

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.392.08,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 06 февраля 2024 г. № 1

О присуждении **Сафрончик Марии Ильиничне**, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Математическое моделирование нестационарного течения «запаздывающих» вязкопластических сред бингамовского типа с учетом эффекта «пристенного скольжения» на базе реологической модели Слибара – Паслая»** по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите «25» сентября 2023 года (протокол заседания № 10), диссертационным советом 24.2.392.08 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» Министерства науки и высшего образования РФ, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83, приказ Минобрнауки России о создании диссертационного совета № 1204/НК от «12» октября 2022 г.

Соискатель Сафрончик Мария Ильинична, 25 мая 1979 года рождения, в 2001 году окончила Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского по специальности «Прикладная математика» с присвоением квалификации «математик» и получила диплом ДВС 14122542, регистрационный номер 97 от 20 июля 2021 года. В 2018 году поступила в аспирантуру СГУ и в 2022 году закончила аспирантуру по направлению 09.06.01 – «Информатика и вычислительная техника», направленность «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Справка о сданных кандидатских экзаменах № 51-2023 выдана 26 июня 2023 года федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского». В настоящий момент работает в должности старшего преподавателя кафедры математической кибернетики и компьютерных наук Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского.

Диссертация выполнена на кафедре математической кибернетики и компьютерных наук факультета компьютерных наук и информационных технологий федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Андрейченко Дмитрий Константинович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», кафедра математического обеспечения вычислительных комплексов и информационных систем на базе филиала ООО «Эпам Систэмз», заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Жигалов Максим Викторович, доктор физико-математических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», кафедра «Математика и моделирование», профессор;

Сычев Вячеслав Петрович, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта», кафедра «Транспортное строительство», профессор.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Саратовский научный центр Российской академии наук», г. Саратов, в своем положительном отзыве, подписанном Челноковым Юрием Николаевичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим лабораторией механики, навигации и управления движением и Ольшанским Владимиром Юрьевичем, доктором физико-математических наук, профессором, главным научным сотрудником, указала, что диссертация Сафрончик Марии Ильиничны «Математическое моделирование нестационарного течения «запаздывающих» вязкопластических сред бингамовского типа с учетом эффекта «пристенного скольжения» на базе реологической модели Слибара – Паслая» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, включающей построение математических моделей и компьютерное моделирование неустановившихся течений вязкопластических жидкостей, а также развитие методов численного анализа для начально-краевых задач типа Стефана с подвижной границей, и имеющей существенное значение для математического моделирования многофазных нестационарных течений вязкопластических сред. Диссертация соответствует паспорту специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Она выполнена самостоятельно на высоком научном уровне и является законченной научно-квалификационной работой. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Автореферат и опубликованные работы соответствует основному содержанию диссертации. Диссертационная работа Сафрончик Марии Ильиничны «Математическое моделирование нестационарного течения «запаздывающих» вязкопластических сред бингамовского типа с учетом эффекта «пристенного

скольжения» на базе реологической модели Слибара – Паслая» отвечает требованиям п.п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Правительством Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Автор диссертационной работы Сафрончик Мария Ильинична заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Соискатель имеет 13 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 13 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы в периодических научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России (две категория К2 и одна категория К1). Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Основные результаты диссертации изложены в следующих публикациях в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ:

1. Сафрончик, М.И. Торможение пластины о слой «запаздывающей» вязкопластичной среды с учетом пристенного скольжения / М.И. Сафрончик // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2009. – Т.9. – № 2. – С. 88-93.

2. Андрейченко, Д.К. Моделирование этапа развития течения вязкопластичной среды по наклонной плоскости / Д.К. Андрейченко, М.И. Сафрончик // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2021. – № 9. – С. 31-36.

3. Сафрончик, М.И. Моделирование неустановившегося «запаздывающего» течения вязкопластичной жидкости по наклонной плоскости с учетом эффекта пристенного скольжения / М.И. Сафрончик, Д.К. Андрейченко // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. – 2022. – №10. С. 123-131.

