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 КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 20.10.2016 № 134

О присуждении *Краузину Павлу Васильевичу*, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Процессы переноса в природных пористых средах» по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите 26.07.2016, протокол № 117 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 Краузин Павел Васильевич 1989 года рождения, в 2011 г. окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образовании «Пермский государственный университет» (ГОУ ВПО «ПГУ») по направлению «Физика конденсированного состояния вещества», специализация «Физика фазовых превращений». В 2014 г. окончил аспирантуру очной формы обучения в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук по научной специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы. В настоящее время работает старшим преподавателем кафедры физики фазовых переходов ПГНИУ. Диссертация выполнена в группе динамики геологических систем ИМСС УрО РАН.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Райхер Юрий Львович, заведующий лабораторией физики и механики мягкого вещества ИМСС УрО РАН.

Официальные оппоненты:

1. Пелиновский Ефим Наумович, доктор физико-математических наук, профессор (ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»);
2. Файзрахманова Ирина Сергеевна, кандидат физико-математических наук (ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»).

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», г. Саратов, в своем положительном заключении, составленным Рыскиным Никитой Михайловичем, д.ф.-м.н., профессором, заведующим кафедрой нелинейной физики, и утвержденном проректором по НИР, д.ф.-м.н., профессором А.А. Короновским, указала, что диссертация является за-

конченной научно-квалификационной работой, имеющей важное научное и прикладное значение, в которой численными и аналитическими методами изучены явления диффузионного транспорта в насыщенных растворах при неоднородных и нестационарных полях термодинамических параметров; также получены свойства подобия для соотношения между удельной электропроводностью определенного типа сред и размером гранул в них. Диссертация удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор Краузин Павел Васильевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Соискателем опубликовано 14 работ по теме диссертации, из них 4 статьи в рецензируемых научных изданиях (журналах, рекомендуемых ВАК), 2 из которых также индексированы в базе Web of Science и 3 в базе Scopus. Наиболее значительные работы:

1. Голдобин Д.С., Краузин П.В. Насыщение затопленных почв двухкомпонентной смесью газов // Вестник ПНИПУ. Механика. 2013. № 4. С. 33–41.
2. Голдобин Д.С., Краузин П.В. Скейлинг свойств электропроводности гранулированных сред // Письма в ЖЭТФ. 2014. Т. 99, № 5. С. 314–318.
3. Krauzin P.V., Goldobin D.S. Effect of temperature wave on the gas transport in liquid-saturated porous media // The European Physical Journal Plus. 2014. Vol. 129, no. 10. P. 221 (1–8).
4. Goldobin D.S., Krauzin P.V. Formation of bubbly horizon in liquid-saturated porous medium by surface temperature oscillation // Physical Review E. 2015. Vol. 92, no. 6. P. 063032 (1–8).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: от оппонентов и ведущей организации.

1. Положительный отзыв официального оппонента Пелиновского Ефима Наумовича. В отзыве указывается на то, что диссертация имеет важное научное и прикладное значение; является законченной научно-исследовательской работой, в которой изучены явления диффузионного транспорта в насыщенных растворах при неоднородном и нестационарном профиле растворимости. Оппонент отмечает, что уравнение (2.13) на стр. 82 верно только при $P < \Pi$. Обоснование уравнений, хоть далее они и верны, представляется туманным и не вполне удачно сформулировано. В разделе 2.3 приведенные результаты численных расчетов показывают, что состав газовой смеси оказывается слабо чувствителен к температурной волне. Складывается впечатление, что для системы применимо эффективное однокомпонентное описание. Однако, диссертант не предпринимает попытки построить такое описание, а то, каковы должны быть свойства такого эффективного газа, неочевидно. На стр. 94–95, формулы (3.6) и (3.7) и содержащий их абзац представляются избыточными, поскольку теория Герца построена в приближении малых деформаций и малой области деформации. В этом приближении формулы (3.6) и (3.7) принимают более простой предельный вид. На стр. 99 тот факт, что формула (3.18) дает постоянное значение потенциала на контакте, достаточно хорошо известен их теории интегральных уравнений, чтобы подтверждать его численным счетом, представлен-

ным на рис. 3.5 (стр. 101). В тексте диссертации имеются отдельные неточности в формулировках, стилистические погрешности и опечатки.

