

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.479.05,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И
ТЕХНОЛОГИЙ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 14 декабря 2023 г. № 15

О присуждении Зо Аунгу, гражданину Республики Союз Мьянма, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Неравновесные свойства гидродинамических систем на основе обобщенного уравнения Навье – Стокса» по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 5 октября 2023 года (протокол заседания № 12) диссертационным советом 24.2.479.05, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (450076, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32), приказ № 520/нк от 24.03.2023 г.

Соискатель Зо Аунг, 05 июня 1993 года рождения. В 2018 году соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 27.04.04 Управление в технических системах, профиль: Управление и информационные технологии в технических системах с присвоением квалификации Магистр. В 2023 г. окончил аспирантуру по очной форме обучения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 01.06.01 Математика и механика, профиль: Механика жидкости, газа и плазмы с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь». Диплом об окончании аспирантуры выдан Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» в 2023 г.

Диссертация выполнена на кафедре 311 «Прикладные программные средства и математические методы» института № 3 «Системы управления, информатика и электроэнергетика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В настоящее время не работает.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Гладков Сергей Октябрьнович, профессор кафедры 311 «Прикладные программные средства и математические методы» института № 3 «Системы управления, информатика и электроэнергетика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

1. Карташов Эдуард Михайлович, доктор физико-математических наук (05.13.16 – Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях), профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет», кафедра высшей и прикладной математики Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова, профессор,

2. Хакимова Зульфия Разифовна, кандидат физико-математических наук (01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы), Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», кафедра «Информационные технологии и прикладная математика», доцент

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Общество с ограниченной ответственностью «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа, в своем положительном отзыве, подписанном Байковым Виталием Анваровичем, доктором физико-математических наук (01.01.03 – Математическая физика), старшим экспертом, Ильясовым Айдаром Мартисовичем, кандидатом физико-математических наук (01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника), главным специалистом, Питюк Юлией Айратовной, кандидатом физико-математических наук (01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы), главным менеджером и утвержденном заместителем генерального директора по технологическому развитию и инновациям Антоновым М.С., указала, что диссертационная работа Зо Аунга выполнена на хорошем научном уровне. Исследование выполнено на актуальную тему и представляет научный и практический интерес. Материалы диссертации характеризуют автора как сложившегося исследователя, владеющего современными научными методами. По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям пп. 9-11 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями и дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ. Из них 1 в научном издании, индексируемом в международных базах данных Scopus и Web of Science; 2 – в журналах, входящих в базу данных RSCI, 7 – в изданиях, входящих в РИНЦ. Общий объем – 4,94 печ. л., авторский вклад – 2,47 печ. л.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Gladkov S.O., Zaw Aung. To the question of calculation of amendments to the Navier – Stokes equation // Journal of Physics: Conference Series. 2021. V. 1902. 012004.

2. Гладков С.О., Зо Аунг О поправках к силе Стокса по числу Кнудсена // Известия высших учебных заведений. Физика. 2020. Т. 63. № 12. С. 68-81.

3. Гладков С.О., Зо Аунг К вопросу о течении жидкостей в трубах и каналах произвольного сечения // Инженерная физика. 2021. № 10. С. 27-36.

4. Гладков С.О., Зо Аунг О кинетическом подходе при учёте неоднородностей высших порядков в уравнении Навье-Стокса // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. 2023. № 1. С. 17-26.

5. Гладков С.О., Зо Аунг Об уточнении уравнения Навье-Стокса применительно к наночастицам // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. 2021. № 1. С. 77-91.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Ведущей организации – Общество с ограниченной ответственностью «РН-БашНИПИнефть». Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) Принципа сохранения полной мощности не существует (стр. 14), существует теорема об изменении кинетической энергии (теорема «живых» сил), которая является следствием уравнения импульсов и не является законом сохранения. При каких условиях её можно использовать в качестве закона сохранения? 2) В диссертации используется допущение, что изменение кинетической энергии равно изменению диссипативной функции (стр. 14). Нет объяснения, почему пренебрегается мощностью внешних массовых и внешних поверхностных сил. При каких условиях это возможно сделать? 3) Какой физический смысл имеют граничные условия 1-3 (стр. 37-41)? Каким реальным течениям они

