

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 999.055.04

НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КОМСОМОЛЬСКИЙ-НА-АМУРЕ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ
МАШИНОВЕДЕНИЯ И МЕТАЛЛУРГИИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «АМУРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ФИЗИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 16 марта 2020 года № 1 _____

о присуждении Цюю Георгию Ильичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Модифицированные методы двойственности для решения вариационных и квазивариационных неравенств механики» по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 16 января 2020 г., протокол № 3, диссертационным советом Д 999.055.04 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, д. 27, приказ Минобрнауки России от 27 ноября 2015 г. № 1483/нк.

Соискатель Цой Георгий Ильич, 1992 года рождения, в 2014 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» по специальности «Прикладная математика и информатика». В 2019 году окончил очную аспирантуру при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Вычислительный центр Дальневосточного отделения Российской академии наук. Работает в штатной должности младшего научного сотрудника в лаборатории численных методов математической физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории численных методов математической физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор, Намм Роберт Викторович, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск.

Официальные оппоненты:

Илларионов Андрей Анатольевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского отделения Института прикладной математики Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск;

Стрекаловский Александр Сергеевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделением методов невыпуклой и комбинаторной оптимизации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток – в своём положительном заключении, подписанном Чеботаревым Александром Юрьевичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой информатики, математического и компьютерного моделирования Школы естественных наук ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» и утвержденном Сергиевичем Александром Александровичем, заместителем проректора – директором Департамента сопровождения научной деятельности ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», указала, что диссертация Цоя Г.И. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему. Полученные на основе проведенных исследований научные результаты имеют существенное значение для развития численных методов решения вариационных задач с ограничениями на искомое решение. Диссертационная работа соответствует специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Цой Георгий Ильич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ по теме диссертации, из них 3 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК, 6 – в изданиях, индексируемых Web of Science и Scopus. Автором получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ. Авторский вклад в подготовку работ состоит в участии в построении модифицированных методов двойственности для решения вариационных и квазивариационных неравенств

механики, в реализации алгоритмов и комплексов программ, проведении вычислительных экспериментов, а также анализе полученных результатов.

Наиболее значимые работы:

1. Намм, Р.В. Метод последовательных приближений для решения квазивариационного неравенства Синьорини / Р.В. Намм, Г.И. Цой // Известия вузов. Математика. – 2017. – № 1. – С. 44-52.

2. Намм, Р.В. Модифицированная схема двойственности для решения упругой задачи с трещиной / Р.В. Намм, Г.И. Цой // Сибирский журнал вычислительной математики. – 2017. – Т. 20, № 1. – С. 47 – 58.

3. Намм, Р.В. Решение контактной задачи теории упругости с жестким включением / Р.В. Намм, Г.И. Цой // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2019. – Т. 59, № 4. – С. 165 – 172.

4. Namm, R. Solution of the Contact Elasticity Problem Based on an Iterative Proximal Regularization Method for Modified Lagrangian Functional / R. Namm, G. Tsoy // CEUR Workshop Proceedings. – 2016. – Vol. 1623. – P. 242 – 252.

5. Namm, R. V. A Modified Duality Method for Solving an Elasticity Problem with a Crack Extending to the Outer Boundary / R. V. Namm, G. I. Tsoy, E. M. Vikhtenko // Communications in Computer and Information Science. – 2019. – Vol. 974. – P. 35–48.

6. Namm, R. Modified Lagrange Functional for Solving Elastic Problem with a Crack in Continuum Mechanics / R. Namm, G. Tsoy, G. Woo // Communications of the Korean Mathematical Society. – 2019. – Vol. 34, no. 4. – P. 1353 – 1364.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все положительные, указывается основное отражение замечаний):

Отзыв на диссертацию ведущей организации ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» имеет основные замечания:

1. Досадным недостатком работы является некоторая путаница разделов в самом ее начале. Так получилось, что “ВВЕДЕНИЕ” (стр. 4-10) в ней предшествует разделу “СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ” (стр. 11-12), в котором это “ВВЕДЕНИЕ” обещано! Сам раздел “СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ” отсутствует в “Оглавлении” диссертации и непонятно откуда он и зачем. Само “ВВЕДЕНИЕ” фактически повторяет начало автореферата, что совершенно не нужно. В результате работа осталась на самом деле без научного введения, где должны быть приведены основные элементы таксономии и теории вариационных неравенств, ключевые результаты по существованию (и единственности, если было бы такое желание) решений. В этой области весьма большое разнообразие типов вариационных неравенств и для читателя это было бы весьма полезно. По факту работа начинается с места в карьер и разглядеть на стр. 15 некое неравенство и убедиться в том, что оно действительно “квази” не так легко, для того, кто не занимается ими каждый день.

