

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по научной работе
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет)» д.т.н. профессор


 Ю.А. Равикович

« 6 » 06 2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»**

Диссертация «Неравновесные свойства гидродинамических систем на основе обобщенного уравнения Навье – Стокса» 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)».

В период подготовки диссертации соискатель, Зо Аунг, обучался и по настоящее время продолжает обучение в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

В 2018 г. 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. Диплом об окончании магистратуры №107718 1280936, дата выдачи 09.06.2023.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана «2» марта 2023 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель – Гладков Сергей Октябрьнович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры 311 «Прикладные программные средства и математические методы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

По итогам обсуждения диссертации принято следующее **заключение**.

• **Оценка выполненной работы.**

Диссертация Зо Аунга является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение ряда новых задач из области теоретической гидродинамики, имеющих важное значение для развития механики жидкости, газа и плазмы. Диссертация удовлетворяет всем требованиям и критериям Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

• **Личный вклад автора.** Основные положения диссертации получены лично автором, либо при непосредственном его участии, что подтверждается публикациями. Автору принадлежит разработка теоретического подхода, позволяющего строго аналитически находить любые неоднородные поправки к правой части уравнения Навье – Стокса в виде слагаемых по степеням

оператора Лапласа. Исходя из классического кинетического уравнения Больцмана, автором диссертации предложен алгоритм вычисления поправок любого порядка по числу Кнудсена, что дает возможность применять полученные результаты к весьма малым частицам, в том числе и к наночастицам. Автором выполнены аналитические расчеты, которые позволили получить обобщение формулы Стокса на случай наночастиц. Автором также разработан еще один алгоритм вычисления, позволяющий вычислять расход жидкости, текущей по каналам и трубам произвольного сечения. Благодаря конечно – разностному методу, автором выполнена оценка сходимости ряда по неоднородным слагаемым в правой части уравнения Навье – Стокса. Автором проведена оценка собственных научных достижений на предмет перспективы дальнейшего развития предложенных методов и подходов, и отработаны рекомендации по практическому применению полученных результатов.

- **Актуальность темы исследования** обусловлена прежде всего возможностью приложения полученной общей формулы для силы сопротивления шарообразных частиц к наночастицам, что в настоящее время является весьма востребованным, поскольку этот вопрос весьма актуален и в настоящее время не слишком хорошо исследован. Все предлагаемые задачи диссертационного исследования являются новыми, а методы построения решений – оригинальны. В связи с бурным развитием ЭВМ, автоматизации и робототехники, решенные задачи этого класса выходят на передовой край современной науки.

- **Достоверность и обоснованность** полученных результатов обеспечивается математически строгой и физически корректной постановкой задач, применением апробированных математических методов решения стационарных задач гидродинамики и анализом сходимости предложенного решения. В предельных частных случаях полученные общие выражения в известные результаты других авторов и не противоречат имеющимся физическим представлениям.

- **Научная новизна** диссертационной работы отражена в следующих положениях:

- С помощью классического кинетического уравнения Больцмана найдены дополнительные неоднородные добавки к правой части уравнения Навье – Стокса, позволяющие впервые применять его для наносистем.
- Получено обобщение формулы Стокса в виде ряда по числу Кнудсена, играющей важную роль при описании физических свойств малых частиц.
- Аналитически получена сила сопротивления, действующая на сферическую наночастицу с учетом дополнительных неоднородностей в уравнении Навье – Стокса.
- Предложен общий подход для вычисления расхода, текущей по каналам и трубам произвольного сечения.

• **Практическая ценность.** Выполненные в работе вычисления, основанные на применении теории неравновесного статистического распределения, позволяют учесть в уравнении Навье – Стокса дополнительные неоднородные слагаемые по оператору Лапласа, играющие важную роль в деле практического изучения движения наночастиц в жидкостях и газах, когда соответствующие поправки важны в условиях, когда длина свободного пробега молекул континуума оказывается сравнимой с размером тела. Это, в частности, оказывается чрезвычайно важным в деле изучения свойств наночастиц.

Практическое использование проведенных исследований диктуется прежде всего возможностью непосредственного приложения полученных аналитическим методом решений к конкретным техническим задачам и, в частности, в нанотехнологиях, где с необходимостью используются потоки наночастиц, проходящих сквозь газовый или жидкий континуум.