соответствуют? 4) При числах Кнудсена $Kn \ll 1$ обычно используется классическое приближение Навье - Стокса с условиями прилипания на границе. При числах Кнудсена порядка $Kn \sim 0,1-1$ используются приближение Навье-Стокса со скачками скорости и температуры на границе. В диссертационной работе нет оценки размера частиц, когда можно использовать классическое приближение Навье-Стокса и использовать условия прилипания на границе. 5) В случае бигармонического слагаемого в правой части уравнений Навье-Стокса (глава 2) порядок уравнений увеличивается на 2. Какие граничные условия в этом случае ставятся дополнительно, и какой их физический смысл? Чёткие граничные условия в главе 2 не поставлены, поэтому приходится получать константу C_1 из соображений размерности (стр. 73). 6) Имеется ряд опечаток и неточностей. Например, при выводе уравнения неразрывности на стр. 12 упущена зависимость радиус-векторов от лагранжевых координат; неверно записана диссипативная функция для несжимаемой функции (1.9) на стр. 14; формула (1.46) на стр. 23; формула, следующая за формулой (1.53); формула (2.5) на стр. 58 и т.д.

2. Официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры высшей и прикладной математики Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет» Карташова Эдуарда Михайловича. Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) Ощущается некоторая небрежность в написании труда, а также ряд синтаксических и орфографических ошибок. Перепутаны некоторые обозначения формул в ссылках на них в тексте работы. 2) На мой взгляд, список литературы довольно обширен для кандидатской диссертации и вполне мог быть урезан на половину. 3) В формуле для квазиравновесной функции распределения следовало бы ввести химический потенциал молекул жидкости (газа), наличие которого обусловлено процессами парного взаимодействия частиц. 4) Стоило бы

также более подробно описать и дать численные оценки всех коэффициентов A , B , C , ..., входящих в обобщенное уравнение Навье-Стокса; 5) Анализ полученной соискателем общей формулы для вычисления силы сопротивления наночастиц следовало бы сделать более подробным.

3. Официального оппонента, кандидата физико-математических наук, доцента кафедры «Информационные технологии и прикладная математика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» Хакимовой Зульфии Разифовны. Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) В тексте диссертации просматривается достаточное количество орфографических, стилистических ошибок, слова типа «обокрали себя» на стр. 82, например, другие небрежности. 2) Почему допустим «обрыв» ряда слагаемых по числу Кнудсена для поправки к силе Стокса? Приведите оценки времени релаксации молекул. 3) Расчеты по формулам (2.91), (2.93) нуждаются в дополнительных обсуждениях, поскольку не подписаны оси координат, нет описания линий на графиках расчетных рисунков (5-7, 8-11). Фраза «Зависимость (2.91) иллюстрируют рисунки 5-7, на которых отчетливо прослеживается тенденция к уменьшению функции от значений параметра...» на с.87 не вполне корректна. Проводились ли сопоставления полученных зависимостей для безразмерной величины « u » с известным безразмерным числом Маха по работам других авторов применительно к задаче обтекания мезочастиц вязкой жидкостью? 4) Мало внимания уделено литературному обзору, именно научных статей по теме исследования, присутствует избыток классических учебников и монографий. На с.13 приведена ссылка на 90 источников литературы: «... Откуда в силу условия мы немедленно приходим к искомому уравнению непрерывности, выражающему собой закон сохранения количества массы вещества [1]-[90]». В то же время реальных ссылок на многие из источников, приведенных в списке литературы нет.

4. Кандидата физико-математических наук, доцента кафедры 311 Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Богдановой Софьи Борисовны. Отзыв положительный. Замечания отсутствуют.

5. Кандидата физико-математических наук, доцента, доцент кафедры нанoeлектроники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» Гладышева Игоря Васильевича. Отзыв положительный. Имеются замечания: 1) В то же время из автореферата не совсем понятно, как проводилось сравнение теоретических результатов с экспериментальными данными. Так, на рисунке 2 автореферата показаны «экспериментальные значения», но указания на главу диссертации, в которой описана методика измерений или ссылки на литературу не приведено. 2) К сожалению, в работе также не учитывались неоднородности, как химического потенциала, так и температуры жидкости.

6. Кандидата физико-математический наук, заведующего кафедрой высшей математики факультета прикладной математики и вычислительной техники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» Дементьева Юрия Игоревича. Отзыв положительный. Имеются замечания: 1) Из замечаний хотелось бы отметить только некоторые грамматические и стилистические ошибки, допущенные при написании автореферата.

