

УТВЕРЖДАЮ



Проректор по учебной работе
ФГАОУ ВО «Сибирский
федеральный университет»
Денис Сергеевич Гуц

« 29 » апреля 2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Сибирский федеральный университет»

Диссертация «Устойчивость двухслойных течений в горизонтальном канале при диффузионном испарении» выполнена на кафедре математического моделирования и процессов управления Института математики и фундаментальной информатики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет».

В 2014 году Шефер Илья Александрович с отличием окончил магистратуру в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский федеральный университет» по направлению «Прикладная математика и информатика».

В 2018 году окончил аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет» по направлению подготовки 01.06.01 Математика и механика. Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2022 году. Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Сибирский федеральный университет».

Научный руководитель — Бекежанова Виктория Бахытовна, доктор физико-математических наук, заведующий отделом дифференциальных уравнений механики, Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук — обособленное подразделение

Федерального государственного бюджетного научного учреждения
Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук».

На заседании присутствовали:

Андреев В. К., д-р физ.-мат. наук, профессор; Андрианов А. Л., д-р физ.-мат. наук, доцент; Бекежанова В. Б., д-р физ.-мат. наук; Гончарова О. Н., д-р физ.-мат. наук, доцент; Капцов О. В., д-р физ.-мат. наук, профессор; Лейнартас Е. К., д-р физ.-мат. наук, профессор; Мысливец С. Г., д-р физ.-мат. наук, профессор; Родионов А. А., д-р физ.-мат. наук, доцент; Сенашов С. И., д-р физ.-мат. наук, профессор; Шлапунов А. А., д-р физ.-мат. наук, профессор; Ефимова М. В., канд. физ.-мат. наук; Магденко Е. П., канд. физ.-мат. наук; Матвеев А. Д., канд. физ.-мат. наук, доцент; Степанова И. В., канд. физ.-мат. наук, доцент; Сорокин Р. В., канд. физ.-мат. наук, доцент; Фроленков И. В., канд. физ.-мат. наук, доцент; Черепанова О. Н., канд. физ.-мат. наук, доцент; Шмидт А. В., канд. физ.-мат. наук.

Были заданы вопросы:

1. Насколько корректно использование приближения Обербека – Буссинеска для исследования параметров конвекции в условиях микрогравитации? Какие значения принимает параметр микроконвекции для рассматриваемой задачи?

2. Чем обусловлен выбор одного масштаба длины в поперечном и продольном направлении?

3. Как контролируется баланс массы на межфазной поверхности? Какое соотношение используется в качестве условия баланса массы на границе раздела? Если бы нижний слой был заполнен бинарной жидкостью с летучим компонентом, как изменились бы условия на границе раздела жидкость – газ?

4. В обзоре предшествующих Вашей работе исследований упоминаются работы шестидесятилетней давности. Чем обусловлен такой интерес к рассматриваемым задачам?

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Актуальность темы.

Диссертация Шефера И. А. посвящена исследованию режимов конвективного теплообмена в двухслойной системе жидкость – газ в условиях фазовых превращений и их устойчивости относительно малых нестационарных возмущений, в том числе трёхмерных, на основе точных решений. Конвекция в двухфазных системах является предметом масштабных исследований на протяжении нескольких десятков лет ввиду широкого применения испаряющихся жидкостей и парогазовых смесей в теплофизике, материаловедении, химической и пищевой промышленности. В диссертации обсуждаются возможности управления режимами течений испаряющейся жидкости, увлекаемой спутным газовым потоком, за счёт внешних воздействий и возможные механизмы, приводящие к потере устойчивости таких течений; получены пороговые характеристики устойчивости. Указанные исследования незаменимы при подготовке лабораторных теплофизических экспериментов, связанных с развитием новых технологий жидкостного охлаждения, а также при разработке и модификации технологий термического осушения или нанесения покрытий. Все это вместе говорит о высокой степени актуальности темы диссертации.

Личный вклад соискателя.

Результаты, представленные в диссертации, получены автором лично.

Достоверность результатов обеспечивается использованием физически обоснованных моделей конвекции и корректных постановок краевых задач, строгих математических методов теории устойчивости, применением апробированных численных методов, сравнением результатов работы с известными экспериментальными данными. Полученные результаты опубликованы в рецензируемых журналах.

