

## ОТЗЫВ

Официального оппонента о диссертации  
Лукьянова Кирилла Валерьевича  
«Метод импульсного нагрева проволочного зонда  
для исследования особенностей теплоотдачи  
к предельным углеводородам с примесью воды»,  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики

При исследовании границ термической устойчивости жидких углеводородов часто возникают расхождения результатов, полученных в разных лабораториях. Одной из возможных причин этого являются условия хранения реактивов. В частности, при их хранении во влажной атмосфере вероятно попадание воды в исследуемую жидкость. Незначительная ее часть растворяется, но основная присутствует в виде капель так называемой «свободной воды», которая оказывает существенное влияние, например, на смазочные и электроизоляционные свойства топлив и масел и в конечном счете на устойчивость работы технологических устройств, в которых они применяются. *Актуальной* задачей является устранение влияния даже малых примесей воды на результаты экспериментов. Ее решению посвящено диссертационное исследование К.В. Лукьянова.

В ходе его выполнения диссертант установил, каким образом проявляется влагосодержание в опытах по импульсному нагреву жидкостей и предложил оригинальный компенсационный метод этого нагрева, позволяющий по расхождению условий теплоотдачи зонда в осушенных и влагосодержащих жидкостях оценивать роль растворенной воды. Для реализации метода потребовалось создание оригинальной экспериментальной установки, в которой тепловой эффект влияния добавок воды компенсировался дополнительным увеличением тепловой мощности нагревателя. Эта установка была разработана и собрана диссертантом с использованием современной электронной базы. Им же оценена погрешность определения коэффициента теплоотдачи к влагосодержащим жидкостям (нетривиальная задача, если принять во внимание сложность выделения искомой величины). Таким образом, К.В. Лукьяновым разработан новый метод физических измерений и создано новое устройство для изучения физического процесса – вскипания влагосодержащих жидкостей. Следовательно, представленная диссертационная работа соответствует формуле специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики.

Первый этап исследования проводился на уже имеющейся в лаборатории Института теплофизики установке для двухступенчатого нагрева исследуемой жидкости перед вскипанием. На второй ступени нагрева были выявлены эффекты влагосодержания, и стало ясно, что для определения дополнительного стока тепла, необходимо компенсировать его увеличением разогревающего тока. Проверочные компьютерные расчеты, проведенные диссертантом, показали, что присутствие небольших количеств воды пренебрежимо слабо влияет на теплофизические свойства основной жидкости, поэтому весь эффект

дополнительных теплопотерь можно отнести к влиянию растворенной воды на теплоотдачу вблизи температуры вскипания основной жидкости. Оппонент не является специалистом по электронике, поэтому предпочел бы не комментировать достижения диссертанта, связанные с созданием новой установки с компенсационным нагревом образцов. Однако результат этой работы – автоматизированная установка, реализующая этот режим нагрева, вкуче с полученными результатами – по моему мнению, заслуживает высокой оценки. Его оригинальность подтверждается патентом, выданным на схемотехническое решение двухканального измерительного блока, который использовался в составе влагомера. Для управления установкой диссертантом разработано программное обеспечение, позволяющее контролировать концентрацию влаги в технологических маслах. С его помощью можно проводить калибровку измеряемого масла и в дальнейшем, пользуясь этой калибровкой, определять влагосодержание в нем. В рецензируемой диссертации разработаны алгоритмы и прикладная программа для влагомера промышленных масел ВТИ-118. Прибор прошел метрологические испытания и включен в государственный реестр средств измерений РФ.

Алгоритмы для определения концентрации влаги в исследуемой жидкости основаны на компенсационной методике и методике определения среднего относительного коэффициента теплоотдачи СОКТ. В итоге К.В. Лукьянову удалось идентифицировать даже весьма незначительные (на уровне десятков миллиграммов на 1 кг) содержания воды в исследуемых углеводородах - *n*-гексане, *n*-декане и *n*-гексадекане, существенно различающихся температурами достижимых перегревов. В ходе опытов обнаружено два оригинальных результата: взаимосвязь порога проявления эффекта с температурой достижимого перегрева углеводорода, не зависящая от температуры фазового перехода в воде, и чрезвычайно сильная зависимость этого эффекта от приведенного давления.