• **Диссертация соответствует требованиям** пп. 9-11, 13, 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а также следующим пунктам паспорта научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы:

19. Точные, асимптотические, приближенные аналитические, численные и комбинированные методы исследования уравнений континуальных и кинетических моделей однородных и многофазных сред.

20. Разработка математических методов и моделей гидромеханики.

• Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени. По теме диссертации опубликовано 10 публикаций, в том числе 1 научная статья в рецензируемом научном издании, входящем в международную реферативную базу данных Scopus, 2 – в журналах, входящих в базу данных RSCI, 7 – в изданиях, входящих в РИНЦ. Все основные результаты диссертационной работы в полном объеме опубликованы в приведенном списке научных работ автора.

Публикации в журналах, входящих в международную реферативную базу данных Scopus.

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

Публикации в журналах, входящих в базу данных RSCI.

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.

Публикации в журналах, входящих в РИНЦ.

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.
6. Гладков С.О., Зо Аунг К вопросу о поправках к уравнению Навье – Стокса // В сборнике: Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. сборник трудов Международной научной конференции. ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет». Воронеж, 2021. С. 1486-1490.

7. Зо Аунг, Гладков С.О. К теории течения жидкостей по каналам произвольного сечения // В сборнике: Современные проблемы физико-математических наук. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Под общей редакцией Т.Н. Можаровой. Орел, 2021. С. 476-481.
8. Гладков С.О., Зо Аунг О поправках к уравнению Навье – Стокса // В сборнике: Актуальные проблемы математики и информационных технологий. Материалы II Всероссийской конференции, приуроченной к 90-летию Дагестанского государственного университета. 2021. С. 60-62.
9. Зо Аунг, Гладков С.О. К вопросу модификации уравнения Навье-Стокса при учете дополнительных неоднородных слагаемых в высших порядках по длине свободного пробега // В сборнике: Современные проблемы физико-математических наук. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Под общей редакцией Т.Н. Можаровой. г. Орел, 2020. С. 244-247.
10. Гладков С.О., Зо Аунг О поправках к уравнению Навье-Стокса // В сборнике: Теория управления и математическое моделирование. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной памяти профессора Н. В. Азбелева и профессора Е. Л. Тонкова. Ижевск, 2020. С. 274-275.

В представленных работах приведены все основные постановки решенных соискателем новых задач теоретической гидродинамики. Автор лично подготовил все представленные публикации к печати. Роль научного руководителя, как соавтора представленных публикаций, заключалась в консультациях по научным вопросам, проверке рукописей и совместном обсуждении полученных результатов. В основных работах автора [1] – [5] приведены математические постановки всех решаемых задач, описано их строгое аналитическое решение, а также проведён их анализ и оценка научной значимости. Остальные работы [6] – [10] являются тезисами научных докладов, выполненных автором лично, на различных научных мероприятиях, в том числе международных и зарубежных симпозиумах, семинарах и конференциях.

Диссертационная работа Зо Аунга на тему «Неравновесные свойства гидродинамических систем на основе обобщенного уравнения Навье – Стокса» является законченной научной работой, посвященной решению двух актуальных научных задач: 1. Вычисление неоднородных слагаемых к правой части уравнения Навье-Стокса, что позволило найти дополнительные поправки к силе Стокса; 2. Получена общая формула для вычисления расхода жидкости для произвольного сечения канала и трубы. выполненных на высоком научном уровне, отвечающим требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842. Диссертационная работа рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Заключение принято на заседании кафедры № 311 «Прикладные программные средства и математические методы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Присутствовали на заседании 19 чел. Результаты голосования:

«за» – 19 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел.,

протокол № 10 от «06» июня 2023 г.



В.А. Вестяк д.ф.-м.н., заведующий кафедрой № 311
«Прикладные программные средства и
математические методы» МАИ

« 6 » 06 2023 г.

Адрес: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

e-mail: v.a.vestyak@mail.ru

Телефон: +7 (926) 602-11-60

Подпись Вестяка Владимира Анатольевича заверяю

Заместитель начальника
Управления по работе с персоналом МАИ



Иванов М.А.