

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор ФГБОУ ВО «Удмуртский  
государственный университет» по  
науке и программам стратегического  
развития, доктор экономических наук,  
профессор



А.М. Макаров

«09» октября 2024 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Никулиной Светланы Анатольевны «Влияние высокочастотных вибраций и гравитационного поля различной интенсивности на конвективные течения ньютоновской и псевдопластической жидкостей», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 — Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертационная работа С.А. Никулиной посвящена теоретическому и численному исследованию закономерностей совместного влияния гравитационного и вибрационного воздействий различной интенсивности на движение ньютоновской и псевдопластической жидкостей в замкнутой прямоугольной полости. В работе проведен анализ и обобщение существующих подходов к описанию ньютоновской и псевдопластической жидкостей и известных физических эффектов, возникающих при вибрационном воздействии на такие жидкости. Выполнено численное исследование структур осреднённых и пульсационных течений и тепловых полей в жидкостях при различных значениях реологических параметров в замкнутых прямоугольных полостях. Построены карты осредненных конвективных режимов ньютоновской жидкости на плоскости управляющих параметров. Выполнено описание стационарных осредненных и периодических колебательных конвективных режимов течений ньютоновской и псевдопластической жидкостей. В работе определены границы устойчивости

стационарных осредненных конвективных течений ньютоновской и псевдопластической жидкостей при варьировании управляющих параметров.

**Актуальность темы исследований** диссертанта обусловлена необходимостью развития и разработки фундаментальных основ теории вибрационной конвекции линейно- и нелинейно-вязких сред и управления такими течениями. Важно отметить, что влияние вибраций на конвективные течения псевдопластических жидкостей при различной интенсивности гравитационного поля недостаточно изучено даже в плоской постановке. В этом ключе подготовленная диссертационная работа С.А. Никулиной является несомненно актуальной и расширяет спектр решенных задач в области гидродинамики ньютоновской и псевдопластической жидкостей.

Высокая степень **обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, достоверности результатов** обусловлены использованием проверенных методов и совпадении в предельных случаях с результатами других авторов. Для выполнения расчетов использовались известные и хорошо зарекомендовавшие себя в гидродинамических задачах численные методы – метод конечных разностей, двухполевой метод. В работе показана сходимость численных решений при последовательном уменьшении шага расчетной сетки.

В диссертации содержится целый ряд **новых результатов**, среди которых следует особенно отметить следующие.

1. Сформулирована нелинейная задача осредненной конвекции ньютоновской и псевдопластической жидкостей в замкнутой полости с различным аспектным соотношением в поле высокочастотных вибраций и показано, что вклад нелинейной вязкости в генерацию осредненной конвекции определяется специальным вибрационным параметром.

2. Впервые построены карты осредненных конвективных режимов ньютоновской жидкости в замкнутой квадратной полости, совершающей высокочастотные линейно-поляризованные вибрации, на плоскости управляющих параметров «число Грасгофа – вибрационный параметр» для различной интенсивности гравитационного и вибрационного воздействий.

3. Исследованы структуры конвективных режимов ньютоновских и псевдопластических жидкостей при различных значениях управляющих параметров в прямоугольных полостях в поле высокочастотных вибраций для различной интенсивности гравитационного воздействия.



4. Впервые определена граница устойчивости осредненного конвективного течения высоковязкой ньютоновской жидкости на плоскости управляющих параметров «число Грасгофа – вибрационный параметр».

5. Определены пороговые значения вибрационного числа Грасгофа и числа Нуссельта, соответствующие смене режимов стационарного конвективного течения, для случая термовибрационной конвекции псевдопластической жидкости в прямоугольной полости.

6. Обнаружены два типа решений в задаче об осредненной конвекции псевдопластической жидкости в замкнутой полости при воздействии высокочастотных вибрации в условиях микрогравитации – *ньютоновская мода*, при которой структура и интенсивность течения совпадает с таковыми в ньютоновской жидкости, и *неньютоновская мода*, характерная только для псевдопластической жидкости и значительно отличающаяся от ньютоновской по интенсивности.

