

## ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., профессора  
Баранова Игоря Владимировича

на автореферат и диссертацию Лукьянова Кирилла Валерьевича “Метод импульсного нагрева проволочного зонда для исследования особенностей теплоотдачи к предельным углеводородам с примесью воды”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – “Приборы и методы экспериментальной физики”.

**Актуальность** представленной работы обусловлена широким применением углеводородных соединений как в качестве добавок к топливу, так и в виде присадок в технологические масла. Функционирование технологических аппаратов, в которых рабочими веществами являются углеводородные жидкости, связано с нестационарными процессами локального нагрева. В свою очередь, данное обстоятельство может сопровождаться проявлением нежелательных эффектов, связанных с перегревом, вскипанием и расслоением данных веществ. Также существенное влияние на свойства углеводородных жидкостей и на интенсивность тепловых процессов оказывает наличие влаги. Указанные обстоятельства требуют экспериментального исследования процессов теплопередачи и проведению измерений теплофизических характеристик предельных углеводородов. Данной актуальной проблематике посвящена данная работа.

**Цель работы** заключалась в разработке метода и прибора для контролируемого импульсного нагрева проволочного зонда, и сравнительной оценки интенсивности теплоотдачи с поверхности зонда к углеводородным жидкостям в условиях кратковременного мощного тепловыделения.

В процессе выполнения работы автором успешно решены следующие задачи: 1) разработка нового метода определения теплоотдачи с поверхности импульсно нагреваемого зонда к исследуемой среде и моделирование процессов теплообмена в системе “зонд-диэлектрическая среда”; 2) создание но-

вых приборов и устройств для проведения исследований процесса теплоотдачи с поверхности импульсно-нагреваемого зонда к образцам жидких углеводородов; 3) разработка средств автоматизации физического эксперимента; 4) экспериментальное исследование особенностей теплоотдачи с поверхности импульсно нагреваемого зонда к образцам жидких углеводородов с малыми добавками воды.

**Научная новизна**, представленной диссертационной работы заключается в следующем: 1) разработан новый сравнительный метод измерения температурной зависимости теплоотдачи импульсно нагреваемого зонда к диэлектрическим жидкостям с примесями, апробированный на образцах углеводородных жидкостей с примесью воды; 2) разработаны и созданы новые приборы и устройства для проведения исследований теплоотдачи с поверхности импульсно-нагреваемого зонда к образцам жидких углеводородов с малыми добавками воды при температурах до 400 °С и давлениях до 5 МПа; 3) разработаны и созданы средства автоматизации физического эксперимента для исследования теплоотдачи с поверхности импульсно-нагреваемого зонда; 4) Впервые получены количественные результаты сравнительного экспериментального исследования явления непропорционального увеличения теплоотдачи с поверхности импульсно нагреваемого зонда к образцам жидких углеводородов с малыми добавками воды.

Среди основных положений, выносимых на защиту, следует выделить: 1) разработанный метод двухимпульсного нагрева проволочного зонда с подстройкой значения тока второго импульса позволяет проводить измерения среднего относительного коэффициента теплоотдачи зонда с линейнотермозависимым сопротивлением к образцам диэлектрической жидкости с малыми примесями в близких температурно-временных условиях нагрева зонда; 2) разработанная и созданная экспериментальная установка обеспечивает проведение измерений температурных и барических зависимостей среднего относительного коэффициента теплоотдачи зонда к образцам углеводородных жидкостей с примесью воды при температурах нагрева зонда до 400 °С

и давлениях до 5 МПа; 3) разработанные и созданные средства автоматизации эксперимента позволяют проводить исследования температурной зависимости среднего относительного коэффициента теплоотдачи проволочного зонда к образцам углеводородных жидкостей с примесью воды в близких температурно-временных условиях двухимпульсного нагрева; 4) с помощью разработанной аппаратуры и приборов проведено экспериментальное исследование и дана количественная оценка эффекта непропорционального увеличения среднего относительного коэффициента теплоотдачи зонда к образцам углеводородных жидкостей с примесью воды вблизи температуры вскипания жидкости и его уменьшения при увеличении давления.