2. Положительный отзыв официального оппонента Файзрахмановой Ирины Сергеевны. В отзыве указано, что диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой подробно изучены явления диффузионного транспорта в насыщенных растворах; полученные результаты являются актуальными и оригинальными. Оппонент отмечает, что во введении слишком много внимания уделено истории развития теории растворимости газов в жидкостях, тогда как основная часть работы посвящена исследованию транспортных процессов, при которых зависимость растворимости от температуры и давления является важным обстоятельство, но не предметом исследования. Из текста неясно, каким образом в численных расчетах записывалось уравнение для эволюции концентрации газа, находящегося в пузырьковой фазе. Так, например, величина F, отвечающая за изменение такой концентрации (формула (1.27), стр. 52), допускает случай $X_s - X > X_b$, при котором X_b становится отрицательной. Материальный параметр q, входящий в закон растворимости газа в жидкости (формула (1.3), стр. 28), для всех рассматриваемых реальных газов положителен (табл. 1.1, стр. 28), однако при изучении диффузионного переноса двухкомпонентной смеси газов один из модельных газов имеет $q < 0$ (стр. 84). Что это физически означает? Как всегда в большой работе, имеются некоторые грамматические ошибки (несогласование по падежам и числам) и опечатки («число Сорэ» на стр. 25, вместо общепринятого «число Соре», как в остальных случаях написания, и т.д.).

3. Положительный отзыв ведущей организации. В отзыве отмечается актуальность темы диссертации, основные научные результаты, теоретическая и практическая значимость работы, достоверность результатов. Ведущая организация в отзыве приводит несколько замечаний. Название диссертации представляется чересчур общим, поскольку в диссертации решаются вполне конкретные задачи, а не рассматриваются вообще все возможные процессы переноса во всевозможных пористых средах. То же самое можно сказать относительно названий глав, например, гл. 3 называется «Электропроводность гранулированных сред» – это даже более широкое понятие, чем тема докторской диссертации. Цель диссертации сформулирована как «исследование процессов переноса в природных пористых системах». Это также очень широкая формулировка, кроме того, при такой формулировке затрудняется оценка степень ее достижения, т.к. исследование – это процесс, а не результат. Впрочем, следует заметить, что задачи работы сформулированы достаточно конкретно. Положения, выносимые на защиту, не носят характер утверждений, справедливость которых должна быть подтверждена в процессе защиты. Они сформулированы, скорее, как результаты («найдено аналитическое выражение…», «получены численные результаты и приближенные аналитические решения …» и т.д.). В работе отсутствуют выводы по главам, что затрудняет восприятие. В тексте диссертации встречаются опечатки, несогласованные и стилистически неудачные предложения. Например, фразы «дисперсия распределения сил станет сколь угодно большая по сравнению со средней силы на заданной глубине» и «Визуализации сил в

трехмерном случае осложнена тем, что поверхности шаров рассеивают поляризованный свет во всех различных направлениях поляризации — находится шар под напряжением или нет» (стр. 18); «Другим выводом из анализа результатов численных расчетов состоит в интересном факте» (стр. 20) и т.д. Встречаются жаргонные выражения, например, «результаты аналитики» (стр. 67).

На автореферат поступило 4 отзыва:

1. Положительный отзыв от Перминова А.В., к.ф.-м.н., доцента, доцента кафедры общей физики ФГБОУ ВО Пермский, национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь;
2. Положительный отзыв от Смирнова Д.А., д.ф.-м.н., профессора РАН, ведущего научного сотрудника Саратовского филиала ФГБУН Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, г. Саратов;
3. Положительный отзыв от Волкова Е.И., д.ф.-м.н., главного научного сотрудника лаборатории нелинейной динамики и теоретической биофизики ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва;
4. Положительный отзыв от Алабужева А.А., к.ф.-м.н., старшего научного сотрудника лаборатории вычислительной гидродинамики ФГБУН Институт механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь.

В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания:

- При описании постановок задач диссертант в тексте автореферата не приводит определяющих уравнений, что затрудняет понимание результатов.
- В автореферате наибольшее внимание уделено описанию результатов первой главы диссертации, из чего складывается впечатление, что результаты остальных глав менее важны. В автореферате второй и третьей главе совокупно уделено чуть более 1 страницы текста. По этим главам отсутствует какой-либо графический материал.
- Из рис. 1 и 2 следует, что в расчетах фиксируется значение длины температурной волны, проникающей в массив (λ =7.85 м). Из текста не ясно, чем обусловлен такой выбор значения λ.
- На стр. 9 автореферата декларируется, что «рассмотренные явления обобщены на ряд систем с произвольным законом изменения температуры поверхности массива…»; далее на стр. 12, в конце описания результатов третьей главы, сообщается, что «проанализированы возможные границы применимости полученных результатов и определены предельные значения давления в гранулированной среде». Из текста автореферата не ясно, каков результат заявленного автором «рассмотрения», «анализа» и «определения».
- Во второй главе рассматривается двухкомпонентный газ (и два положения из этой главы выносятся на защиту), а третья глава посвящена совершенно другой задаче.
- Абзацы, подобные «Проанализированы возможные границы применимости полученных результатов и определены предельные значения давления в гранулированной среде» на стр. 12 и «6. Установлены границы применимости теории…» на стр. 13,

возможно, можно было и объединить.

