

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

**ИНСТИТУТ ТЕПЛОФИЗИКИ**  
**им. С.С. КУТАТЕЛАДЗЕ**  
**СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ**  
**РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**  
(ИТ СО РАН)

проспект Академика Лаврентьева, 1  
г. Новосибирск, 630090  
Тел.: 330-70-50; 330-84-80; факс 330-84-80  
Эл. почта: aleks@itp.nsc.ru  
ИНН/КПП 5408100040/540801001  
ОКПО 03534009 ОГРН 1025403648786

От 28.05.2014 № 15314 - РЗ

На \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Отзыв ведущей организации

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУН Институт  
теплофизики им. С.С. Кутателадзе  
Сибирского отделения Российской  
академии наук (ИТ СО РАН)  
член- корреспондент РАН



С.В. Алексеев

28 мая 2014 г.



**ОТЗЫВ**

ведущей организации на диссертацию  
**ШАНГИНА Виктора Владимировича**

на тему **«ИМПУЛЬСНОЕ ТЕПЛОВОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ЖИДКОСТИ КАК  
МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЕТУЧИХ ПРИМЕСЕЙ В МАСЛАХ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ»**,  
по специальности 01.04.14. – Теплофизика и теоретическая теплотехника  
на соискание ученой степени кандидата технических наук

**Актуальность исследований. Объект и предмет исследований**

Изменения свойств масел при эксплуатации теплового, механического и электросилового оборудования при высоких и/или низких температурах в значительной степени определяют его долговечность.

Накопление в масле примесей вследствие как термической деградации, так и контакта с рабочими телами, проходящими через оборудование, делают оперативный контроль за их уровнем важной частью работ по поддержанию безопасной эксплуатации систем, где применяется масло.

Поэтому несомненна актуальность разработки методов быстрого обнаружения летучих примесей в маслах и новые результаты в этой области важны и значимы, с учетом масштабов применения такого оборудования.

Предметом данного исследования является теплообмен в системе “нагреватель-зонд, погруженный в изучаемое вещество”, в условиях заданного импульсного тепловыделения применительно к задаче быстрой оценки кратковременной термоустойчивости многокомпонентных сред в зависимости от состава среды,

температуры и длительности воздействия. Объектами исследования служили технические образцы масел, применяемых в агрегатах СУГРЭС и в трансформаторах (110 кВ и выше) Свердловской области, а также образцы масел, специально насыщенные водяным паром или паром двуокиси углерода.

Все вышеуказанное подтверждает высокую научную и практическую актуальность проводимых в данной диссертационной работе исследований.

### **Цель и задачи исследований**

Работа В.В. Шангина посвящена актуальным проблемам исследования термоустойчивости технических масел в зависимости от их состава, температуры и длительности воздействия и разработке основы импульсного метода сопоставления термоустойчивости масел применительно к задаче быстрого обнаружения летучих примесей в маслах теплоэнергетического оборудования. Требования к предложенному диссертантом методу включают быстрое действие, чувствительность к малому содержанию летучих примесей вне зависимости от природы примеси ( $\sim 0,001$  % по воде), незначительность методически вносимого возмущения; требования к устройству включают технологическую совместимость, автономность и удобство его применения.

Для достижения поставленной цели обоснованно были поставлены и решены следующие задачи:

1. Выбор теплового режима зонда, отвечающего поставленной цели разработки импульсного метода сопоставления термоустойчивости масел применительно к задаче быстрого обнаружения летучих примесей в маслах теплоэнергетического оборудования;
2. Разработка методики измерений, основанной на выбранном тепловом режиме зонда;
3. Накопление достаточного массива данных по термоустойчивости обводненных масел;
4. Конструирование и изготовление устройства для осуществления, реализации методики;
5. Проведение испытаний устройства и выдача рекомендаций по применению разработанного метода и устройства в технологическом процессе.

В рассматриваемой диссертации для решения вышеуказанной задачи предложен новый подход, основанный на известном и детально исследованном физическом явлении: фазовый переход в перегретой жидкости (см., например, ряд работ, проведенных В.П. Скриповым с сотрудниками).

