

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента, кандидата технических наук,  
Бочкова Максима Ивановича  
на диссертационную работу Попова Александра Николаевича  
«Моделирование и решение задачи контакта с трением как линейной задачи  
дополнительности»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.1.9 — Строительная механика

### **Актуальность темы диссертации.**

Конструктивно-нелинейные задачи являются задачами, широко распространенными при реальном проектировании и требуют использования специализированных и трудоемких алгоритмов для своего решения. Про особенности решения задач одностороннего контакта говорится в работах таких ученых, как В.П. Аленин, А.А. Лукашевич, и других специалистов. Многие исследователи отмечают, что не существует единого подхода к решению конструктивно-нелинейных задач, а существующие подходы и алгоритмы требуют развития, не исключается так же и разработка альтернативных алгоритмов расчета. Один из таких альтернативных алгоритмов расчета разработан соискателем в своих исследованиях – алгоритм решения контактной задачи с трением в форме линейной задачи дополнительной (далее в тексте - ЛЗД).

Рассматриваемая диссертационная работа посвящена проблеме решения задач одностороннего контакта с трением, для задач с заранее неизвестными зонами контакта, зонами сцепления и скольжения между контактирующими телами. В работе предлагается новая постановка контакта с трением деформируемых тел в виде линейной задачи дополнительной и алгоритмы ее расчёта. Сложность решения подобных задач и отсутствие исследований, выполненных в данном направлении, указывает на актуальность работы, как в теоретическом, так и в практическом плане.

### **Общая характеристика работы.**

Представленная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Результаты исследований изложены на 114 страницах машинописного текста, включая 54 рисунка, 28 таблиц, список литературы из 161 наименования.

Работа структурирована и логически последовательна.

Во введении обоснована актуальность темы исследования; выполнен анализ степени её разработанности; обозначены предмет и объект исследования; сформулированы цели, задачи научного исследования и его новизна; приведены основные методы, реализованные в верифицированных программных комплексах; сформулирована научная новизна; обозначена теоретическая и практическая значимость работы; приводятся данные по апробации полученных результатов, а также о количестве публикаций по теме работы.

В первой главе приведен обзор исследований, посвященных расчету контактных задач, а также истории их развития. В подробном литературном разборе показано, что работы, посвященные постановкам задачи для контакта с трением деформируемых тел в виде линейной задачи дополнительности, отсутствуют. Особое внимание уделено современному состоянию проблемы и классификации существующих методов расчета.

Во второй главе описаны понятия контактной матрицы жёсткости и контактного грузового вектора, необходимые для формулировки задачи. Получена новая (эвристическая) постановка задачи одностороннего контакта с трением на основе метода перемещений строительной механики в виде ЛЗД без учёта и с учётом начальных зазоров.

В третьей главе показана работа метода Лемке для решения ЛЗД. На его основе разработаны алгоритмы решения поставленной задачи. Для вариантов получаемого решения на примерах описан и визуализирован каждый шаг работы разработанных алгоритмов. Для эффективного формирования контактных матриц предложен нуль-элемент для обеспечения дислокаций контактирующих тел. Для проведения расчётов написана программа, реализующая новый метод расчёта задач одностороннего контакта с трением.

В четвёртой главе приведено решение ряда задач, показывающее общую устойчивость работы новых алгоритмов. Для верификации разработанного метода приводятся решения аналитических задач идеального контакта и контакта с предельными силами трения. Показана сходимость получаемых численных результатов при сгущении сетки конечных элементов (приближение численного решения к аналитическому). Выявлены случаи, когда общепринятые методы решения контактных задач на основе вариационных постановок ограничены в получении результата и как назначенные пользовательские параметры влияют на расчёт. Для этих случаев показаны примеры задач и описаны преимущества авторского метода решения контактных задач.

Заключение содержит основные выводы по диссертационной работе, которые соответствуют поставленным задачам.

В приложениях представлены документы, подтверждающие внедрение результатов диссертационного исследования и информация по авторской программе ContactLCP.

Оценивая работу в целом, необходимо отметить, что она логически последовательна и написана в соответствующем научном стиле.

**Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций.**

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается корректной постановкой решаемых задач в рамках строительной механики и теории упругости. Применением верифицированных расчётных комплексов, совпадение результатов численных и аналитических решений, полученных разными методами.

**Научная новизна** заключается в разработке новых алгоритмов решения задач одностороннего контакта деформированных тел с учётом трения: алгоритма с искусственным обжатием и алгоритма с нарастающим параметром внешнего воздействия. Сформулирована новая постановка задачи контакта с трением в виде линейной задачи дополненности. Выполнена программная реализация и верификация разработанных алгоритмов решения контактных задач, сравнение с аналитическими и численными результатами решения

**Теоретическая значимость и практическая значимость работы.**

Теоретическая значимость работы заключается в развитии теории расчёта конструктивно-нелинейных задач. Сформулирована постановка и разработаны алгоритмы её решения. Дана оценка границ применимости алгоритмов. Показаны особенности и устойчивость работы нового метода.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности использовании предложенного метода для определения контактных усилий взаимодействия и взаимных перемещений в задачах одностороннего контакта деформируемых тел.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.**

Обоснованность полученных результатов обеспечивается строгостью применяемых методов, совпадением результатов, полученных аналитическим способом и разными численными методами.



## **Замечания и вопросы.**

- 1) В качестве цели диссертационного исследования обозначена разработка метода решения, позволяющего определить контактные усилия взаимодействия и взаимные перемещения в области контакта деформируемых тел. При этом в результатах, выносимых на защиту, равно как и в тексте диссертации фигурируют только разработанные алгоритмы решения, а не метод.
- 2) Во введении, в качестве недостатка существующих алгоритмов приведена вероятность заикливания итерационного процесса. При этом из диссертации не ясно, позволяет ли предлагаемый соискателем алгоритм устранить этот недостаток.
- 3) В главе 3 на странице 43 дана ссылка на блок-схему стандартного алгоритма решения контактной задачи с помощью метода Лемке, при этом на самом рисунке приведена блок-схема самого алгоритма Лемке, что не соответствует заявленной ссылке и словесному описанию алгоритма
- 4) В примере 4.5 приведены результаты расчета подпорной стенки, в качестве эталонного принято решение профессора А.А. Лукашевича. Согласен с основными выводами по примеру, однако, хотел бы услышать уточнение: с чем связан рост невязки решения в крайних сечениях фундамента подпорной стенки (рисунок 57)?
- 5) Также хотелось бы высказать замечание стилистического содержания: не совсем понятно оформление таблиц расчета методом Лемке в примерах главы 3. Таблицы имеют скорее технический вид, не лучше было бы в финальном тексте диссертации сократить количество информации в таблицах?

## **Соответствие автореферата основному содержанию диссертации.**

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы. Отражает основные результаты и выводы.

## **Заключение.**

Несмотря на замечания, Попов А.Н. проявил себя зрелым специалистом и показал хорошее понимание материала в областях решения задач одностороннего контакта. Диссертационное исследование является законченной научно-квалифицированной работой, выполненной на высоком уровне на актуальную тему, содержащей новые научные результаты.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 13 печатных работах, из которых 4 статьи в ведущих научных рецензируемых изданиях по специальности 2.1.9. Строительная механика. Получено свидетельство о государственной регистрации программы № 2022669000 «ContactLCP».

Диссертация Попова Александра Николаевича «Моделирование и решение задачи контакта с трением как линейной задачи дополненности» соответствует критериям, установленным в соответствии с п.9 «Положению о присуждении ученых степеней», утвержденного Правительством РФ от 24 сентября 2013 г., № 842, в действующей редакции, а ее автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.

Официальный оппонент,  
кандидат технических наук (специальность  
2.1.9 – Строительная механика), доцент  
кафедры «Строительная механика» ФГБОУ ВО  
«Волгоградский государственный технический  
университет»

(подпись)

М.И. Бочков

17.11.25  
(дата)

Тел.: + 7 904

E-mail: bochkovmi@vgasu.ru



Сведения об организации: ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный  
технический университет»,

почтовый адрес: 400005, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, д. 28

тел. +7 (8442) 24-81-15

E-mail: rector@vstu.ru