

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.012.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ИНСТИТУТА МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 12.05.2016 № _____

О присуждении Перминову Анатолию Викторовичу, гражданину России, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Движение жидкостей с различной реологией во внешних силовых полях» по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите 25.01.2016, протокол № 100, диссертационным советом Д 004.012.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, д. 1, утвержденным приказом Минобрнауки России от 11.04.2012 № 105/нк.

Соискатель Перминов Анатолий Викторович 1973 года рождения, в период подготовки диссертации и по настоящее время работает в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» на кафедре общей физики в должности доцента. В 2000 г. Перминову А.В. присвоена степень кандидата физико-математических наук, диплом КТ №035139 от 8 декабря 2000 г. С 31.12.2011 г. по 30.12.2014 г. проходил обучение в докторантуре физического факультета «Пермского государственного национального исследовательского университета» на кафедре теоретической физики по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Научный консультант – заслуженный деятель науки РФ, доктор физико-математических наук, профессор Любимова Татьяна Петровна заведующая лабораторией «Вычислительной гидродинамики» Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

- Бердников Владимир Степанович, доктор физико-математических наук, доцент, ФГБУН «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН», г. Новосибирск;
- Демехин Евгений Афанасьевич, доктор физико-математических наук, профессор, Краснодарский филиал ФГОБУ ВПО «Финансовый университет при правительстве Российской Федерации», г. Краснодар;
- Саранин Владимир Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Глазовский государственный педагогический институт им. В.Г. Короленко», г. Глазов.

Ведущая организация ФГБУН «Институт проблем машиноведения» РАН, г. Санкт-Петербург, в своем положительном заключении, составленном профессором Блехманом Ильёй Израилевичем, д.ф.-м.н., заведующим лабораторией вибрационной механики, и утвержденном исполняющим обязанности директора ИПМаш РАН, член-корреспондентом РАН, д.ф.-м.н., профессором Индейцевым Дмитрием Анатольевичем, указала, что автором выполнено содержательное исследование, включающее важные научные результаты и имеющие большое прикладное значение. Работа значительно развивает и дополняет ставшие классическими труды Пермской гидродинамической школы. Результаты диссертации могут быть использованы научными и

производственными организациями нефтяной, химической, пищевой и ряда других отраслей промышленности. Диссертация удовлетворяет требованиям, предъявляемым к работе на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.01.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, а её автор заслуживает присуждения этой ученой степени.

Соискатель имеет 25 статей опубликованных по теме диссертации, из них 15 представлены в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий установленный Министерством образования и науки Российской Федерации, 11 статей проиндексировано в международных системах цитирования Web of Science и SCOPUS.

Наиболее значимые работы:

1. Lyubimov D.V., Perminov A.V. Motion of a thin oblique layer of a pseudoplastic fluid // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2002. V.75, №4. P. 920-924.
2. Lyubimov D.V., Lyubimova T.P., Perminov A.V., Henry D., Ben Hadid H. Stability of convection in a horizontal channel subjected to a longitudinal temperature gradient. Part 2. Effect of a magnetic field // J. Fluid Mech. 2009. V.635. P.297-319.
3. Любимов Д.В., Любимова Т.П., Никитин Д.А., Перминов А.В. Устойчивость адвективного течения бинарной смеси в плоском горизонтальном слое с идеально теплопроводными границами // Изв. РАН. МЖГ. 2010. №3. С.129-139.
4. Любимов Д.В., Перминов А.В. Воздействие несимметричных вибраций на движение тонкого слоя вязкопластичной жидкости // Изв. РАН. МЖГ. 2011. №1. С.30-41.
5. Перминов А.В., Шулепова Е.В. Воздействие высокочастотных вибраций на конвективное движение неньютоновской жидкости // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Серия «Физико-математические науки». 2011. Т.129, №3. С.169-175.
6. Перминов А.В. Равновесные состояния обобщенной ньютоновской жидкости // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Серия «Физико-математические науки». 2012. Т.146, №2. С.163-169.
7. Любимов Д.В. Перминов А.В. Устойчивость стационарного движения слоя неньютоновской жидкости // Изв. РАН. МЖГ. 2012. №6. С.15-23.
8. Lyubimova T.P., Lyubimov D.V., Nikitin D.A., Perminov A.V. Stability of the advective flow of a binary mixture in a horizontal layer with adiabatic boundaries // Comptes Rendus Mecanique. 2013. V.341, №4-5. P.483-489.
9. Nikulin I.L., Perminov A.V., Tsaplin A.I. Mathematical model of conducting fluid convection in a non-uniform alternating magnetic field // Magnetohydrodynamics. 2013. V.49, №1. P.203-209.
10. Никулин И.Л., Перминов А.В. Моделирование индукционных процессов в проводящем цилиндре, помещенном в неоднородное переменное магнитное поле // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Серия «Физико-математические науки». 2013. Т.165, №1. С.188-195.
11. Никулин И.Л., Перминов А.В. Математическая модель конвекции никелевого расплава при индукционном переплаве. Решение магнитной подзадачи // Вестник ПНИПУ. Механика. 2013. №3. С.192-209.
12. Перминов А.В. Устойчивость жесткого состояния обобщенной ньютоновской жидкости // Изв. РАН. МЖГ. 2014. №2. С.6-15.
13. Perminov A.V. Nonstationary movement of a generalized newtonian liquid about a solid body // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2014. V.87, №1. P.145-153.
14. Перминов А.В., Любимова Т.П. Устойчивость стационарного плоскопараллельного течения псевдопластической жидкости в плоском вертикальном слое // Вычислительная механика сплошных сред. 2014. Т.7, №3. С.270-278.
15. Lyubimova T.P., Perminov A.V. Stability of stationary plane-parallel flow of viscoplastic fluid between two differentially heated vertical plates // Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics. 2015. V.224. P.51-60.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Положительный отзыв от официального оппонента Бердникова Владимира Степановича, где он указывает, что диссертация является оригинальной, завершённой научно-квалификационной работой. В ней важными являются новые научные результаты исследований влияния вибраций на характеристики течений изотермических и неизотермических обобщённых ньютоновских жидкостей вблизи стенок и в плоских слоях различной ориентации относительно вектора силы тяжести, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области вибрационной гидродинамики. Оппонент сделал ряд замечаний. В главе 1 объяснение причин увеличения сдвиговых напряжений и быстрого нарастания кажущейся вязкости в суспензиях с большим содержанием твёрдой фазы при больших скоростях сдвига или неверно или плохо сформулировано (с.27-28). В главе 2 отсутствует ясная физическая постановка задачи исследований; нет рисунков, поясняющих постановку задач, аналогичных, например, рис.3.1 и рис.4.1; основной акцент сделан на описание методики расчетов; практически полностью отсутствует графическое представление результатов расчетов и дана слишком поверхностная физическая интерпретация результатов; профили скорости на рис.2.1 для непонятно как выбранного момента времени не дают представления о гидродинамике в течение периода колебаний; в отличие от главы 4 (с.194) не указан критерий установления стационарного потока вязкопластичной жидкости, натекающего на цилиндр после его внезапного включения (с.111). В главе 3 на с.146 явно не хватает развернутой физической трактовки граничных условий на верхней границе слоя, которая может быть и свободной и твёрдой. Для понимания области практической применимости полученных результатов на с.147 не хватает таблицы физических параметров сред, аналогичной таблице 6.2 на с.287. В качестве замечания по главе 4 указывается, что выводы сформулированы в самом общем виде, а исследования выполнены в ограниченных диапазонах и при дискретном наборе параметров, которые и следовало указать в разделе 4.5. В главе 6 в формуле (6.60) на с.299 не понятно, откуда появилось число Грасгофа, если на той же странице в размерной формуле для потока тепла со свободной поверхности учтена только радиационная теплоотдача. На рис.6.6 (с.262) показаны сплошные кривые зависимостей амплитуды скорости от числа Гартмана. Как они получены, если очевидно, что были проведены расчеты при дискретном наборе чисел Na ? В первом замечании к седьмой главе оппонент отмечает, что в природных течениях многометровых масштабов типа атмосферной циркуляции Хэдли, движений в океане, коре и мантии Земли, эффект термодиффузии вряд ли имеет практическое значение. Далее отмечено, что поскольку зависимостью параметра α и остальных кинетических коэффициентов от температуры пренебрегается, то за счет чего может существенно меняться параметр разделения ε ? Для трех бинарных смесей (с.322) не указаны параметры: какие составы, какие концентрации примесей, какие значения термодиффузионных отношений и т.д.? Не поясняется смысл некоторых используемых понятий, например, "точка сборки" (с. 323). При анализе полученных данных, например, на с.326 явно не хватает диаграммы на плоскости число Рэлея – волновое число.