Научная новизна.

Все результаты, представленные в диссертации, являются новыми. В частности, построено новое точное решение групповой природы,

описывающее совместное течение жидкости и парогазовой смеси в плоском горизонтальном канале и учитывающее неоднородный характер испарения на межфазной границе; проведено исследование линейной устойчивости стратифицированных двухфазных течений с однородным испарением, включая случаи пространственных возмущений и учёта деформируемости межфазной поверхности в пространстве параметров задачи.

Практическая и теоретическая ценность.

Результаты вносят вклад в теорию конвективной устойчивости и могут служить для обобщения подходов к описанию конвекции в жидкостных системах, сопровождающейся фазовыми превращениями. Результаты могут быть использованы при разработке и подготовке экспериментальных методов исследования испарительной конвекции, а также для восстановления эмпирических характеристик рабочих сред, отсутствующих в справочной литературе.

Специальности, которым соответствует диссертация.

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Полнота изложения материалов.

В диссертационной работе получены завершённые результаты относительно влияния различных параметров на структуру и параметры возникающих конвективных режимов, возможных механизмов неустойчивости и условий линейной устойчивости двухфазных стратифицированных течений в плоском горизонтальном миниканале. Результаты диссертационного исследования опубликованы в 25 работах, из которых 8 – в рецензируемых научных изданиях, 17 – в сборниках материалов конференций международного или всероссийского уровня. Все совместные работы являются результатом неразделимой научной деятельности с соавторами, внесшими равный вклад.

***Статьи, опубликованные в изданиях из перечня,
рекомендованного ВАК:***

1. Резанова, Е. В. О влиянии тепловой нагрузки на характеристики течения с испарением / Е. В. Резанова, И. А. Шефер // Сибирский журнал индустриальной математики. 2017. Т. 20. № 2(70). С. 83-92.
2. Бекежанова, В. Б. Устойчивость двухслойных течений жидкости с испарением на границе раздела / В. Б. Бекежанова, О. Н. Гончарова, Е. В. Резанова, И. А. Шефер // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2017. № 2. С. 23-35.
3. Bekezhanova, V. B. Analysis of an exact solution of problem of the evaporative convection (review). Part I. Plane case / V. B. Bekezhanova, O. N. Goncharova, I. A. Shefer // Journal of Siberian federal university. Math. and Physics. 2018. № 11(2). P. 178-190.
4. Bekezhanova, V. B. Analysis of an exact solution of problem of the evaporative convection (review). Part II. Three-dimensional flows / V. B. Bekezhanova, O. N. Goncharova, I. A. Shefer // Journal of Siberian federal university. Math. and Physics. 2018. № 11(3). P. 338-351.
5. Шефер, И. А. Влияние геометрии системы на устойчивость течения испаряющейся жидкости / И. А. Шефер // Прикладная математика и механика. 2018. Т. 82. № 2. С. 207-218.
6. Bekezhanova, V. B. Influence of gravity on the stability of evaporative convection regimes / V. B. Bekezhanova, I. A. Shefer // Microgravity Science and Technology. 2018. V. 30 P. 543-560.
7. Шефер, И. А. Влияние поперечного перепада температур на устойчивость двухслойных течений жидкости с испарением / И. А. Шефер // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2019. № 5. С. 15-25.
8. Bekezhanova, V. B. Solution of a two-layer flow problem with inhomogeneous evaporation at the thermocapillary interface / V. B. Bekezhanova, O. N. Goncharova, I. A. Shefer // Journal of Siberian federal university. Math. and Physics. 2021. № 14(4). P. 404-413.

Тезисы конференций:

1. Bekezhanova V. B., Shefer I. A. Stability of microconvective flows in vertical channel // Book of abstracts «Sixth International Symposium on Bifurcations and Instabilities in Fluid Dynamics», Paris, France, 15-17 July, 2015. P. 138.

2. Резанова Е. В., Шефер И. А. Исследование устойчивости двухслойного течения при тепломассопереносе через поверхность раздела // Тезисы докладов международной конференции «Лаврентьевские чтения по математике, механике и физике». Новосибирск, 7-11 сентября, 2015. С. 151.