**Научное значение работы** заключается в развитии знаний в области фундаментальной механики жидкости, в области гидродинамики тепломассопереноса в нелинейно-вязких жидких средах при воздействии на них высокочастотных вибраций в условиях нормальной, пониженной, микро- гравитации и в невесомости. Применение полученных результатов возможно для исследования нестационарных неизотермических режимов течений в ньютоновских и неньютоновских средах.

**Практическое значение** диссертационной работы состоит в том, что результаты могут использоваться при моделировании нефтегазовых процессов: условия добычи, хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов. Изучение особенностей течений и тепломассообмена в неньютоновских средах важны для предприятий, обеспечивающих производство, перекачку, транспортировку и смешивание битумных вяжущих материалов для строительства дорожных покрытий. Результаты, описывающие поведение псевдопластической жидкости в вибрационном поле, применимы для описания процессов в рамках инженерной реологии для изучения реологических свойств реальных материалов. Обосновано использование этих свойств для построения расчетных моделей машин и аппаратов перерабатывающей промышленности и для управления технологическими процессами для нужд пищевой промышленности.

**Оценка диссертации.** В целом диссертация написана ясным, грамотным языком; аккуратно оформлена и иллюстрирована наглядными графиками. К сильным сторонам работы относятся следующие аспекты:

- 1) При построении математической модели проведено исследование чувствительности и устойчивости развитой численной модели, доказана корректность используемых разностных методов.
- 2) При построении диаграмм с областями существования различных режимов конвекции и их границ грамотно определены количественные критерии для переходных режимов.
- 3) Интересным и новым является результат с описанием бифуркации решения на симметричные и несимметричные моды колебаний (рисунок 3.8 и далее в других разделах).
- 4) Эффективное использование аппарата критериальных чисел для анализа результатов математического моделирования.

По содержанию диссертации можно сделать **следующие замечания**:

- 1) В уравнении (2.6) баланса импульса в плотности силы гравитации указан вектор  $\vec{\gamma}$ , который выглядит излишним в формулировке математической модели, либо в уравнении ускорение свободного падения должно быть скалярной величиной.
- 2) На рисунке 3.5 приведена зависимость числа Нюссельта от времени для установившихся периодических колебаний. Амплитуда колебаний сравнительно мала (менее 5%). Чем это обусловлено?
- 3) В работе не приведено точное определение микрогравитации.

Следует отметить, что приведенные выше замечания не меняют общего положительного впечатления от диссертационной работы.

## **Заключение**

Отмеченные замечания не снижают значение диссертационной работы С.А. Никулиной. Сформулированная в ней цель исследования достигнута, все поставленные задачи решены. Положения диссертации, выносимые на защиту, обоснованы, её результаты достаточно полно представлены в публикациях автора, доложены на ряде всероссийских конференций. Считаем, что диссертация Никулиной Светланы Анатольевны является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена важная задача описания течения псевдопластических жидкостей.

Диссертационная работа «Влияние высокочастотных вибраций и гравитационного поля различной интенсивности на конвективные течения ньютоновской и псевдопластической жидкостей» полностью отвечает требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства



Российской Федерации от 24 сентября 2013 г №842 (в редакциях от 21.04.2016 №335 и от 12.10.18 №1168), а ее автор Никулина Светлана Анатольевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Настоящий отзыв рассмотрен и одобрен на заседании учебно-научной лаборатории физики конденсированных сред Института математики, информационных технологий и физики Удмуртского государственного университета, протокол № 7 от 9 октября 2024 г.

Эксперт, доктор физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, доцент, заведующий учебно-научной лабораторией физики конденсированных сред

Кривилев  
Михаил Дмитриевич



Эксперт, научный сотрудник учебно-научной лаборатории физики конденсированных сред, кандидат физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Груздь Светлана Анатольевна



426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», тел. 8-3412-916-230, e-mail: rector@udsu.ru, mk@udsu.ru

Подписи вышеуказанных лиц заверяю:

Ученый секретарь УдГУ



/ Л.А. Пушина