2. Положительный отзыв от официального оппонента Демёхина Евгения Афанасьевича, где отмечается актуальность, научная новизна и теоретическая и практическая значимость работы, а также достоверность исследований. Оппонент указывает, что диссертация Перминова А.В. написана хорошим научным языком. Автореферат диссертации полностью отражает её содержание. Оппонент отметил, что в диссертации практически нет сравнений численных результатов с экспериментальными данными и решениями модельных задач, являющихся предельными случаями задач рассматриваемых в диссертации. У оппонента возникли вопросы: "Чем обоснован выбор касательных к потоку жидкости вибраций? Будут ли вибрации других направлений

существенно влиять на структуру течения и его устойчивость?" Отмечается, что в случае нелинейно-вязких систем, полученные в диссертации уравнения термовибрационной конвекции не носят общего характера. Автор ограничивается обсуждением пределов применимости, записанных уравнений, но не делает попытки распространить их на более широкий диапазон частот вибрационных воздействий и малые скорости конвективных течений. В главе 5 обсуждение устойчивости стационарного конвективного течения жидкости Уильямсона ограничивается только рассмотрением плоских нормальных возмущений, однако, в силу нелинейно-вязких свойств жидкостей возможно появление пространственных мод возмущений, которые окажутся более опасными, чем плоские моды. В главе 6 диссертации найденный автором новый эффект дестабилизации горизонтальным магнитным полем адвективного течения проводящей жидкости изучен только для предельного случая нулевого числа Прандтля. Возникает вопрос, как проявляется данный эффект при числах Прандтля характерных для реальных жидкостей? Задача о конвекции расплава в индукционной печи содержит только постановку и расчет структуры магнитного поля. Конвективные течения и их эволюция не обсуждаются. В связи с этим исследование, представленные в п.6.2, выглядят не вполне законченными. В диссертации не даётся четкого обоснования выбора размеров расчетной области при определении структуры индукционного магнитного поля. В предельном случае высоких частот магнитного поля индуктора представляется возможным построение асимптотической теории. Результаты таких аналитических исследований можно сравнить с результатами численных расчетов.

3. Положительный отзыв от официального оппонента Саранина Владимира Александровича, где говорится, что результаты, полученные в диссертации, имеют большое значение для развития знаний в области гидродинамики и теплообмена нелинейно-вязких жидкостей при воздействии на них вибрационных полей и воздействии электромагнитных полей на проводящие жидкости. Результаты будут полезны при моделировании технологических процессов в пищевой и химической промышленности. Оппонент отметил достоверность и достаточную освещенность в научных публикациях, полученных в работе результатов. По содержанию работы он сделал следующие замечания: на стр.103 говорится, что h (расстояние между пластинами) безразмерная величина, из текста непонятно в единицах какой длины она измеряется; во втором абзаце стр.105 непонятно откуда берется выражение для q и как оно разлагается в ряд Тейлора; на стр.106 вводится коэффициент $K(n)$ и для него построен график, но ни коэффициент ни график никак не комментируются; на рис.3.1 не правильно изображена система координат, она привязана к слою жидкости, а следовало привязать её к твердой подложке; автор несколько раз употребляет словосочетание «абсолютно устойчиво» безотносительно к типу возмущений (стр.185, 206 и т.д.), что неправильно – всегда найдутся возмущения, по отношению к которым равновесие или движение будет неустойчивым; на стр.206 говорится, что абсолютно устойчивое состояние вязкопластичной жидкости достигается при $D < 0,25$, а на стр.217 то же утверждение делается для $D > 0,25$; на стр.250 без каких либо обоснований предполагается, что плотность свободного заряда в жидкости пренебрежимо мала величина; в диссертации рассмотрен достаточно широкий спектр задач, но нигде нет количественного сравнения с результатами экспериментов других авторов.