3. Гончарова О. Н., Люлин Ю. В., Шефер И. А. О двухслойных течениях с испарением в микроканалах // Материалы XVI Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию. Красноярск, 28-30 октября, 2015 г. С. 112.

4. Shefer I. A. Characteristics of two-layer flows with evaporation depending on boundary thermal load // Int. Symposium and School of Young Scientist “Interfacial Phenomena and Heat Transfer”. Book of abstracts. March 2-4, 2016. Kutateladze Institute of thermophysics SB RAS, Novosibirsk. P. 72

5. Бекежанова В. Б., Гончарова О. Н., Шефер И. А. Характеристические возмущения двухслойного течения с испарением // Тезисы докладов Всероссийской конференции «Нелинейные волны: теория и новые приложения». Новосибирск, 2016. С. 22.

6. Bekezhanova V. B., Shefer I. A. The spectrum of perturbations of the two-layer flow with evaporation // Российско-французский семинар «Mathematical Hydrodynamics». Новосибирск, 2016. С. 13-15.

7. Бекежанова В. Б., Шефер И. А. Спектр возмущений двухслойного течения с испарением // Тезисы докладов VIII Всероссийской конференции, посвященной памяти академика А. Ф. Сидорова, и Всероссийской молодежной школы-конференции. Абрау-Дюрсо, 5-10 сентября, 2016. С. 14-15.

8. Шефер И. А. Влияние геометрии системы на характеристики течения с испарением. // Тезисы докладов VIII Всероссийской конференции, посвященной памяти академика А. Ф. Сидорова, и Всероссийской молодежной школы-конференции. Абрау-Дюрсо, 5-10 сентября, 2016. С. 116-117.

9. Шефер И. А. Устойчивость точного решения задачи испарительной конвекции // Тезисы докладов VI Всероссийской конференции с участием зарубежных учёных «Задачи со свободными границами: теория, эксперимент и приложения», Барнаул, 7-11 августа, 2017. С. 86-87.

10. Андреев В. К., Бекежанова В. Б., Шефер И. А. Двухслойные течения с дефектом тепла // Пермские гидродинамические научные чтения. Сборник материалов V Всероссийской конференции с международным участием, посвященной памяти профессоров Г. З. Гершуни, Е. М. Жуховицкого и Д. В. Любимова. Пермь, 2018. С. 42-44.

11. Шефер И. А. Неустойчивость пространственных возмущений однонаправленного течения испаряющейся жидкости // Материалы IX Международной молодежной научно-практической конференции с элементами научной школы «Прикладная математика и фундаментальная информатика», посвященной 80-летию со дня рождения академика РАН Евтушенко Ю. Г. 2019. С. 167-170.

12. Бекежанова В. Б., Шефер И. А. Пространственные возмущения двухслойных течений с испарением // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. Сборник трудов в 4-х томах. Уфа, 2019. С. 67-69.

13. Шефер И. А. Влияние гравитации на устойчивость течений со слабым испарением относительно трёхмерных возмущений // Материалы X Международной молодежной научно-практической конференции с элементами научной школы. Омск, 2020. С. 53-57.

14. Бекежанова В. Б., Шефер И. А. Влияние гравитации на характеристики пространственной неустойчивости стратифицированного двухфазного течения // Пермские гидродинамические научные чтения. материалы VII всероссийской конференции с международным участием, посвященной памяти профессоров Г. З. Гершуни, Е. М. Жуховицкого и Д. В. Любимова. Пермь, 2020. С. 59-64.

15. Шефер И. А. Неустойчивость двухслойных течений с испарением на деформируемой границе раздела // Сборник тезисов докладов VII Всероссийской

конференции с участием зарубежных учёных «Задачи со свободными границами: теория, эксперимент и приложения» Красноярск, 2020. С. 212-213.

16. Бекежанова В. Б., Шефер И. А. Влияние расхода газа на критические характеристики устойчивости совместного течения испаряющейся жидкости и парогазовой смеси // Материалы XI Международной молодежной научно-практической конференции с элементами научной школы. Омск, 2021. С. 39-40.