С помощью разработанной аппаратуры и приборов проведено экспериментальное исследование и дана количественная оценка эффекта существенного увеличения СОКТ зонда к образцам перечисленных углеводородных жидкостей с примесью воды вблизи температуры вскипания жидкости и его уменьшения при увеличении давления. Обнаружено, что незначительное изменение давления сильно сказывается на характере нестационарного теплообмена нагретого зонда с жидкостью. Увеличение давления выше 200 кПа нивелирует влияние влаги в данных температурных условиях у всех трех углеводородов. Изменение давления в сторону увеличения уменьшает эффект влияния воды на теплообмен. Создание разрежения в образце усиливает этот эффект.

Таким образом, проведенные К.В. Лукьяновым опыты не только продемонстрировали применимость и высокую чувствительность предложенного им метода влагометрии углеводородов, но и указали способ определения области давлений, в которой эта чувствительность достигается. При их осуществлении диссертант проявил несомненное экспериментаторское чутье и высокую тщательность. В частности, это касается определения содержания влаги в искусственно обводненных образцах, которое контролировалось лабораторным

методом титрования, или постановки специального опыта с двумя параллельными проволочками для доказательства незначительности влияния магнитного поля от токоподводящих проводников.

Единственным слабым местом работы, по мнению рецензента, является не вполне обоснованное предположение диссертанта о конвекционном происхождении дополнительного стока тепла, связанного с увеличением коэффициента теплоотдачи зонда к обводненному образцу. Из него следует линейная зависимость компенсирующей части мощности нагрева (2.1) от перепада температуры на втором импульсе, позволившая рассчитать средний относительный коэффициент теплоотдачи. Таким образом, успех данного исследования был предопределен именно этим предположением. На сегодняшний день оно подтверждено только успешными результатами работы. Хотелось бы в ходе дальнейших исследований диссертанта получить хотя бы качественное его обоснование.

Более частные замечания по работе К.В. Лукьянова имеют характер вопросов, ответ на которые хотелось бы получить в ходе защиты диссертации:

- На стр.106 приводится гипотеза диссертанта с соавторами о том, что эффект повышения теплопереноса в обводненных жидкостях связан с обусловленной кластерами влаги «structural or phase rearrangement in the two-component system», предшествующей началу вскипания. Далее, в Приложении 1, термин «кластер влаги» расшифровывается как совокупность кластеров отдельных молекул (мономеров), димеров, тримеров и кластеров полимерной структуры, причем существование каждого типа кластеров не зависит друг от друга. *И далее:* Доля кластерных включений зависит от температуры и давления. Возникает закономерный вопрос: что же происходит на этапе нагрева, предшествующем нуклеации?

- Чем определялся верхний предел давления в проведенных опытах (1 МПа), если установка позволяла повысить его вплоть до 6 МПа?

- Почему для аппроксимации кривой нагрева на втором импульсе использовался полином именно 5-й степени?

Как указывалось выше, перечисленные вопросы и замечания не снижают общего положительного впечатления от диссертации К.В. Лукьянова. К защите представлены результаты завершеного и самостоятельно выполненного исследования. Диссертантом разработан новый метод измерения малых влагосодержаний в органических жидкостях, обладающий повышенной чувствительностью и быстродействием, и создана оригинальная установка, его реализующая. Следовательно, тема диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертационной работы. Ее основные результаты своевременно опубликованы в 33 печатных работах, из них 8 – в изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук. Получен 1 патент на изобретение. Результаты диссертации прошли достаточную апробацию и были доложены на 23 конференциях различного уровня, включая международный.