На автореферат поступило 8 положительных отзывов, из них 3 отзыва – без замечаний от: доктора физ.-мат. наук Матвиенко Олега Викторовича, профессора кафедры теоретической механики Томского государственного архитектурно-строительного университета; доктора физ.-мат. наук, профессора Шкадова Виктора Яковлевича, профессора кафедры аэромеханики и газовой динамики механико-математического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова; доктора физ.-мат. наук, профессора Смородина Бориса Леонидовича,

профессора кафедры физики фазовых переходов Пермского государственного национального исследовательского университета. Поступило 5 отзывов с замечаниями от: доктора физ.-мат. наук, профессора Дементьева Олега Николаевича, зав. кафедрой вычислительной механики и информационных технологий Челябинского государственного университета; доктора физ.-мат. наук Соболевой Елены Борисовны, ведущего научного сотрудника ФГБУН Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН; доктора физ.-мат. наук, профессора, заслуженного деятеля науки РФ Тарунина Евгения Леонидовича, профессора кафедры прикладной математики и информатики Пермского государственного национального исследовательского университета; доктора физ.-мат. наук, профессора Цвелодуба Олега Юрьевича, главного научного сотрудника Института теплофизики СО РАН; доктора физ.-мат. наук, профессора Пещеренко Сергея Николаевича, начальника Инженерно-технического центра АО «Новомет-Пермь».

В качестве замечаний отмечено: в автореферате мало сказано о математической модели конвекции расплава в высокочастотном неоднородном магнитном поле, а так же уравнениях и эффективном граничном условии на границе погранслоя; целесообразно хотя бы в нескольких случаях привести детали численных решений: используемые сетки в методе конечных разностей, затраты компьютерного времени и конкретные цифровые данные о погрешностях применяемых методов; в «заключении» не очень четко сформулированы выводы; в автореферате приведено мало графического материала, что затрудняет понимание и оценку результатов работы, представленные рисунки не всегда четко прокомментированы в тексте автореферата; на стр.17 приводится формула для критического числа Рейнольдса, из текста автореферата не ясно, каким образом была получена данная формула и значения коэффициентов δ и β ; не ясно, как определялось вибрационное число Грасгофа (стр.19); не понятно, как проводились нелинейные расчеты, и как именно для них определялись «критические числа Грасгофа и частоты критических колебательных возмущений»; на стр.22-23 фактически одной буквой H обозначены напряженность магнитного поля и высота канала, из текста не понятно, чем отличаются «напряженность магнитного поля» и «индукция внешнего магнитного поля»; в автореферате отсутствует четкая формулировка проблемы, на решение которой направлено данное исследование в целом, нет достаточного обоснования необходимости решения выбранного круга задач.

В отзывах отмечено, что диссертация выполнена на высоком научном уровне, тема работы является актуальной, результаты имеют теоретическую и практическую значимость, вносят значительный вклад в решение фундаментальных вопросов влияния внешних силовых полей и физических свойств нелинейно-вязких и бинарных сред на течения жидкостей и их устойчивость.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

официальные оппоненты являются известными ведущими специалистами изучающими: конвективные движения жидкостей, обладающих особыми свойствами, течения в пленках и тонких слоях жидкостей, воздействия внешних силовых полей на равновесные состояния и течения жидкостей; имеют большое число публикации с результатами теоретических и экспериментальных исследований в рецензируемых научных изданиях; обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну, научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность представленных на защиту результатов;

ведущая организация ФГБУН «Институт проблем машиноведения» РАН, г. Санкт-Петербург, широко известна своими достижениями мирового уровня в изучении вибрационных воздействий на различные механические системы, в том числе на

реологически сложные среды, составитель отзыва профессор Блехман И.И. является одним из основателей вибрационной механики.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны теоретические положения, позволяющие описать влияние гравитационного, вибрационного и магнитного полей на поведение жидкостей с различной реологией;

предложены математические модели изотермических и неизотермических течений нелинейно-вязких и вязкопластических жидкостей при наличии вибраций; тепло- и массопереноса и диффузии магнитного поля в проводящих жидкостях;