В научных работах соискателя выполнена постановка задач моделирования неустановившихся многофазных течений вязкопластических сред и предложен метод численного интегрирования соответствующих задач типа Стефана с подвижной границей, а также метод корректной постановки задач развития течений на основе асимптотического интегрирования в малой окрестности особой точки. Публикации соискателя достаточно полно отражают полученные в диссертации результаты. Все основные результаты диссертации получены соискателем самостоятельно. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Медведского Александра Леонидовича, доктора физико-математических наук, доцента, первого заместителя генерального директора федерального автономного учреждения «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского», отзыв положительный;

2. Моисеевой Светланы Петровны, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры теории вероятностей и математической статистики федерального государственного автономного образовательного

учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», отзыв положительный;

3. Купцова Павла Владимировича, доктора физико-математических наук, доцента, профессора кафедры «Приборостроение» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», отзыв положительный;

4. Вельмисова Петра Александровича, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры «Высшая математика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный технический университет», отзыв положительный;

5. Калихмана Дмитрия Михайловича, доктора технических наук, профессора, начальника научно-исследовательской лаборатории филиала Акционерного общества «Научно-производственный центр автоматизации и приборостроения имени академика Н.А. Пилюгина» – «Производственное объединение «Корпус», отзыв положительный.

В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания: 1) не представлена детальная информация о реализации алгоритмов численного моделирования для задачи о неустановившемся течении вязкопластической жидкости в трубе кругового сечения; 2) неясно, как вводить в модель исходные данные (коэффициент вязкого трения и т.д.), которые необходимо предварительно измерить, непосредственно на предприятиях по изготовлению цементного раствора, стекла, пластмасс, пищевых продуктов и т.д.; 3) в качестве базисных функций проекционного метода Галеркина использовались лишь ортогональные полиномы Чебышева 1-го рода; 4) не приведены начальные условия для систем обыкновенных дифференциальных уравнений, полученных в результате дискретизации по независимой пространственной переменной соответствующих начально-краевых задач; 5) не указано, какие методы численного интегрирования применялись к данным задачам Коши.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой квалификацией и наличием публикаций в признанных научным сообществом журналах в области математического моделирования динамики упругих и вязкопластических сред, а также отсутствием совместных печатных работ с соискателем, что позволяет объективно определить и оценить научную и практическую значимость диссертационной работы. Ведущая организация является одной из ведущих научных организаций Российской Федерации, большим количеством публикаций сотрудников, близких к теме диссертационной работы. Официальные оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем. Ведущая организация не имеет договорных отношений с соискателем. Выбор официальных оппонентов и ведущей организации удовлетворяет критериям, сформулированным в пп. 22 и 24 действующего «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая математическая модель неустановившихся многофазных течений вязкопластических сред на основе модели Слибара – Паслая, отличающаяся от известных аналогов учетом гистерезиса деформаций и возможным «проскальзывания» среды вдоль твердой стенки;

предложены нетрадиционный подход алгоритмов численного анализа начально-краевых задач типа Стефана с подвижной границей для компьютерного моделирования нестационарных многофазных течений вязкопластических сред;

доказана перспективность использования разработанных математических моделей и предложенных методов компьютерного моделирования;

введены новые численные методы решения начально-краевых задач развития течений в начальные моменты времени на основе асимптотического интегрирования в малой окрестности особой точки.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны возможность и эффективность построения приближенных решений задач моделирования нестационарных многофазных течений вязкопластических сред на основе предложенного численного метода, вносящие вклад в расширение представлений об изучаемом явлении, что подтверждается сравнением с найденными автомодельными решениями. Результаты использованы при выполнении гранта РФФИ «Математические модели и компьютерное моделирование течений вязкопластических жидкостей» (проект РФФИ 20-31-90040);

