ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук, доцента Мелких Алексея Вениаминовича на диссертационную работу Паршаковой Марии Александровны «Экспериментальное исследование кинетики и динамики спонтанного вскипания перегретых жидкостей», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

1. Актуальность темы исследования

Кипение жидкости относится к фазовым переходам I рода и сопровождается перегревом.

В технологических и природных процессах перегревы могут достигать десятков и сотен градусов. Высокие перегревы встречаются в гейзерах и вулканах. Такие перегревы возникают при вскрытии газоконденсатных месторождений, разгерметизации сосудов высокого давления, охлаждении реакторов, закалки изделий, обработки древесины методом парового взрыва. При глубоком заходе в метастабильную область процесс вскипания протекает взрывообразно, сопровождается гидравлическими ударами и может иметь разрушительные последствия. Информация о явлении перегрева играет важную роль в обеспечении безопасности и надежного функционирования энергоемких технологических устройств, содержащих жидкую фазу в качестве основного компонента.

Подавляющее количество данных по кинетике вскипания перегретых жидкостей получено при высоких перегревах (в диапазоне 20-25 °C вблизи теоретической границы достижимого перегрева) и слабых перегревах (вблизи линии насыщения).

Таким образом, тема диссертационного исследования является актуальной.

2. Научная новизна полученных результатов

1. Предложена методика по проведению измерений времен жизни метастабильных состояний с ограничением максимальной длительности опыта. На основе анализа эксперимента автором выбраны распределения, наиболее адекватные для моделирования времен жизни перегретой жидкости: экспоненциальное,

Вейбулла, гамма-распределение, смесь экспоненциальных и/ или нормальных распределений.

2. Экспериментально установлено, что малые добавки легкокипящей примеси способствуют приработке наиболее активных центров парообразования.
3. Осуществлен мониторинг поверхностного натяжения *н*-пентана дифференциальным вариантом метода капиллярного поднятия.
4. Обнаружен переход от однофазной конвекции в жидкости (*н*-пентан) к пленочному режиму, минуя развитый пузырьковый режим кипения. Установлено, что фронт вскипания образуется преимущественно на одном случайном центре парообразования. Выполнены оценки линейной скорости распространения фронта вскипания перегретой жидкости.

3. Обоснованность и достоверность научных положений, сформулированных в диссертации

Достоверность и обоснованность результатов, приведенных в диссертации, обеспечены физической корректностью постановки задач исследования, методов их решения, в том числе применением современного высокоточного измерительного оборудования, воспроизводимостью проведенных измерений, сравнением с данными других исследований, применением современных методов статистической обработки экспериментальных данных.

4. Практическая значимость результатов диссертации

Данные о кинетике и динамике вскипания перегретых жидкостей необходимы для прогнозирования, предотвращения аварийных ситуаций. Они также необходимы для интенсификации технологичных процессов, связанных с перегревами, кризисами кипения, паровыми взрывами. Методические рекомендации, сделанные по итогам измерений времени жизни перегретой жидкости и статистической обработки этих данных, могут быть использованы как в рамках натурного и компьютерного экспериментов.

5. Оценка содержания диссертации и ее оформления

Диссертационная работа содержит 166 страниц текста, 48 рисунков и 8 таблиц. Состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 301 наименования и трех приложений.

Диссертация написана последовательно и логично, текст написан в научном стиле и соответствует требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам.

В первой главе приведены основные сведения о метастабильных состояниях, изложены теоретические и экспериментальные методы изучения кинетики вскипания перегретых жидкостей, представлены основные результаты, полученные с их помощью, а также данные по динамике исследуемого процесса.

Опыты по перегреву жидкостей в присутствии различных поверхностей, в том числе металлических и пористых, показывают, что в зависимости от технологии приготовления ячейки и продолжительности приработки твердой поверхности можно достичь температур перегрева как далеких, так и весьма близких к теоретической (гомогенной) границе достижимого перегрева.

Во второй главе подробно описана методика эксперимента, отображены особенности ряда модификаций экспериментальной установки, представлен дифференциальный вариант метода капиллярного поднятия, с помощью которого реализован мониторинг поверхностного натяжения жидкость-пар.

В третьей главе особое внимание уделено методам статистической обработки экспериментальных данных. К ним относится метод моментов, метод максимального правдоподобия, метод гистограмм, оценки Каплана-Мейера, Нельсона-Аалена. Обсуждаются основные статистические модели: экспоненциальное, Вейбулла, гамма-, нормальное распределение, смесь этих распределений. Предложена методика проведения эксперимента по измерению времен жизни метастабильных систем с ограничением максимальной длительности опыта. Представлен метод ядерной оценки плотности Парзена-Розенблата как способ непараметрической оценки распределения мест появления первого пузыря в перегретой жидкости по площади видимого изображения измерительной ячейки.

В четвертой главе представлены экспериментальные результаты исследования кинетики и динамики вскипания перегретого *н*-пентана. Приведены некоторые визуальные и статистические характеристики этого процесса, дан их сравнительный анализ.

6. Замечания и вопросы по работе

6.1. В положениях, выносимых на защиту, (положение 3) утверждается, что дефекты твердой поверхности, с которой контактирует перегретый *н*-пентан при 120-125 °С приводят к развитию морфологической неустойчивости на линии трехфазного контакта. Не совсем понятен механизм морфологической неустойчивости в данном случае, поскольку поверхностное натяжение должно препятствовать его возникновению.

6.2. Почему при такой малой доле CO_2 образуется пузырек? Что говорит по этому поводу теория растворения? Почему выбран именно CO_2? Что будет при наличии примеси другого газа?

6.3. Чем отличается плотность распределения от функции распределения (3.1 и 3.2)? Какая тут нормировка? Какая нормировка в распределении Вейбулла (3.13)?

6.4. На каком основании можно пользоваться смесями распределений? Есть ли в этом физический смысл?

6.5. На стр. 80. сказано, что природа флуктуационных центров вскипания может быть связана с метастабильной ликвацией стекла. Что там происходит физически?

7. Заключение по работе

Отмеченные замечания никоим образом не снижают ценности работы. Оценивая работу Паршаковой Марии Александровны в целом, необходимо отметить, что она соответствует паспорту специальности 1.3.14 и требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, предъявляемых к кандидатским диссертациям. Диссертация в полной мере отвечает требованиям по актуальности работы, научной новизне, практической значимости, личному вкладу автора, апробации и отражению

результатов в публикациях; является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные выводы. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Автор диссертации **Паршакова Мария Александровна** заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент:
Доктор физико-математических наук, доцент,
профессор кафедры технической физики
Физико-технологического института
Федерального государственного автономного
Образовательного учреждения высшего образования
«Уральский Федеральный университет имени
первого Президента России Б.Н. Ельцина»
Тел. 8(343) 375-93-49
E-mail: A.V.Melkikh@urfu.ru
Адрес: 620002, Россия, г. Екатеринбург,
Ул. Мира, 19.

Мелких Алексей Вениаминович

Дата « 15» мая 2025 года

Подпись Мелких А.В. заверяю :

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
УРФУ
МОРОЗОВА В.А.