

ОТЗЫВ

**официального оппонента, доктора технических наук, профессора,
Потапова Александра Николаевича
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. Расчёт контактных усилий взаимодействия с учётом трения, когда заранее неизвестна зона контакта и предельные силы трения, является сложной математической и инженерной задачей, которая, несмотря на существенные открытия в этой области, до сих пор актуальна. Как правило, подобные задачи формулируются в виде вариационной постановки, что является наиболее распространённым подходом в современной механике деформируемого твёрдого тела. Методы решения этих задач используют регуляризацию, ведущую к появлению неточности в получаемом решении. С другой стороны, прямые условия одностороннего контакта естественным образом формируют условия дополнительности для задач одностороннего взаимодействия без трения.

Диссертационная работа Попова А.Н. посвящена постановке и решению задачи одностороннего контакта, когда необходимо учитывать трение. Для задач, когда рассматривается контакт между деформируемыми телами, решения и постановки задачи в общем виде нет. Поэтому требуется чёткое обоснование и верификация разрабатываемых методов. В диссертационной работе получен и протестирован новый метод решения контактных задач. Рецензируемая работа вносит значительный вклад в решение задач данного класса. В связи с этим рассматриваемая работа, актуальна в теоретическом плане и для практического применения.

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. Автореферат диссертации изложен на 22 страницах.

Во введении дана общая характеристика диссертационной работы. Обосновывается актуальность приведённых в диссертации научных исследований. Отмечена степень разработанности темы исследования, сформулированы цель и

задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы; отражены основные положения, выносимые на защиту; приводятся данные по апробации полученных результатов и информация о количестве публикаций по теме работы.

В первой главе диссертации приводится обзор литературы по развитию постановок и методов расчета контактных задач с трением. Анализируется развитие указанных постановок и современные подходы к их решению. На основании изложенного в первой главе показана актуальность и определены цель и задачи исследования.

Во второй главе диссертации показаны известные постановки задач идеального контакта и контакта с известными предельными силами трения в виде ЛЗД. В форме метода перемещений получена новая эвристическая постановка контактной задачи, когда прижимающие силы зависят от деформаций системы, т. е. зоны контакта и отрыва заранее неизвестны, а внутри зоны контакта неизвестны зоны сцепления и скольжения.

В третьей главе диссертации рассматриваются алгоритмы решения поставленной задачи. Показано использование нуль-элементов для обеспечения единичной дислокации точек деформируемых тел. Рассмотрена программная реализация на основе МКЭ. Показаны особенности решения задач модифицированным методом Лемке.

В четвёртой главе диссертации рассматривается численное решение модельных задач для верификации алгоритма, реализованного в программе соискателя. Проводится сравнение с аналитическими решениями и с решениями, полученными с использованием ПК ANSYS. Приводятся результаты моделирования сложного контактного взаимодействия на практических задачах водопропускной трубы и подпорной стенки с оценкой точности полученных решений.

Заключение содержит основные выводы по диссертационной работе, соответствующие поставленным задачам.

В приложениях представлены документы, подтверждающие внедрение результатов диссертационного исследования.

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

Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций. Достоверность результатов подтверждается использованием апробированных методов строительной механики, теории упругости, а также корректной постановкой решаемых задач. Совпадением

результатов аналитических и численных решений, полученными разными методами и соответствием полученных результатов результатам других авторов.

Научная новизна работы не вызывает вопросов. Автором получены новые важные для контактной строительной механики результаты:

- постановка конструктивно-нелинейной задачи одностороннего контакта с учётом трения сформулирована в виде линейной задачи дополненности. Новая постановка получена в аналитическом виде в смысле метода перемещений строительной механики.
- разработаны алгоритмы решения поставленной задачи, интерпретируемые как алгоритм с искусственно введённым обжатием и алгоритм с нарастающим параметром внешнего воздействия. Алгоритмы позволяют получить решение контактной задачи за конечное число шагов.
- выявлены особенности нового метода решения контактных задач с трением и проведена его верификация. Рассматривалось множество сложных задач для существующих и предложенного автором методов. Установлено, что новый метод решения позволяет получить точное (без учёта ошибок округления) решение за конечное число шагов.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии методов решения конструктивно-нелинейных задач. Получении алгоритмов расчёта контактных усилий взаимодействия и взаимных перемещений по нормали и касательной к заранее неизвестной зоне контакта для линейной задачи дополненности. Дана оценка точности получаемых результатов в сравнении с результатами, получаемыми известными программными комплексами.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования предложенной постановки задачи и алгоритмов для расчёта дискретизированных задач одностороннего контакта. В особенности, когда получение результатов затруднено при использовании известных вариационных постановок: присутствуют концентраторы напряжений, коэффициент трения больше 0,2.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Обоснованность полученных результатов обусловлена корректным использованием общепринятых методов строительной механики, в частности, теории метода перемещений; использованием верифицированных программных комплексов; соответствием полученных соискателем результатов и результатов решений известных аналитических задач.

Дополнительные соображения по работе. Важной положительной особенностью работы, на наш взгляд, является создание собственной компьютерной

программы на языке python, которая реализует метод расчёта разработанной соискателем.

Замечания:

1. В выводах по 4 главе говорится о том, что разработанные алгоритмы решения контактных задач на основе ЛЗД устойчивы к ошибкам округления. Однако это заключение основано на результатах анализа модельных задач. А как обстоят дела в более сложных задачах, связанных, напр., с расчетами водопропускной трубы (п. 4.4) и подпорной стенки (п. 4.5)? Об ошибках округления здесь ничего не говорится, они при реализации этих задач по ЛЗД не возникают?

2. Текст, относящийся к рис. 4 (дисс., С. 27), не согласован с данным рисунком. Очевидно под «введенной связью j » в основной системе МП понимается связь $i+1$, т.к. на рис. вместо R_{ji} показано усилие $R_{i+1,i}$.

3. Обзор источников по контактным задачам следовало бы дополнить ссылкой на автореферат кандидатской диссертации Скачёк П.Д.: «Напряженно-деформированное состояние на контактных площадках балочных элементов, частично опираемых на упругое основание» (Минск, 2023) на тему, посвященную решению контактных задач при взаимодействии плитно-балочных систем с упругим основанием.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации.

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

Заключение. Указанные замечания не влияют на общее положительное впечатление от проведенного исследования. Работа Попова А.Н. соответствует паспорту научной специальности 2.1.9 «Строительная механика» (п. 1–2, п. 4) и требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук.

Работа оформлена аккуратно, написана грамотно, материал излагается понятным и ясным языком. Работу характеризует строгое изложение математических результатов, их обоснованность и согласованность с выводами. Список цитированной литературы соответствует обозначенной проблеме. Диссертационное исследование представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научно-теоретическом уровне на актуальную тему, содержащую новые научные результаты.

Результаты научного исследования докладывались на научных конференциях всероссийского и международного уровней, а также материалы исследования опубликованы в изданиях различного уровня. Так, 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 об официальной регистрации программы № 2022669000 «ContactLCP».

Считаем, что диссертация на тему «Моделирование и решение задачи контакта с трением как линейной задачи дополненности» соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям в соответствии с Положением о присуждении ученых степеней, утвержденного Правительством РФ от 24 сентября 2013 г., № 842, в действующей редакции, а ее автор, Попов Александр Николаевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.

Официальный оппонент, член-корреспондент РААСН, доктор технических наук (специальность 05.23.17 – Строительная механика), профессор, профессор кафедры «Строительное производство и теория сооружений» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

А.Н. Потапов

Тел.: + 7 (351) :

E-mail: potapovan@susu.ru

Подпись Потапова Александра Николаевича заверяю

Начальник отдела кадров
12.11.2025

Начальник управления по работе
с кадрами Южно-Уральского
государственного университета



Сведения об организации: ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»,
почтовый адрес: 454080, г. Челябинск, просп. Ленина, д. 76
тел. +7 (351) 267-99-00
E-mail: info@susu.ru