

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.455.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ ИМЕНИ Г. И. МАРЧУКА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 20.06.2024 г. № 38

о присуждении Засько Григорию Владимировичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Численный анализ немодовой устойчивости турбулентных течений» по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите «12» апреля 2024 г., протокол № 37, диссертационным советом 24.1.455.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики имени Г.И. Марчука Российской академии наук (ИВМ РАН), расположенного по адресу 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 8, приказ о создании диссертационного совета № 1356/нк от 15.12.2021, изменение состава согласно приказу Минобрнауки России № 1215/нк от 12.10.2022.

Соискатель Засько Григорий Владимирович, 1996 года рождения, в 2020 году окончил Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) по направлению 03.04.01 «Прикладные математика и физика».

С 01.10.2020 по 30.09.2023 гг. обучался по программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению 02.06.01 «Компьютерные и информационные науки», соответствующему научной специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», по которой подготовлена диссертация в Федеральном

государственном бюджетном учреждении науки Институте вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской академии наук.

В настоящее время работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской академии наук в должности младшего научного сотрудника (основное место работы), в Федеральном государственном учреждении "Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук" в должности младшего научного сотрудника (по совместительству), в научно-исследовательском вычислительном центре Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова в должности стажера-исследователя (по совместительству).

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент, **Нечепуренко Юрий Михайлович**, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Капорин Игорь Евгеньевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и Управление» Российской академии наук»,

Троицкая Юлия Игоревна, доктор физико-математических наук, заведующий отделом нелинейных геофизических процессов Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук», в своем положительном заключении, подписанном доктором физико-математических наук, профессором, заведующим лабораторией аэрофизических исследований дозвуковых течений ИТПМ СО РАН, **Козловым Виктором Владимировичем**, и утвержденном временно исполняющим обязанности директора Федерального

государственного бюджетного учреждения науки «Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук», доктором физико-математических наук, **Краусом Евгением Ивановичем**, указала, что работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК при Минобрнауки России, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а её автор Засько Григорий Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 23 опубликованные работы по теме диссертации. Из них 8 работ [1–8] — в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание учёной степени кандидата наук:

1. Glazunov, A.V. Optimal disturbances of stably stratified turbulent Couette flow / A.V. Glazunov, G.V. Zasko, E.V. Mortikov [и др.] // Doklady Physics. - 2019. - Т. 64, № 7. - С. 308-312.
2. Засько, Г.В. Крупномасштабные структуры стратифицированного турбулентного течения Куэтта и оптимальные возмущения / Г.В. Засько, А.В. Глазунов, Е.В. Мортиков [и др.] // Препринты ИПМ им. Келдыша. - 2019. - № 63. - С. 1-31.
3. Zasko, G.V. Large-scale structures in stratified turbulent Couette flow and optimal disturbances / G.V. Zasko, A.V. Glazunov, E.V. Mortikov [и др.] // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. - 2020. - Т. 35, № 1. - С. 37-53.
4. Zasko, G.V. Spectral analysis of the optimal disturbances of stratified turbulent Couette flow / G.V. Zasko, Yu.M. Nечepurenko // Computational Mathematics and Mathematical Physics. - 2021. - Т. 61, № 1. - С. 129-141.
5. Zasko, G.V. Emergence of optimal disturbances in a stratified turbulent shear flow under the stochastic forcing / G.V. Zasko, P.A. Perezhogin,

A.V. Glazunov [и др.] // Journal of Physics: Conference Series. - 2021. - Т. 2099, № 1. - С. 012033.

6. Nechepurenko, Yu.M. Constant upper bounds on the matrix exponential norm / Yu.M. Nechepurenko, G.V. Zasko // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. - 2022. - Т. 37, № 1. - С. 15-23.
7. Nechepurenko, Yu.M. Optimal stochastic forcing for sensitivity analysis of linear dynamical systems / Yu.M. Nechepurenko, G.V. Zasko // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. - 2022. - Т. 37, № 2. - С. 111-118.
8. Zasko, G.V. Optimal energy growth in stably stratified turbulent Couette flow / G.V. Zasko, A.V. Glazunov, E.V. Mortikov [и др.] // Boundary-Layer Meteorology. - 2023. - Т. 187. С. 395-421.

Из этих 8 работ 7 работ [1;3–8] опубликованы в научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science или Scopus.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тематикой исследований, проведенных в диссертации. **Капорин Игорь Евгеньевич** является известным специалистом в области вычислительной математики, матричного анализа и математического моделирования. **Троицкая Юлия Игоревна** является известным специалистом в области теоретического исследования и математического моделирования геофизических турбулентных течений. Тематика диссертации соответствует области экспертизы ведущей организации.

На автореферат диссертационной работы поступили следующие отзывы:

1) отзыв от доктора физико-математических наук, профессора кафедры гидромеханики механико-математического факультета, заместителя директора научно-исследовательского института механики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова **Веденеева Василия Владимировича**.

2) отзыв от доктора физико-математических наук, заместителя директора научно-исследовательского вычислительного центра Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова **Степаненко Виктора**

Михайловича.