17. Шефер И. А. Спектр характеристических возмущений и критические характеристики устойчивости двухслойного течения с испарением на границе раздела // Материалы конференции международных математических центров мирового уровня. Сириус, 9-13 августа 2021. С. 101-102.

Апробация результатов работы.

Основные результаты диссертации обсуждались и докладывались на следующих конференциях и семинарах:

1. Международный симпозиум «Bifurcations and Instabilities in Fluid Dynamics– BIFD» (Paris, France, 2015);
2. Международная конференция «Лаврентьевские чтения по математике, механике и физике» (Новосибирск, 2015);
3. X Международная конференция «Two-phase Systems for Ground and Space Applications» (Kyoto, Japan, 2015);
4. XVI Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (Красноярск, 2015);
5. Международный симпозиум и школа молодых учёных «Interfacial Phenomena and Heat Transfer» (Новосибирск, 2016);
6. Всероссийская конференция «Нелинейные волны: теория и новые приложения» (Новосибирск, 2016);
7. Российско-французский семинар «Mathematical Hydrodynamics» (Новосибирск, 2016);
8. Всероссийская научная конференция «Теплофизика и физическая гидродинамика» с элементами школы молодых учёных (Ялта, 2016);

9. Всероссийская конференция «Актуальные проблемы прикладной математики и механики» и Всероссийская молодежная школа-конференция (Абрау-Дюрсо, 2016);

10. Всероссийская конференция с участием зарубежных учёных «Задачи со свободными границами: теория, эксперимент и приложения» (Бийск, 2017; Красноярск, 2020);

11. Международная молодежная научно-практическая конференция с элементами научной школы «Прикладная математика и фундаментальная информатика» (Омск, 2019, 2020, 2021);

12. Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (Уфа, 2019);

13. Всероссийская конференция с международным участием «Пермские гидродинамические научные чтения» (Пермь, 2018, 2020);

14. Минисимпозиум «Задачи механики деформируемых сред с поверхностями раздела» в рамках 27-ой Международной конференции по численным методам решения задач теории упругости и пластичности, посвящённой 100-летию со дня рождения Н. Н. Яненко (Красноярск, 2021);

15. Конференция международных математических центров мирового уровня (Сириус, Сочи, 2021);

16. Объединённый семинар ИВМ СО РАН и СФУ «Математическое моделирование в механике» (руководитель д.ф.-м.н. В. К. Андреев, Красноярск);

17. Семинар ИГиЛ СО РАН «Прикладная гидродинамика» (руководители член-корреспондент РАН В. В. Пухначёв, д.ф.-м.н. Е. В. Ерманюк, Новосибирск);

18. Семинар ИГиЛ СО РАН «Математические модели механики сплошной среды» (руководители член-корреспондент РАН П. И. Плотников, д.ф.-м.н. В. Н. Старовойтов, Новосибирск);

19. Семинар ИМ СО РАН (руководитель д.ф.-м.н. А. М. Блохин, Новосибирск);

20. Семинар «Физическая гидродинамика» ИТ СО РАН (рук. академик РАН С. В. Алексеенко, Новосибирск);

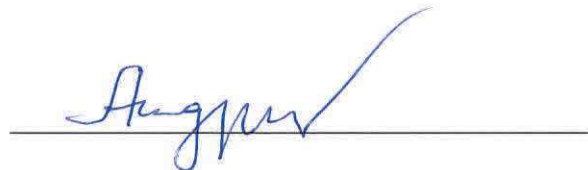
21. Семинар по теоретической физике Пермского государственного национального исследовательского университета (руководитель д.ф.-м.н. В. А. Дёмин, Пермь);

22. Семинар лаборатории интенсификации процессов теплообмена ИТ СО РАН (руководитель д.ф.-м.н. О. А. Кабов, Новосибирск).

Диссертация «Устойчивость двухслойных течений в горизонтальном канале при диффузионном испарении» Шефера Ильи Александровича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры математического моделирования и процессов управления с привлечением профильных специалистов.

Присутствовало на заседании 18 чел., из них с правом решающего голоса – 18 чел. Результаты голосования: «за» – 18 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 11 от «27» апреля 2022 г.



Андреев Виктор Константинович,
доктор физико-математических
наук, профессор, кафедра
математического моделирования и
процессов управления, заведующий