



**Уральский  
федеральный  
университет**

имени первого Президента  
России Б.Н.Ельцина

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ)

ул. Мира, 19, Екатеринбург, 620002,  
факс: +7 (343) 375-97-78; тел.: +7 (343) 374-38-84  
контакт-центр: +7 (343) 375-44-44, 8-800-100-50-44 (звонок бесплатный)  
e-mail: rector@urfu.ru, www.urfu.ru  
ОКПО 02069208, ОГРН 1026604939855, ИНН/КПП 6660003190/667001001

14.02.2019г. № 55.14-06/35  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель проректора по науке ФГАОУ ВО  
«Уральский федеральный университет имени  
первого Президента России Б.Н. Ельцина»

  
А.О. Иванов

### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» на диссертационную работу Колчанова Николая Викторовича «Гравитационная конвекция в горизонтальном слое магнитной жидкости», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертация посвящена экспериментальному исследованию гравитационной конвекции в подогреваемом снизу горизонтальном слое магнитной жидкости в условиях слабой и умеренной надкритичности в отсутствие внешнего магнитного поля. Целью работы является определение структуры конвективных течений в околоскритической области, измерение интегрального теплопереноса через слой жидкости при умеренных надкритичностях, оценка роли седиментационных процессов и их взаимосвязи с конвективными течениями. Большинство результатов получено автором благодаря разработке и применению оригинального бесконтактного метода измерения температуры, базирующегося на использовании тепловизора и системы воздушного термостатирования.

**Актуальность** темы диссертационной работы связана с несколькими обстоятельствами.

1 Проблемой построения моделей тепловой конвекции в коллоидных суспензиях с учётом стратификации жидкости по плотности, возникающей из-за седиментации частиц.

2 Проблемой агрегативной устойчивости и стабильности магнитных жидкостей, предназначенных для работы в теплообменных устройствах. Известно, что в магнитных жидкостях могут образовываться агрегаты феррочастиц в результате ван-дер-ваальсовых и магнитодипольных межчастичных взаимодействий. Наличие агрегатов феррочастиц может существенно повлиять на процессы теплопередачи.

3 Проблемой усиления теплопереноса в малогабаритных электромагнитных устройствах, где присутствующие магнитные поля в совокупности с неоднородным нагревом могут вызывать термоконвективное течение магнитной жидкости.

**Наиболее важные результаты**, определяющие **научную новизну** диссертационной работы Колчанова Н.В., состоят в следующем.

1 Разработана, изготовлена и отъюстирована тепловизионная система для наблюдения за тепловой конвекцией в горизонтальном слое магнитной жидкости. Главной особенностью установки является возможность визуализировать и измерять поля температур на поверхности магнитной жидкости.

2 Исследована гравитационная конвекция образцов магнитной жидкости с разными реологическими свойствами в области умеренных чисел Рэлея. Впервые зафиксированы нестационарные конвективные режимы с упорядоченной пространственной структурой в надкритической области параметров. Построена карта этих режимов.

3 Впервые продемонстрирована зависимость вида конвективных структур в горизонтальном слое магнитной жидкости от начального состояния системы: в жидкости с барометрическим распределением частиц по высоте обнаружены конвективные квазирегулярные колебания, которые не возникают в отсутствие барометрического распределения.

4 В области умеренных чисел Нуссельта интегральный теплопоток через плоский слой магнитной жидкости определяется обычным тепловым числом Рэлея, несмотря на существование седиментационных, диффузионных и термодиффузионных процессов и сложную структуру надкритических течений.

5 Предложена гипотеза о том, что формирование нестационарных режимов конвекции с упорядоченной пространственной структурой возможно только при наличии агрегатов с характерными размерами в несколько десятков нанометров.



Таким образом, результаты диссертационной работы Н.В. Колчанова позволяют расширить существующие представления о конвективной устойчивости и течениях магнитной жидкости в условиях слабой и умеренной надкритичностей, и использовать тепловое число Рэлея в качестве параметра, определяющего интегральные тепловые потоки.

**Структура и содержание работы.** Диссертационная работа Н.В. Колчанова «Гравитационная конвекция в горизонтальном слое магнитной жидкости» состоит из введения, обзора литературы, четырех оригинальных глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего 200 наименований. Общий объем диссертации 115 страниц машинописного текста, которые содержат 46 рисунков и 5 таблиц. Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель, задачи и основные положения, раскрыта научная новизна и практическая значимость работы.