В отзывах отмечено, что диссертация является законченным исследованием и представляет научный интерес, прошла достаточную апробацию, содержит новые результаты, достоверность которых обоснована, тема работы является актуальной, результаты имеют высокую научную ценность и большое прикладное значение.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

официальные оппоненты являются одними из ведущих специалистов в области физической гидродинамики, имеют большое число публикации с результатами теоретических работ по разработке физико-математических моделей волновых процессов и их применению в прогнозировании морских природных катастроф, изучению конвекции в слое бинарной смеси; обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов;

ведущая организация ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» является одним из научно-образовательных центров России, включает в свою структуру факультет нелинейных процессов – единственный в России и не имеющий прямых аналогов в мире. СГУ хорошо известен своими междисциплинарными научными исследованиями процессов самоорганизации и образования, поддержания и распада структур в нелинейных системах самой разной природы, выявлением общих методов и закономерностей в различных областях естествознания.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны модели, позволяющие описать влияние температурной волны на транспорт слаборастворимых веществ в жидкости, насыщающей пористую среду;

предложен подход к задаче об определении электропроводности гранулированных сред от величины внешней механической нагрузки и размера частиц на основе анализа масштабного подобия системы;

доказана значимость поля гидростатического давления и механизма транспорта для динамики массопереноса в порах;

введена классификация типов формирующихся слоев газовой фазы.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано:

– в пористых средах, насыщенных жидкостью, температурная волна может приводить как к обогащению, так и к обеднению приповерхностной зоны газовой фазы при преобладании молекулярной диффузии, и только к обогащению – в системах с преобладанием конвективной диффузии;

– при контакте пористой среды с резервуаром слаборастворимого вещества температурная волна приводит к неоднородному распределению массы этого вещества в пористой

среде, что выражается в формировании локализованной области, внутри которой количество вещества превышает среднюю по времени концентрацию насыщения;
– поверхностный механизм проводимости гранулированной среды в условиях упругого контакта между ее частицами по типу Герца придает макроскопической удельной электропроводности как функции размера частиц скейлинговые свойства.

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)
использованы аналитические и численные методы исследования диффузионного массопереноса, а также анализ масштабного подобия системы;
изложены новые результаты, устанавливающие существенное влияние температурной волны на диффузионный транспорт слаборастворимых веществ, обусловленный экспоненциальной зависимостью растворимости и коэффициента молекулярной диффузии от температуры;
раскрыты особенности образования зон нерастворенной фазы для различных типов зависимости растворимости от давления;
изучено влияние физико-химических свойств газов, составляющих двухкомпонентную смесь, на особенности формирования пузырькового горизонта;
проведена модернизация существующих математических моделей диффузионного транспорта растворов многокомпонентных газов в условиях сосуществования зон с нерастворенной фазой и без нее, что обеспечило получение новых результатов по теме диссертации.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:
разработана теоретическая модель, позволяющая управлять пространственным распределением нерастворенной (газовой или твердой) фазы в пористой матрице посредством модуляции колебаний температуры ее поверхности;
определены пределы применимости предложенного скейлингового описания электропроводности в гранулированных средах с поверхностным механизмом проводимости; показано, что по данным об удельной электропроводности пористой среды можно восстановить транспортные характеристики этой среды;
создана математическая модель диффузионного переноса слаборастворимых веществ в природных геологических массивах (заболоченные почвы) при наличии колебаний температуры на поверхности;
представлены численные и аналитические результаты расчета распределения концентрации метана в газовой фазе в системах, соответствующих торфяным болотам.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:
теория построена на известных и проверяемых приближениях сплошной среды, хорошо известных методах малого параметра и Боголюбова-Крылова;
идея базируется на обобщении передового опыта по решению задач процессов массопереноса в природных средах;

использованы современные апробированные численные и аналитические методы, результаты статистической теории жидкости и классической теории Герца для контакта упругих выпуклых тел;

установлено качественное и количественное согласие между данными проведенного численного моделирования и результатами аналитических расчетов, соответствующих предельным случаям решаемых задач, установлена сходимость и устойчивость процессов численного решения решенных краевых задач.

Личный вклад соискателя состоит в проведении численного моделирования и аналитических расчетов. Постановка задач, результаты исследования и их интерпретация обсуждалась с научным руководителем Ю.Л. Райхером. Выбор теоретических моделей и методов решения, а также подготовка публикаций осуществлялись совместно с Д.С. Голдобиным.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи (проблемы) и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием плана исследований, обладающего понятной внутренней логикой; постановкой проблем сначала в общей форме, а затем сведением их к последовательности частных задач по критериям степени насыщения раствора и одно- или двухкомпонентности растворимого вещества. Аналитические решения позволяют проводить более детальный анализ рассматриваемых явлений.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи (проблемы) и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, концептуальности и взаимосвязи основных выводов.

На заседании 20 октября 2016 г. диссертационный совет принял решение присудить Краузину П.В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 21, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета _____ / Матвеенко Валерий Павлович

Ученый секретарь
диссертационного совета _____ / Зуев Андрей Леонидович

20.10.2016 г. М.П.