3) совместный отзыв от доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника Федерального государственного учреждения "Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук" **Жукова Виктора Тимофеевича** и кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника Федерального государственного учреждения "Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук" **Бочева Михаила Александровича.**

Все отзывы на автореферат положительные.

Диссертация посвящена разработке и обоснованию численных методов для анализа немодовой устойчивости осредненных турбулентных течений и их применению для исследования организованных структур, наблюдаемых в сдвиговых турбулентных течениях при устойчивой стратификации. Получен ряд новых верхних оценок максимума нормы матричной экспоненты. Поставлена задача о вычислении оптимального стохастического форсинга для линейных динамических систем, а также предложены и обоснованы численные алгоритмы ее решения. Разработана технология численного анализа немодовой устойчивости осредненных турбулентных течений, включающая в себя: построение линейной модели развития крупномасштабных возмущений на фоне осредненного турбулентного течения, аппроксимация полученных уравнений и проектирование на подпространство бездивергентных сеточных функций, алгоритмы вычисления оптимальных возмущений, оптимального стохастического форсинга и исследования спектрального состава оптимальных возмущений, методика анализа временных рядов турбулентных флуктуаций, полученных из нелинейной модели. В широком диапазоне параметров исследованы свойства оптимальных возмущений, а также их пространственная конфигурация и размеры. С помощью оптимальных возмущений исследованы физические механизмы, отвечающие за развитие наклонных организованных структур, наблюдаемых в турбулентных течениях при устойчивой стратификации. Выполнено сравнение результатов анализа немодовой устойчивости с результатами прямого численного моделирования. Исследованы механизмы, отвечающие за появление оптимальных возмущений

в нелинейной модели.

Теоретическая значимость заключается в том, что разработана универсальная технология численного анализа немодовой устойчивости осредненных турбулентных течений, а также в новых верхних оценках максимума нормы матричной экспоненты и алгоритмах вычисления оптимального стохастического форсинга для линейных динамических систем.

Практическая значимость заключается в объяснении физических механизмов, отвечающих за появление и развитие организованных структур, наблюдаемых в сдвиговых турбулентных течениях при устойчивой стратификации.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Получен ряд новых верхних оценок максимума нормы матричной экспоненты и продемонстрированы преимущества этих оценок по сравнению с известными ранее.
2. Впервые поставлена задача о поиске оптимального стохастического форсинга и разработаны и обоснованы алгоритмы ее решения в первой, второй и бесконечной нормах Шэттена.
3. Разработана универсальная технология анализа немодовой устойчивости осредненных турбулентных течений, в которой для вычисления оптимальных возмущений используются эффективные численные алгоритмы, а для построения линейной модели используются результаты прямого численного моделирования.
4. Для стратифицированных турбулентных течений впервые вычислены оптимальные возмущения. Впервые показано, что найденные оптимальные возмущения хорошо согласуются по пространственным масштабам и конфигурации с наблюдаемыми в таких течениях организованными структурами.
5. Впервые исследованы физические механизмы, отвечающие за появление и развитие наклонных организованных структур, наблюдаемых в устойчиво-стратифицированных сдвиговых турбулентных течениях.
6. Впервые исследовано развитие оптимальных возмущений в нелинейной модели, описывающей появление и развитие организованных структур в турбулентных течениях. Показано, что характеристики

оптимальных возмущений, найденные в рамках линейной модели, согласуются с развитием этих возмущений в нелинейной модели.

Достоверность результатов первой главы диссертации обоснована строгим доказательством математических утверждений и проиллюстрирована численными экспериментами. Достоверность второй и третьей глав диссертации обоснована обширными численными экспериментами и сравнением их результатов с результатами прямого численного моделирования стратифицированных турбулентных течений.

Личный вклад соискателя. Соискатель участвовал в разработке всех элементов технологии численного анализа немодовой устойчивости турбулентных течений, а также в постановке математических задач и доказательстве теорем. В работах [1-4; 8] соискатель участвовал в разработке и реализации технологии численного анализа немодовой устойчивости турбулентных течений и выполнил все численные эксперименты с этой технологией для анализа организованных структур в стратифицированном турбулентном течении Куэтта. В работе [5] соискатель разработал и реализовал технологию анализа временных рядов в модели появления и развития организованных структур в стратифицированном течении Куэтта. В работе [6] соискатель получил 2 новые верхние оценки максимума нормы матричной экспоненты, а также участвовал в получении других новых оценок. В работе [7] соискатель поставил задачу о поиске оптимального стохастического форсинга для линейных динамических систем, а также участвовал в разработке и обосновании численных алгоритмов его вычисления.

На заседании **20 июня 2024 г.** диссертационный совет принял решение: за разработку технологии численного анализа немодовой устойчивости осредненных турбулентных течений и объяснение на ее основе механизмов появления и развития организованных структур в сдвиговых турбулентных течениях при устойчивой стратификации присудить **Засько Григорию Владимировичу** ученую степень кандидата физико–математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 17 докторов наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»,

участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета,
дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали:
За 17, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета

д. ф. – м. н.,

академик РАН

Тыртышников Евгений Евгеньевич

Ученый секретарь диссертационного совета

д. ф. – м. н.

Бочаров Геннадий Алексеевич

20.06.2024 г.