7. Доктора физико-математических наук, доцента, заведующего кафедрой «Информационная безопасность автоматизированных систем» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина» Кондратова Дмитрия Вячеславовича. Отзыв положительный. Имеются замечания: 1) Наличие орфографических и

синтаксических неточностей. 2) В автореферате не приведены ни расчеты, ни примеры, которые бы подтвердили правильность выведенных формул.

8. Доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника, профессор кафедры физической и вычислительной механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Матвиенко Олега Викторовича. Отзыв положительный. Замечания отсутствуют.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой профессиональной квалификацией, наличием публикаций по проблематике, связанной с темой диссертации, компетенцией в вопросах, имеющих отношение к теме работы. Ведущая организация и оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– **построена** математическая модель обтекания малых частиц стационарным вязким потоком ньютоновской жидкости при изотермическом условии и в предположении однородности химического потенциала молекул;

– **показано**, что уточнённая сила сопротивления, найденная в рамках обобщенного уравнения Навье – Стокса, приводит к существенной зависимости от числа Кнудсена;

– **получена** нелинейная зависимость силы сопротивления от числа Кнудсена, позволяющая применять ее в рамках исследований движения наночастиц в потоке жидкости;

– **установлено**, что в случае постоянной температуры неоднородность химического потенциал молекул жидкости роли не играет, и возможное проявление термофореза в приближении Стокса также можно не учитывать;

– **показано**, что в условиях малых скоростей течения приближение Стокса позволяет разработать основу для алгоритма решения обобщенного уравнения Навье – Стокса;

– **выявлено**, что все найденные функциональные зависимости распределения скоростей и давлений вблизи поверхности тела в виде ряда по числу Кнудсена имеют сложную аналитическую зависимость от него, приводящую к резкому росту силы сопротивления при уменьшении линейного размера тела;

– **получено**, что для малых чисел Рейнольдса в приближении Стокса давление вблизи поверхности тела сильно уменьшается.

Теоретическая значимость заключается в расширении имеющихся теоретических представлений о характере обтекания малых частиц стационарным потоком вязкой однофазной жидкости. Полученные результаты можно расширить и воспользоваться ими при моделировании течений в более сложном случае, когда необходимо принимать во внимание неоднородность температуры и химического потенциала молекул.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что разработанные в работе математические модели можно использовать как в аэрокосмических системах, так и в нефтедобывающей промышленности.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

– исследование основано на применении обобщенного модифицированного уравнения Навье – Стокса для математического моделирования и расчета силы сопротивления наночастиц;

– установлено согласование с имеющимися в литературе экспериментальными данными.

Личный вклад соискателя состоит в участии в постановке задач и численной реализации математических моделей; проведении расчетов и анализа полученных результатов; подготовке основных публикаций по выполненной работе.

В ходе защиты диссертации соискателю был задан вопрос: почему при выводе уравнения Навье – Стокса Вы используете закон сохранения энергии? В ответе на вопрос соискатель отметил, что поскольку уравнение Навье – Стокса выражает собой второй закон Ньютона, справедливый для единицы объема жидкости, то для его вывода можно воспользоваться законом

сохранения энергии также, как и для вывода обычного второго закона Ньютона в классической механике.

Также было высказано замечание, что стоило бы привести аналитическое выражение для коэффициента B , входящего в обобщенное уравнение Навье – Стокса, и сравнить его величину с коэффициентом A . С этим замечанием соискатель согласился и отметил, что ограничился рассмотрением только бигармонического слагаемого по оператору Лапласа, поскольку исходя из общих физических рассуждений показано, что всегда имеет место соотношение $A > B$.

На заседании 14.12.2023 г. диссертационный совет принял решение: за теоретическое исследование особенностей обтекания малых частиц стационарным потоком вязкой однофазной жидкости, имеющее важное значение для построения математических моделей течения жидкостей с наночастицами, присудить 3о Аунг ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 7 докторов физико-математических наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Заместитель председателя
диссертационного совета

д.т.н., профессор



Валиуллин Рим Абдуллович

Ученый секретарь
диссертационного совета

к.ф.-м.н., доцент

Киреев Виктор Николаевич

14 декабря 2023 г.