**Первая глава** носит обзорный характер. Приводятся общие сведения о магнитной жидкости, особенности термомагнитной конвекции, описание эффектов (магнитовязкий эффект, термодиффузия, седиментация), которые влияют на возникновение и развитие конвективных течений в магнитной жидкости. Излагаются результаты ранее опубликованных исследований, касающиеся гравитационной конвекции в горизонтальном слое однокомпонентной жидкости, молекулярных смесей, магнитных и немагнитных коллоидных суспензиях. Обзор литературы соответствует современному состоянию науки о конвекции в магнитных жидкостях. Автор демонстрирует отличное знание литературы и глубокое понимание научных проблем. На основании аналитического обзора сделан вывод о необходимости экспериментального исследования гравитационной конвекции в горизонтальном слое магнитной жидкости.

**Во второй главе** диссертации описываются особенности тепловизионной системы, предназначенной для исследования гравитационной конвекции непрозрачной магнитной жидкости в горизонтальном слое, постановка и результаты тестовых опытов с однокомпонентными жидкостями и молекулярными растворами, реологические свойства исследуемых образцов магнитной жидкости. Автором изготовлена система воздушного термостатирования верхней стенки рабочей полости, позволяющая проводить с высокой точностью измерения температуры на поверхности магнитной жидкости. В опытах с трансформаторным маслом в подкритической области чисел Рэлея обнаружены конвективные течения, вызванные термодиффузией примеси и характерные для бинарных растворов. При помощи капиллярного вискозиметра, оснащённого датчиками авторской разработки, измерена вязкость двух магнитных жидкостей (на основе керосина и ундекана, соответственно). Построены температурные и концентрационные зависимости вязкости.

Показаны различия в реологических свойствах исследуемых образцов. Для аппроксимации дискретного набора экспериментальных данных о динамической вязкости использована модифицированная формула Чонга.

**Третья глава** посвящена изучению тепловой конвекции в горизонтальном слое магнитной жидкости на основе керосина. Описаны две серии опытов, отличающиеся начальным состоянием магнитной жидкости. Первая серия опытов проведена с магнитной жидкостью, стратифицированной по плотности за счёт седиментации частиц. В этой серии опытов впервые наблюдался новый вид конвективных течений магнитной жидкости, сопровождающихся упорядоченным движением температурных возмущений вдоль горизонтального слоя. Вторая серия опытов проведена с однородной по плотности жидкостью, которая предварительно была перемешана. В этом случае наблюдались конвективные структуры, наблюдавшиеся ранее в работах предшественников (Bozhko A. A., Putin G. F. et al. // Heat Transfer Research. 2000), а новый вид течений не возникал. Хотя пороговые значения числа Рэлея ( $Ra_c$ ), соответствующие возникновению конвекции в горизонтальном слое в разных сериях опытов, отличаются друг от друга в 1.8 раза, на интегральном теплотоке это различие не сказывается. Зависимости  $Nu(Ra)$  из первой и второй серий совпадают в пределах погрешности измерений. Это означает, что вклад слабых конвективных течений в интегральный теплоперенос в подкритической области чисел Рэлея во второй серии опытов пренебрежимо мал. В конце главы сделан вывод о том, что стратификация магнитной жидкости по плотности связана с седиментацией агрегатов.

**В четвертой главе** изучено влияние средней температуры магнитной жидкости на конвективные течения в условиях слабой и умеренной надкритичности. Для исследования выбрана магнитная жидкость на основе ундекана. Опыты проделаны для средних температур от 20 до 55°C. Из результатов, описанных в главе, можно выделить обнаружение нестационарных конвективных течений с сетчатыми структурами и построение карты таких течений в координатах: число Рэлея - средняя температура. Н.В. Колчанов обнаружил также, что зависимость  $Nu(Ra)$  не чувствительна к средней температуре жидкого слоя и, соответственно к теплофизическим свойствам магнитной жидкости. Эти результаты ценны тем, что подтверждают вывод, сделанный в главе 3, о существовании универсальной зависимости интегрального теплотока от числа Рэлея  $Nu(Ra)$ , несмотря на сложный состав магнитных жидкостей и сложную структуру конвективных течений.

**По диссертации Н.В. Колчанова возникли следующие замечания и вопросы:**

1. В подразделе 3.3.1 диссертации автор описывает режим конвекции с «упорядоченным движением температурных возмущений вдоль горизонтального слоя». Из текста на стр. 69-71



диссертации и стр. 11-12 автореферата можно понять, что существует некоторое «выделенное» направление, причины появления которого остаются неясными. Можно предположить, что это «выделенное» направление связано с конструктивными особенностями установки: наклоном слоя, горизонтальными градиентами плотности и др. Так ли это?

2. В главах 3 и 4 описаны две различные магнитные жидкости с одинаковой объёмной долей твёрдой фазы в 14 %. Причины такого выбора остаются непонятными.