2. Подход, основанный на модифицированных функциях Лагранжа и их проксимально регуляризацией выглядит весьма привлекательным и эффективным с теоретической точки зрения, поэтому экспериментальная проверка этого направления весьма своевременная и интересна. Однако она должна быть проведена достаточно самокритично и в этой связи эффективные

результаты о сходимости за пару десятков итераций в задаче с многими сотнями (и тысячами) переменных должны быть внимательно проанализированы. Некоторое подозрение вызывает тот факт, что условием останова вычислений во всех тестах служит малость изменений прямых переменных или двойственных переменных. На самом деле это не гарантирует малость отклонений от решения, например, по функционалу или по выполнению условий оптимальности (если речь идет об оптимизационных задачах).

3. В работе слишком много внимания уделяется графическим иллюстрациям решений, считая их доказательствами качества решений (дань древнегреческой традиции?). Однако все же в духе всеобщей цифровизации можно было бы провести и более детальный численный анализ, например, решений двойственных переменных (Рис. 2.6б, стр. 53), которые как-то негладко переходят в нуль в точке смыкания трещины. На стр. 35 походя упоминается, что для линейных трещин вопрос гладкости решений исследован полностью. Если так, то эти результаты можно было бы применить к этой задаче для верификации решения.

4. Некоторые мелочи: стр. 48 – не “Не таким образом”, а “Тогда”, стр. 65 не “не эффективно”, а “неэффективно”, стр. 77 – что это за “норма <бесконечность>”, а какие это “ближайшие решения”?. В ссылке [108] нет страниц. Пожалуй не стоило также тратить 2 страницы (47-48) на обсуждение и рисунки, посвященные элементарным фактам, относящимся к барицентрическим координатам точек внутри треугольника.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Илларионова А. А. имеет основные замечания:

1. Существование решения квазивариационного неравенства можно доказать только при малых коэффициентах трения и обоснование существования решения существенно опирается на слабую форму теоремы Шаудера о неподвижной точке. Однако в диссертации используется только алгоритм поиска неподвижной точки без обсуждения самой теоремы.

2. В пункте 1.5 рассматривается модифицированный функционал Лагранжа с двумя множителями, позволяющий сгладить недифференцируемое слагаемое целевого функционала задачи. Однако обоснование сглаживания дано слишком кратко и требует более детального описания.

3. В работе имеется ряд орфографических ошибок, например, на стр. 76 в слове «пооординатного».

4. Работа содержит одно приложение, содержащее исходный код программы, а не два, как указано во введении.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Стрекаловского А. С. имеет основные замечания:

1. Во введении (стр. 10) указано, что диссертация содержит два приложения, в то время как нам удалось обнаружить лишь одно (Приложение А, Программный код).

2. Итеративный метод решения квазивариационного неравенства (1.3), предложенный в [5,39] Главачеком И. и др. (1986), а также Kuguchi N. соответственно, и заключающийся в последовательном решении вариационного

неравенства (1.5) (или эквивалентной задачи минимизации (1.6)), нуждается, на наш взгляд, в дополнительном исследовании, поскольку сходимость его не доказана.

Отметим, что указанные выше публикации достаточно давние, а статья [116] от 2009 г., почему-то не использована.

К тому же, для вариационных неравенств есть возможность использования и других подходов и методов из очень известных монографий:

I. Коннов И.В. Нелинейная оптимизация и вариационные неравенства. Казань, Казанский университет, 2013. 508 с.

II. Facchinei F., Pang J.-S. Finite-Dimensional Variational Inequalities and Complementary Problems. Volumes I, II. –Springer-Verlag, New York, 2003.

Интересно было бы сравнить разные подходы и методы (для которых сходимость доказана) с используемым в диссертации Цоя Г.И.