**Теоретическая значимость** представленной работы заключается в разработке нестационарного метода для определения относительного коэффициента теплоотдачи импульсно нагреваемого проволочного зонда к диэлектрическим жидкостям, содержащих примеси.

В качестве **практической значимости** работы следует отметить следующее: 1) предложенный подход, который основан на оценке влияния малых добавок воды на тепловые процессы в перегретых углеводородных жидкостях, может служить инструментом оценки качества технологических жидкостей в широком диапазоне, как температур, так и давлений; 2) разработанные метод и прибор могут быть применены для сопоставления коэффициента теплоотдачи зонда в образцах промышленных масел и оценки их относительного влагосодержания по заранее выполненной калибровке.

**Достоверность** полученных результатов подтверждается применением апробированных методов теплофизических измерений, применением фундаментальных термодинамических законов, учетом опыта работы с перегретыми жидкостями, соответствием результатов численного моделирования результатам экспериментов, выполнением численного моделирования на сертифицированном пакете программ Elcut.

**Общая характеристика.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемой литературы и приложения. Ос-

новой список используемой литературы включает 92 наименования. Основная часть диссертации изложена на 113 страницах, а полный объем материала представлен на 129 страницах. Текст работы содержит 86 рисунков.

Во **введении** соискателем обоснована актуальность темы диссертационной работы, поставлена цель и определены задачи исследований, сформулированы научная новизна и положения, выносимые на защиту, приведены теоретическая и практическая значимости работы, отмечены личный вклад автора и степень достоверности полученных результатов.

В **первой главе** автор анализирует известные теплофизические методы исследования углеводородных жидкостей и влияние влагосодержания на их свойства. Особое место соискателем выделено динамическим методам исследований. Подробно описаны методики и устройства исследования углеводородов с различным влагосодержанием. Аргументировано сделан акцент на преимущества импульсного метода с использованием проволочного зонда для контроля влагосодержания углеводородных жидкостей в лабораторных и производственных условиях. Сформулирована постановка задачи на разработку автоматизированной методики на основе двухимпульсного нагрева, которая обеспечит исследование процесса теплоотдачи в системе “зонд-жидкость” в различных условиях нагрева.

Во **второй главе** представлен метод компенсационного импульсного нагрева зонда для определения теплоотдачи зонда в образцах n-гексана, n-декана и n-гексадекана с примесями в близких температурно-временных условиях нагрева. Проведён сравнительный анализ полученных термограмм для указанных веществ. Представлены результаты моделирования, которые показали, что температура в самой горячей точке не превосходила значения температуры достижимого перегрева для исследуемых углеводородных жидкостей. В процесс моделирования подтверждена возможность компенсации отклонений температуры зонда в образцах с различным содержанием влаги за счет изменения значения постоянного тока на втором импульсе. Сформулированы требования к измерительной аппаратуре.

**Третья глава посвящена** описанию экспериментальной установки, которая реализует метод относительной оценки теплоотдачи с поверхности проволочного зонда в заданных температурно-временных условиях нестационарного теплообмена на образцах жидких углеводородов. Представлен состав установки, которая включает измерительную ячейку, устройство программирования и контроля нагрева зонда, поршневой пресс с винтовым приводом. Приведены сведения о принципе работы экспериментальной установки, блок-схема устройств нагрева проволочного зонда и быстродействующих измерений, изложена структура средств автоматизации, подробно описано программное обеспечение для управления экспериментальной установкой и получения первичных данных эксперимента. Проведён анализ основных составляющих неопределённостей измерения относительного коэффициента теплоотдачи с поверхности проволочного зонда.

**В четвертой главе** представлены результаты экспериментальных исследований среднего относительного коэффициента теплоотдачи зонда в образцах углеводородных жидкостей с различным влагосодержанием. Автором подробно описана методика проведения эксперимента с углеводородами различного влагосодержания, а именно около 5 ppm и 35 ppm. На термограммах представлены зависимости температуры зонда от времени в образцах осушенных и обводненных углеводородов. Данные термограммы позволяют обнаружить и описать закономерности процесса теплоотдачи с поверхности зонда в исследуемый образец. Также для исследований особенностей теплопереноса в углеводородных жидкостях с примесью воды выполнено с использованием методики двухимпульсного нагрева проволочного зонда, помещенного в исследуемую жидкость, с компенсацией температурно-временных изменений нагрева зонда в образцах с примесями за счет регулировки тока нагрева. Были произведены опыты с последовательным приращением средней температуры зонда на каждой жидкости с различным влагосодержанием на одном зонде с контролируемой начальной температурой. По результатам исследований установлено влияние примесей на значение тем-