применительно к проблематике диссертации результативно использованы базовые методы исследования в механике вязкопластических сред, такие, как реологическая модель вязкопластических сред Слибара – Паслая; вычислительная схема проекционного метода Галеркина; методы численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений; методы асимптотического интегрирования начально-краевых задач; методы построения автомодельных решений уравнений математической физики; свободно распространяемые библиотеки численного анализа и поддержки высокопроизводительных вычислений (BLAS/LAPACK, ODEPACK и т.д.);

изложены основные условия и допущения математического моделирования основных этапов неустановившихся многофазных течений вязкопластических сред на основе реологической гипотезы Слибара – Паслая, математические модели которых представляются в форме начально-краевых задач Стефана с подвижной границей;

раскрыто существенное проявление влияния гистерезиса деформаций и «проскальзывания» среды вдоль твердой стенки на параметры течения. Исследование совместного влияния гистерезиса деформаций и проскальзывания вдоль твердой стенки на характеристики течения ранее другими авторами не проводилось;

изучены факторы движения границы раздела фаз, что дает возможность

выявление причинно-следственных связей для более точного предсказания динамики поведения вязкопластической среды в различных фазах течения;

проведена модернизация математических моделей неустановившихся многофазных течений вязкопластических сред и методов их численного анализа, что позволило эффективно моделировать влияние гистерезиса деформаций и «проскальзывания» среды вдоль твердой стенки на параметры течения, и позволило более точно моделировать движение границы раздела фаз для полученных новых результатов.

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

разработаны и внедрены модели, методы и алгоритмы, которые могут быть использованы при проектировании и математическом моделировании технологических процессов в различных отраслях промышленности (добыча нефти, прокат металлов, производство пластмасс, пищевая промышленность и т.д.), а также могут быть внедрены в учебный процесс;

определены перспективы практического использования разработанных математических моделей для оптимизации технологических процессов в различных отраслях химической, нефтяной, пищевой промышленности, в медицине;

созданы проблемно-ориентированный программный комплекс для моделирования динамики многофазных течений вязкопластических сред (Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023662382, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 18.06.2023);

представлены оптимизированные для современных вычислительных архитектур алгоритмы на основе решения начально-краевых задач Стефана с подвижной границей, и на их основе разработан программный комплекс для моделирования динамики многофазных течений вязкопластических сред.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на основе апробированных математических моделей механики вязкопластических сред, а также методов математической физики, теории обыкновенных дифференциальных уравнений, методов численного анализа и асимптотического интегрирования;

идея базируется на применении известных методов численного и качественного анализа применительно к начально-краевым задачам Стефана с подвижной границей, а также развитию ранее известных методов компьютерного моделирования неустановившихся многофазных течений вязкопластических сред;

установлено качественное соответствие полученных в диссертации результатов моделирования влияния проскальзывания вязкопластической среды вдоль твердой стенки на характеристики течения с результатами, ранее полученными другими авторами по данной тематике;

использованы среда программирования на языке C++ для разработки программного комплекса и эффективно применяемые на современных вычислительных архитектурах стандартные библиотеки поддержки

высокопроизводительных вычислений (BLAS/LAPACK, ODEPACK и т.д.).

Личный вклад соискателя состоит в разработке математической модели неустановившихся многофазных течений вязкопластических сред на основе модели Слибара – Паслая с учетом возможного «проскальзывания» среды вдоль твердой стенки; в разработке и реализации метода численного моделирования неустановившихся течений вязкопластических сред, основанного на отображении области с подвижной границей на неподвижную область и применении дискретизации по независимой пространственной переменной на основе проекционного метода Галеркина; в методе корректной постановки начально-краевых задач развития вязкопластических течений на основе асимптотического интегрирования; в разработке проблемно-ориентированного комплекса программ моделирования неустановившихся многофазных течений вязкопластических сред с подвижными границами; в результатах численного моделирования неустановившихся многофазных течений вязкопластических сред на основе модели Слибара – Паслая с учетом возможного «проскальзывания» среды вдоль твердой стенки.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