доказана перспективность использования высокочастотных вибраций и магнитных полей для управления движением нелинейно-вязких, вязкопластических и проводящих жидкостей;

введена классификация типов неустойчивости адвективных течений бинарных жидкостей при наличии эффекта термодиффузии.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что доказано:

– неньютоновские свойства дилатантной жидкости увеличивают амплитуду пульсационного течения и уменьшают интенсивность осредненного течения в пределах вязкого стоксовского слоя;

– несимметричные касательные вибрации могут генерировать движение вязкопластичной жидкости по наклонной твердой поверхности против поля тяжести;

– наличие частот вибраций, при которых происходит усиление интенсивности течения слоя вязкопластичной жидкости по наклонной твердой поверхности;

– связь неустойчивости стационарных плоскопараллельных течений в наклонных слоях вязко- и псевдопластичных жидкостей с колебательными длинноволновыми возмущениями;

– при наличии высокочастотных вибраций наклонный слой вязкопластичной жидкости может находиться в жестком состоянии при произвольной ориентации градиента температуры; жесткое состояние становится неустойчивым при ориентациях слоя, близких к вертикали или горизонтали; высокочастотные вибрации стабилизируют жесткое состояние;

– значение числа Прандтля, определяющее переход от монотонной к колебательной неустойчивости стационарного конвективного течения жидкости Уильямсона в вертикальном слое, уменьшается с увеличением предельного напряжения сдвига;

– увеличение предела текучести среды приводит к стабилизации конвективного течения;

– дестабилизирующее действие горизонтального магнитного поля на течение слабопроводящей жидкости при нулевом числе Прандтля;

– существование оптимального значения частоты магнитного поля для прогрева парамагнитного образца;

– дестабилизации течения в плоском горизонтальном слое бинарной смеси при больших числах Прандтля и нормальном термодиффузионном эффекте.

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)

использованы аналитические и численные методы линейного и нелинейного анализа течений сложных жидкостей и их устойчивости;

изложены новые результаты, подтверждающие эффективность управления с помощью вибрационных и магнитных полей изотермическими и неизотермическими течениями обобщенных ньютоновских жидкостей;

раскрыты особенности поведения нелинейно-вязких, вязкопластических, проводящих и бинарных жидкостей в высокочастотных вибрационных и магнитных полях;

изучено влияние переменных внешних полей на стационарные течения жидкостей с различной реологией и их устойчивость;

проведена модернизация существующих математических моделей, обеспечившая получение новых результатов по теме диссертации.

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

разработаны рекомендации по использованию высокочастотных вибрационных и магнитных полей для управления устойчивостью и стационарными течениями жидкостей с различной реологией;

определены пределы применимости уравнений термовибрационной конвекции для описания течений обобщенных ньютоновских жидкостей в поле высокочастотных вибраций;

создана математическая модель тепло- массопереноса и диффузии магнитного поля в парамагнитном расплаве, находящемся в индукционной печи;

представлены результаты численного анализа структуры и устойчивости течений нелинейно-вязких, проводящих и бинарных жидкостей во внешних силовых полях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных и проверяемых приближениях механики сплошной среды; при выводе уравнений для пульсационных и осредненных течений используется известный метод многих масштабов;

идея базируется на обобщении передового опыта исследования изотермических и неизотермических течений жидкостей с различными свойствами;

использованы современные методики обработки исходной информации об объектах исследования и характере изучаемых явлений;

установлено качественное и количественное согласие результатов диссертации в предельных случаях с результатами, представленными в независимых источниках; сходимость результатов численных расчетов при дроблении шага сетки.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач исследований, проведении численного моделирования и аналитических расчетов, обсуждении полученных результатов и подготовке публикаций; результаты совместных работ представлены в диссертации с согласия соавторов.

На заседании 12 мая 2016 г. диссертационный совет принял решение присудить Перминову А.В. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 8 докторов наук по специальности 01.02.05 – по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 17, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета



Матвеев

/ Матвеев Валерий Павлович

Ученый секретарь

диссертационного совета

Зуев

/ Зуев Андрей Леонидович

12.05.2016 г.

М.П.