Если смесь жидкостей, точнее, инвертную эмульсию с дисперсной средой – маслом и дисперсной фазой – водой, быстро нагреть со скоростью  $\sim 10^5$  К/с, то по истечению определённого времени и по достижению ею определенной температуры, превышающей температуру фазового равновесия, в ней произойдёт взрывное вскипание, которое значительно изменит условия теплообмена нагревателя с эмульсией и, соответственно, температуру нагревателя. Автору удалось выявить связь времени ожидания вскипания с количеством примеси (воды или двуокиси углерода) в трансформаторных маслах марок ГК и ТкП.

При работе над этой темой им решен ряд научных, технических и методических проблем, возникших при реализации поставленных на основе этого явления задач, а именно:

- выяснены условия нарушения термоустойчивости масел, импульсно нагреваемых до заданного значения температуры;
- в опытах по импульсному нагреву смесей масел с летучими примесями найден режим нагрева, обеспечивающий сильный и воспроизводимый сигнал-отклик на появление в исходно чистой системе летучей примеси, в том числе влаги (на уровне  $10^{-3}$  % для воды);
- разработан метод обнаружения летучих примесей в маслах с характерным временем измерения  $10^{-3}$  с, основанный на сравнениях с массивом калибровочных данных.

Диссертационная работа В.В. Шангина выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт теплофизики Уральского отделения Российской академии наук.

Диссертация состоит из Введения, четырех глав, Заключения, трех Приложений и списка литературы; содержит 154 страниц текста (с Приложениями), включая 72 рисунка. Список литературы содержит 87 работ.

Во Введении обоснована актуальность и практическая значимость исследования, намечена его цель и осуществлен выбор пути ее достижения, представлена структура диссертации, сформулированы основные результаты работы, их научная новизна, фундаментальная и практическая значимость, указан личный вклад автора в проводимые исследования, приведены данные по апробации работы и публикациям.

В первой главе даны сведения о перегретом и термонеустойчивом состояниях жидкости. Представлены результаты изучения термоустойчивости масел, перегретых относительно температуры начала их терморазрушения в квазистатическом процессе. Выяснено, что режим термостабилизации зонда после достижения заданных значений

температуры позволяет решить задачу обнаружения летучих примесей в маслах. Обнаружено, что именно в условиях поддержания заданного перегрева после импульсного нагрева формируется отчетливый отклик на появление в системе низкомолекулярного компонента.

Вторая глава посвящена описанию теплофизических аспектов метода косвенного контроля летучих примесей и блок-схемы устройства для его осуществления. Исходя из условия задачи, предусматривающего возможность применения устройства “на месте”, система непрерывной обратной связи в методике термостабилизации была заменена на последовательность из двух импульсов нагрева с различной амплитудой и с возможностью включения паузы между ними, обеспечивающую двукратный нагрев зонда до избранного значения температуры. Параметры импульсов, необходимые для получения сосредоточенного вскипания с воспроизводимыми от опыта к опыту характеристиками, подбирались опытным путем.

Третья глава посвящена описанию методики и результатов лабораторных испытаний устройства. В качестве примеси, исходя из основных условий работы оборудования, была выбрана вода, а также двуокись углерода. Здесь же диссертантом проведен анализ погрешностей измерений.

Четвертая глава посвящена обсуждению результатов испытаний устройства на действующем оборудовании и этапов совершенствования конструкции его узлов. Показано, что устройство, реализующее эту методику, отвечает основным требованиям, предъявляемым к приборам экспресс-контроля, и может служить полезным дополнением к применяемой контрольно-измерительной аппаратуре.

В Заключении обобщены результаты применения метода импульсного теплового тестирования для быстрого обнаружения летучих примесей в маслах и намечены шаги по его развитию.

**К наиболее важным и новым научным и практическим результатам следует отнести следующие:**

1. На основе результатов опытов по исследованию термоустойчивости масел при их импульсном нагреве на поверхности проволочного зонда разработана основа методики импульсного теплового тестирования, чувствительная к присутствию летучих примесей в масле. Получена новая информация о влиянии малых добавок влаги, попадающих в масло из паровой фазы, на термоустойчивость масел в актуальной для энергетики области концентраций.
2. Разработан метод косвенного контроля летучих примесей в маслах. На его основе создано автономное устройство быстрого обнаружения летучих примесей в маслах.
3. Проведенные испытания на действующем оборудовании котлотурбинного цеха КТЦ-1 показали, что защищаемый диссертантом метод позволяет обнаруживать летучие примеси в маслах в реальном масштабе времени, а защищаемое устройство может служить автономным элементом системы мониторинга масел теплоэнергетического оборудования.