3. В целом хотелось бы отметить ненужную краткость изложения весьма интересного материала работы. Например, не объяснена идеология появления модифицированного функционала $M(v, l)$ вместо $L(v, l)$, в частности, штрафной функции вида

$$\frac{1}{2} \int_{\Gamma_2} \left\{ \left[(l + rv_n)^+ \right]^2 - l^2 \right\} d\Gamma$$

вместо $\int_{\Gamma_2} lv_n d\Gamma$.

К тому же, не объяснена уже вторая регуляризация функционала $J(v)$ в (1.8), а затем и третья регуляризация, проведенная сначала в (1.11), а затем в формулах для $M(v, w, l_1, l_2)$ и $F(v_r)$. Не уводит ли эта тройная регуляризация далеко от исходной краевой задачи (1.1)-(1.2) и VI (1.3)?

4. В работе проведен довольно обширный вычислительный эксперимент, демонстрирующий эффективность разработанного подхода и методов. Тем не менее, анализ большой вычислительной работы, представленный в диссертации явно недостаточен и временами не доказателен.

5. Из замечания 3 видно, что для ясности изложения в математическом тексте крайне необходимы пояснения на хорошем русском языке с сохранением математической строгости. В тексте работы можно обнаружить некоторые «бессмыслицы». Например, на стр. 22 (определение задачи, заменяющей (1.8)) формула (1.15) не является задачей оптимизации – это определение элемента u^{m+1} как решения соответствующей задачи. Второй пример на стр. 27 после (1.22) «Аппроксимируем» (чего и чем?) и дальше формула!

Далее я бы посоветовал соискателю не использовать выражения “Легко видеть”. Может быть “Нетрудно показать”? К тому же слова “сперва” я ни разу не встречал в математических текстах, а в диссертации Г.И. Цоя видел довольно часто.

6. Глава III диссертации выглядит очень краткой, в то время как задача, рассмотренная в ней, едва ли не самая интересная в работе. Более подробного изложения заслуживают все этапы исследования от сведения к

последовательности задач с трещиной, до вычислительного эксперимента, анализ совершенно недостаточен в то время как результаты очень неплохи.

7. Для решения задачи конечномерной оптимизации в работе используются лишь методы покоординатного спуска, Ньютона и градиентные, в то время как известно, что эти методы страдают определенными недостатками. В то время более современные методы математического программирования и пакеты прикладных программ (CPLEX, OptPRESS, Gurobi) не применяются. Возможно, что это бы повлияло на результаты вычислительного эксперимента.

8. В работе можно обнаружить определенное количество опечаток (см. стр. 39, формула (2.6), стр. 71, 10я строка снизу, стр. 76, формула (3.5), стр. 21, стоит точка).

Отзыв на автореферат Максимовой Надежды Николаевны, кандидата физико-математических наук, заведующей кафедрой математического анализа и моделирования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Амурский государственный университет» содержит следующие замечания:

1. На стр. 9 при формулировке условия разрешимости задачи (4), очевидно, допущена опечатка: вместо условия $\int_{\Omega} f_1 d\Omega + \int_{\Gamma_1} p_1 d\Gamma_1 > 0$ следует писать

$\int_{\Omega} f d\Omega + \int_{\Gamma_1} p d\Gamma_1 > 0$, потому что ранее не давалось понятие функций f_1 и p_1 .

2. На стр. 12-13 для приведенного вычислительного эксперимента:

- не определена геометрия области, в которой решалась задача;
- не указаны критерии останова итерационных процессов;
- нет пояснений, что представляет собой итерационный процесс по переменной t .

Аналогичные замечания имеют место и для вычислительных примеров на стр.16-17 и на стр. 20-21. По-видимому, все эти вопросы более детально прописаны в тексте диссертации.

Отзыв на автореферат Вихтенко Эллины Михайловны, кандидата физико-математических наук, доцента кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тихоокеанский государственный университет» содержит замечание:

1. В качестве замечания можно отметить несогласованность обозначений прямых и двойственных переменных при описании методов и результатов экспериментов. Например, во второй главе (стр. 15-17 автореферат) в алгоритме Удзавы (12)-(13) прямая переменная обозначена u^k , двойственная - l^k , а в таблице 2 использованы обозначения t и α .