- Представляет интерес сравнение эффективности использования в качестве базисных функций предложенного варианта проекционного метода Галеркина наряду со смещенными ортогональными полиномами Чебышева 1-го рода других полных систем ортогональных полиномов, например, ортогональных полиномов Лежандра и т.д.
- Строго говоря, частные решения (4.80) и (4.81) на стр. 109 диссертации выражаются через модифицированные цилиндрические функции первого и третьего рода порядков 0 и 1.
- Разработанная математическая модель предполагает, что на этапах течения (разрушение структуры без «пристенного скольжения», разрушение структуры со скольжением, переходный этап со скольжением, переходный этап без скольжения, восстановление структуры) зависимость напряжений от скоростей деформаций является линейной. Вместе с тем, предложенные методы численного моделирования применимы и в случае, когда зависимость напряжений от скоростей деформаций нелинейна.
- Можно было бы явно указать начальные условия для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (2.42) – (2.44), (2.47), полученной в разделе 2.1 в результате дискретизации соответствующей начально-краевой задачи после отображения области с подвижной границей на неподвижную область.
- Следовало бы пояснить, что в формуле (4.45) на стр. 102 используется специальная функция – интеграл вероятностей.
- Формула (2.24) на стр. 38 справедлива при $z=1$.
- При фиксированном значении времени выражение (3.38) на стр. 70 представляет собой полином второй степени относительно преобразованной пространственной координаты, что дает возможность представить в аналитической форме начальные условия для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (3.43), (3.44), (3.48).

- Следовало бы пояснить, что в формуле (4.98) на стр. 113 используются цилиндрические функции Бесселя мнимого аргумента, а в формуле (4.99) – цилиндрические функции Макдональда.
- Ваша работа посвящена исследованию влияния гистерезиса деформаций и проскальзывания среды на характеристики течения. Как Вы кратко охарактеризуете эти физические эффекты?
- В вашей работе многочисленные зависимости от времени напряжений и скоростей характеризуются изломами. Как Вы это объясните?
- Как ставились начальные условия при переходе от одного этапа течения к другому?
- Как определялось характерное время завершения численного моделирования?
- Какие средства разработки применялись при реализации Вами программного комплекса для моделирования динамики многофазных течений вязкопластических сред? Применялось ли распараллеливание вычислений?

Соискатель Сафрончик М.И. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию:

- Разработанные методы математического моделирования применимы и для случая нелинейной зависимости напряжений от скоростей деформаций.
- Для достаточно гладких функций ряды Фурье по ортогональным полиномам Чебышева 1-го рода сходятся быстрее, чем ряды по другим системам функций.
- Чем меньше коэффициент внешнего трения, тем более затягивается переходный процесс и процесс восстановления структуры материала. Чем меньше отношение статического предела текучести к динамическому, тем больший слой материала восстанавливается при плоскопараллельном течении и шире зона течения при осесимметричном течении.
- Изломы на графиках зависимости от времени напряжений и скоростей обусловлены тем, что в данные моменты времени происходит переход к следующему этапу течения, т.е. происходит смена граничных условий.
- При переходе к следующему этапу течения в качестве начальных условий для него использовались координата границы области течения и поле скоростей, сложившиеся в момент завершения текущего этапа.
- Временные рамки на каждом этапе течения выбирались в зависимости от значений параметров напряжения на границах течения и проводилось вплоть до стабилизации течения на завершающем этапе
- При разработке программного комплекса использовалась среда программирования на языке C++ и библиотеки поддержки высокопроизводительных вычислений ODEPACK и LAPACK.

На заседании 6 февраля 2024 г. диссертационный совет принял решение за решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний присудить Сафрончик М.И. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек (17 человек находились в месте проведения заседания, 2 человека участвовали в заседании совета в удаленном интерактивном режиме), из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета _____



Терехин Павел Александрович

Ученый секретарь
диссертационного совета _____



Вешнева Ирина Владимировна

6 февраля 2024 г.