3. В пункте 6 основных результатов, стр. 96 диссертации и стр. 16 автореферата, говорится следующее: «Получены дополнительные аргументы, подтверждающее существенное влияние агрегатов на формирование нестационарных режимов конвекции. Нестационарная конвекция с упорядоченной пространственной структурой связывается нами с наличием агрегатов, размеры которых больше 60 нм». Если автор полагает, что в магнитных жидкостях присутствуют агрегаты, почему не были применены другие способы, чтобы установить их наличие? Например, крупные агрегаты можно увидеть в микроскоп, если поместить магнитную жидкость в магнитное поле.

4. Каковы, по мнению автора, основные причины возникновения агрегатов феррочастиц в исследуемых образцах: межчастичные диполь-дипольные взаимодействия или слипание частиц за счет нарушения их защитных оболочек?

5. В подразделе 3.4 диссертации оценивается седиментационная длина и делается вывод о влиянии агрегатов на конвективные течения в магнитной жидкости. В диссертации не приведено значение плотности агрегатов, которое используется в этих оценках.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не влияют на общее, очень хорошее впечатление о диссертации. **Анализ диссертационной работы** показывает, что содержание и структура диссертации находятся в логическом единстве и соответствуют поставленной цели исследования. Работа выполнена на высоком методическом уровне. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 20 печатных работах, **из них 2 статьи опубликованы в рецензируемом журнале International Journal of Heat and Mass Transfer, входящем в список ВАК и в первый квартиль баз данных Web of Science и Scopus.** Еще три статьи опубликованы в журнале, индексируемом в РИНЦ. Научные результаты Н.В. Колчанова хорошо известны специалистам, работающим с магнитными жидкостями, по докладам автора на международных и российских конференциях. Диссертация хорошо оформлена и легко читается. **Текст автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.** Он в достаточном для понимания объеме отражает наиболее важные моменты работы. Оформление автореферата отвечает требованиям положения ВАК РФ.

**Достоверность полученных результатов** обеспечивается использованием апробированных методов исследования, хорошим согласием результатов тестовых опытов с результатами работ других авторов по конвекции в горизонтальном слое однокомпонентной жидкости и молекулярной смеси, использованием современного тепловизора с высокой точностью измерения температуры и дублированием измерительных систем и систем термостатирования.

**Научная и практическая значимость работы** заключается в следующем: 1) разработанное автором дополнительное оборудование (тепловизионная система и оригинальные датчики уровня жидкости в капиллярном вискозиметре) для достижения основных целей диссертации может быть использовано для решения других конвективных задач и измерения вязкости непрозрачных жидкостей; 2) результаты измерения теплового потока будут полезны при разработке устройств теплопередачи, теплоносителем которых является магнитная жидкость; 3) информация о разнообразии конвективных течений и вывод о существенном влиянии агрегатов на эти течения в условиях умеренной надкритичности расширяют представления о свойствах и структуре магнитной жидкости.

**Результаты и выводы, приведенные в диссертации, можно рекомендовать к использованию в Уральском федеральном университете имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург), Пермском федеральном исследовательском центре УрО РАН (Пермь), Институте механики МГУ им. Ломоносова (Москва), Институте химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (Иваново), Северо-Кавказском федеральном университете (Ставрополь), Ивановском государственном энергетическом университете им. В.И. Ленина (Иваново), Юго-Западном государственном университете (Курск).**

### **Заключение**

Диссертационная работа Колчанова Николая Викторовича «Гравитационная конвекция в горизонтальном слое магнитной жидкости» оставляет очень хорошее впечатление. Сделанные выше замечания не носят принципиального характера. Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых российских и международных журналах, входящих в список ВАК и в базы данных Web of Science, Scopus и РИНЦ. Диссертация Н.В. Колчанова является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны положения, совокупность которых можно квалифицировать как серьезное научное достижение в области конвективного тепло- и



массопереноса в магнитных коллоидных растворах. Таким образом, диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, **Колчанов Николай Викторович**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

Диссертация Н.В. Колчанова обсуждалась 17.01.2019 на научном семинаре кафедры теоретической и математической физики института естественных наук и математики УрФУ и получила положительную оценку. Отзыв ведущей организации одобрен на заседании кафедры теоретической и математической физики института естественных наук и математики УрФУ (протокол №100.089-06/01 / от 22.01.2019 ).

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования

«Уральский федеральный университет имени  
первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Web-сайт организации: <https://urfu.ru/>

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Телефон: +7 (343) 375-44-44

Адрес электронной почты: [rector@urfu.ru](mailto:rector@urfu.ru)

заведующий кафедрой теоретической и  
математической физики

института естественных наук и математики  
УрФУ,

доктор физ.-мат. наук, доцент

Елфимова Екатерина Александровна



Е.А. Елфимова.