Отзыв на автореферат Лавлинского Сергея Михайловича, доктора технических наук, ведущего научного сотрудника Федерального государственного учреждения науки Института математики им. С. Л. Соболева

Сибирского отделения Российской академии наук содержит следующее замечание:

1. В работе только упоминается о возможности использовать предлагаемый подход не только для математиков-механиков, но и для экономистов в задачах исследования операций и при изучении равновесных моделей экономики. Здесь следовало бы более подробно осветить эту проблему – работа только бы выиграла, если бы, наряду с вариационными неравенствами механики, были бы рассмотрены и вариационные неравенства, возникающие в экономических приложениях.

Отзыв на автореферат **Жадана Виталия Григорьевича**, доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника Федерального государственного учреждения науки Вычислительного центра им А.А. Дородницына РАН - обособленное подразделение ФИЦ «Информатика и управление» РАН, г. Москва. Не содержит замечаний.

Отзыв на автореферат **Садовского Владимира Михайловича**, доктора физико-математических наук, профессора, директора Федерального государственного учреждения науки Института вычислительного моделирования СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ «Красноярский научный центр» СО РАН, заведующего отделом Вычислительной механики деформируемых сред ИВМ СО РАН, г. Красноярск. Замечаний не содержит.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются компетентными специалистами в исследуемой области, а ведущая организация широко известна достижениями работающих в ней специалистов в области науки, соответствующей тематике диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан новый устойчивый метод поиска седловых точек в вспомогательных задачах, возникающих в методе последовательных приближений, для решения квазивариационного неравенства Синьорини;

предложен метод решения задачи о равновесии упругого тела с отслоившимся объёмным жёстким включением, позволяющий рассматривать данную задачу как предельную для семейства задач о равновесии упругих тел с трещиной;

доказана применимость модифицированной схемы двойственности для решения упругой задачи с трещиной, доказано основное соотношение двойственности, приведено сравнение классических и модифицированных схем;

проведены численные эксперименты для решения вариационных и квазивариационных неравенств механики, подтверждающие эффективность модифицированных методов двойственности.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

изложены модифицированные методы двойственности для решения вариационных неравенств механики с нелинейной зависимостью функционала Лагранжа от двойственных переменных;

применительно к проблематике диссертации эффективно использованы методы выпуклой оптимизации и метод конечных элементов для численного решения вариационных и квазивариационных неравенств механики;

изучены дифференциальные свойства модифицированного двойственного функционала, предложен градиентный метод решения двойственной задачи.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

созданы алгоритмы и программное обеспечение с применением технологий высокопроизводительных вычислений на графических ускорителях для численного решения практически значимых задач механики с односторонними ограничениями;

представлены новые методы двойственности, позволяющие эффективно решать задачи механики с трещинами, с нелинейными условиями непроникания берегов трещины друг в друга.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на использовании современных методов функционального и выпуклого анализа, теории пространств С. Л. Соболева, вариационных принципов механики сплошных сред, методов вычислительной математики и математического программирования;

установлено соответствие полученных результатов численного решения задач с расчетами, полученными другими исследователями.

Личный вклад соискателя состоит в участии в разработке и обосновании модифицированных методов двойственности для решения вариационных и квазивариационных неравенств механики, в реализации алгоритмов и комплексов программ; подготовке публикаций и докладов на конференциях по теме диссертации. Выполнение численных экспериментов, анализ полученных результатов выполнены автором лично.

Заключение:

Диссертация представляет собой самостоятельно законченную научно-квалификационную работу и отвечает требованиям, установленным пунктом 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и соответствует паспорту специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ по пунктам – П. 2, П. 3, П. 4, П. 5.

На заседании 16 марта 2020 г. диссертационный совет Д 999.055.04 принял решение присудить Цюю Георгию Ильичу учёную степень кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ за разработку уточнённых методов двойственности, основанных на использовании модифицированных функционалов Лагранжа, алгоритмов и программного обеспечения с применением технологии высокопроизводительных вычислений для численного решения практических задач механики с односторонними ограничениями. При проведении тайного голосования диссертационный совет в

количестве 16 человек, из них 11 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 16, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Зам. председателя
диссертационного совета
Д 999.055.04,
д.ф.-м.н., профессор,
член-корр. РАН



Буренин Анатолий Александрович

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 999.055.04,
к.ф.-м.н., доцент

Егорова Юлия Георгиевна

16 марта 2020 года