пературы спонтанного вскипания основного вещества в условиях двухимпульсного нагрева, а также выполнена оценка особенностей теплообмена перед вскипанием жидкости с примесью воды. Было выполнено исследование влияния давления на относительный коэффициент теплоотдачи в диапазоне давлений от 0,08 МПа до 5 МПа. Автором установлено, что незначительное увеличение давления оказывает существенное влияние на характер нестационарного теплообмена нагретого зонда в образцах с добавками воды.

В пятой главе рассмотрены вопросы практического применения предложенного импульсного метода для определения влагосодержания промышленных масел.

В целом диссертационная работа представляет собой законченный труд, написанный в соответствии с существующими требованиями к содержанию и оформлению научных публикаций. Автором выполнено актуальное, глубокое, научное исследование, связанное как с развитием новых принципов и методов измерений коэффициентов теплоотдачи применительно к предельным углеводородам с различным влагосодержанием, так и с разработкой и созданием экспериментальных установок для исследований тепловых процессов указанных объектов в широком диапазоне температур и давлений. Полученные результаты имеют важное научное и практическое значение.

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы, основные материалы которой представлены в цитированных работах. Основные научные результаты диссертационной работы опубликованы в 33 публикациях. Из них 8 статей изданы в рецензируемых научных журналах из списка ВАК РФ, из которых 5 проиндексированы в международных базах научного цитирования Scopus и Web of Science, также получен патент РФ на полезную модель. Основные положения рассматриваемой работы обсуждались на 23 международных научно-технических конференциях.

По тексту диссертации и автореферата имеются следующие замечания и вопросы:

1. В автореферате и диссертации не представлены рекомендации по выбору значений силы тока для импульсного режима. На основании каких исходных данных задаются значения сил токов для первого и второго импульсов?

2. Автор отмечает, что "...исследования углеводов проводилось с постепенным повышением температуры нагрева с шагом примерно на 1°C.". Из текста автореферата и диссертации неясно с какой конкретно скоростью изменялась температура зонда?

3. Автором на стр. 110 диссертации указано, что "При помощи данного программного обеспечения можно провести калибровку измеряемого масла и в дальнейшем, пользуясь этой калибровкой, определять влагосодержание в технологических маслах.". Что автор вкладывает в термин "калибровка масла"? Ведь понятие "калибровка" применим к средствам измерений.

4. На стр. 48 диссертации автором допущены ошибки при ссылке на граничные условия.

5. В качестве материала зонда автор использует платину. Возможно ли использовать для этого другие материалы? Какие потребуются коррективы в методике проведения опытов?

6. На сколько было целесообразно включать в диссертацию главу 5? Считаю, что представленную информацию можно было бы разместить в приложении.

Следует отметить, что сформулированные замечания не являются принципиальными и не влияют на общую положительную оценку данной работы.

**Заключение.** Новизна научных положений и научных результатов, представленных на защиту, не вызывает сомнений. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.3.2. "Приборы и методы экспериментальной физики" и отрасли наук – физико-математические. Считаю, что диссертационная работа Лукьянова Кирилла Валерьевича на тему "Метод импульсного нагрева проволочного зонда для исследования особенностей теплоотдачи к предельным углеводородам с примесью воды" соответствует

требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней» в УрФУ, а её автор заслуживает присуждения искомой учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 “Приборы и методы экспериментальной физики”.

Официальный оппонент,  
директор мегафакультета биотехнологий  
и низкотемпературных систем Университета ИТМО,  
доктор технических наук, профессор



Баранов Игорь Владимирович

10 февраля 2022 г.

**Контактные данные:**

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, д. 9.  
тел.: +79112333432, e-mail: ivbaranov@itmo.ru

Подпись официального оппонента И.В. Баранова заверяю

Заместитель директора  
мегафакультета БТИНС, к.т.н.



 Е.В. Тамбулатова