Николаев, Ю. В. Клочков [и др.] // Прикладная математика и механика. - 2022. - Т. 86. — №2. - С. 251-262. - DOI 10.31857/S0032823522020059.	

5. Dzhabrailov, A. Sh. Finite element algorithm for implementing variants of physically nonlinear defining equations in the calculation of an ellipsoidal shell [Text] / A. Sh. Dzhabrailov, A. P. Nikolaev, Yu. V. Klochkov, N. A. Gureyeva // Materials Physics and Mechanics. - 2022. - Vol. 50. - No 2. - P. 319-330. - DOI 10.18149/MPM.5022022 11.

6. Джабраилов, А.Ш. Нелинейное деформирование осесимметрично нагруженной оболочки вращения на основе МКЭ при различных вариантах определяющих уравнений [Текст] / Джабраилов А.Ш., Николаев А.П., Клочков Ю.В., Гуреева Н.А., Ищанов Т.Р. // Известия саратовского университета. Новая серия. Серия: математика. Механика. Информатика. - 2022 - Т.22 - №1 - с. 48-61 - DOI: 10.18500/1816-9791-2022-22-1-48-61.

7. Джабраилов, А.Ш. Конечно-элементный расчет эллиптического цилиндра в геометрически нелинейной постановке при использовании векторной формы интерполяционной процедуры [Текст] / Клочков Ю.В., Джабраилов А.Ш., Ищанов Т.Р., Марченко С.С., Андреев А.С., Клочков М.Ю. // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. - 2022. - №1 - с. 58-71 - DOI: 10.15593/perm.mech/2022.1.06.

8. Dzhabrailov, A. Sh. The use of thin-walled structures for the sustainable development of agro-industrial systems and facilities [Text] / Y. V. Klochkov, A. P. Nikolaev, T. R. Ishchanov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volgograd, 12–14 мая 2021 года. – Volgograd, 2022. – P. 012055. – DOI 10.1088/1755-1315/965/1/012055. – EDN XUFGWW.

9. Dzhabrailov, A. Sh. Strength calculation algorithm for shell structures based on a four-node discretization element [Text] / Y. V. Klochkov, T. R. Ishchanov, A. S. Dzhabrailov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, Novosibirsk, 12-14 мая 2021 года. - Novosibirsk, 2021.-P. 012035.-DOI 10.1088/1742-6596/2032/1/012035.

10. Джабраилов, А.Ш. Расчет эллиптической цилиндрической оболочки за пределами упругости на основе МКЭ при различных вариантах определяющих уравнений [Текст] / Джабраилов А.Ш., Николаев А.П., Клочков Ю.В., Гуреева Н.А., Ищанов Т.Р. // Проблемы машиностроения и надежности машин - 2020. - №6 - с. 69-81 - DOI: 10.31857/S0235711920060024.

11. Dzhabrailov, A. Sh. Nonlinear strength calculation of shell structure of arbitrary shape based on FEM [Text] / Klochkov Y.V., Nikolaev A.P., Dzhabrailov A.S. // Materials science forum - 2020. - T. 974 - с. 681-686. - DOI: 10.4028Avww.scientific.net/MSF.974.681.

Кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры «Высшая математика» ФГБОУ ВО
«Волгоградский государственный аграрный
университет»



А.Ш. Джабраилов

Подпись А.Ш. Джабраилова заверяю
Ученый секретарь ФГБОУ ВО «Волгоградский
Государственный аграрный университет»,
д.т.н., профессор



В.С. Бочарников

« 11 » 03 2025 г.

« 02 » ЛИСТОВ	Вх. № 04-67-26 « 18 » 03 2025 г. ВолгГТУ
------------------	--