В диссертационной работе имеется справка об использовании результатов данной диссертационной работы Филиалом «Среднеуральская ГРЭС» (ОАО «Энел ОГК-5»). В справке отмечено, что автономные устройства и методика их применения были успешно испытаны в котлотурбинном цехе № 1 в режиме посуточного дежурства и в электроцехе при контроле регенерации трансформаторного масла.

### **Значимость для науки и производства**

Полученные закономерности, выявленные на основе анализа результатов проведенных соискателем исследований, определяют научную новизну диссертации. Практическая значимость разработки обусловлена ее применимостью для мониторинга состояния масел в маслосистеме различных агрегатов.

### **Личный вклад автора**

Лично автором, либо при его непосредственном участии была разработана методика измерений, создан испытательный стенд, проведены калибровочные измерения и измерения на действующем оборудовании, были проведены обработки результатов опытов, работы по модернизации устройства и разработки методики его применения до адаптации устройства к работе в условиях электростанции, подготовлены основные публикации.

### **Достоверность полученных результатов**

обеспечивается: опорой методики на строго доказанные выводы теории перегретого состояния вещества, положения которой нашли применение в работе; проверкой методики на различных объектах; сопоставлением и совпадением результатов опытов с данными стандартных лабораторных испытаний на сертифицированном оборудовании, рекомендованных к применению в диагностических лабораториях предприятий энергетики, а также с результатами других авторов и положительными отзывами специалистов.

Работа соответствует паспорту специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника для соискания ученой степени кандидата технических наук.

### **Замечания по диссертации:**

1. Эксплуатация и режимы работы энергетического и электросилового оборудования не требуют, как правило, срочных тестов для определения примесей, как это описано автором на стр. 4.

2. Не проведены исследования влияния других различных летучих примесей, которые появляются в маслах при эксплуатации энергетического оборудования в вышеназванных случаях (например, за счет окисления, термического разложения, гидратации и т. д.). Объявление метода контроля летучих примесей в маслах вне зависимости от природы примеси без исследования влияния рода других (кроме воды и двуокиси углерода) примесей выглядит не в полной мере обоснованным (с. 99).
3. Явления и процессы, происходящие в масле при эксплуатации оборудования, лишь описаны, но не исследованы в части их возможного влияния на характеристики работающего автономного устройства быстрого обнаружения летучих примесей в маслах. По данным автора нагрев проволоки происходил до температур  $\sim 500$  °С, т. е. происходило разложение масла, появление новых примесей и покрытие поверхности нагревателя его продуктами. Возникает вопрос о воспроизводимости показаний прибора при его многократном использовании в реальных условиях.
4. Не приведены данные по размерам частиц воды в эмульсиях, применявшихся в опытах.
5. Ссылка [22] (ГОСТ 981-75 «Масла нефтяные. Метод определения стабильности против окисления») на стр. 12 не относится к традиционным методам выяснения термоустойчивости, как написано автором.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической ценности данной работы и не влияют существенным образом на ее в целом общую положительную оценку. Диссертантом представлено серьезное и комплексное научное исследование с широким перечнем, без сомнения, новых интересных и практически значимых научных результатов. Выводы, основные положения диссертации, содержащиеся в Заключение, являются в целом обоснованными.

Результаты и выводы диссертации будут полезны для организаций, занимающихся расчетами, проектированием систем энергетического оборудования, анализом и обеспечением экологического контроля, а также для специализированных исследовательских центров, институтов ФАНО и ВУЗов РФ по направлению химической технологии и теплофизического профиля, таких как: ВГБОУ ВПО «МИФИ», ВГБОУ ВПО «МЭИ», ВГБОУ ВПО «Высший Химический Колледж Российской Академии Наук» (ВХК РАН), ВТИ, ВГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева» (РХТУ), ВГБОУ ВПО «Московский государственный университет инженерной экологии» (МГУИЭ), ВГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт» (СПбГТИ), ВГБОУ ВПО «Ивановский государственный химико-технологический университет»

(ИГХТУ), ФГБУН ИТ СО РАН, ФГБУН ИВТ РАН, ВГБОУ ВПО “Казанский государственный технологический университет” (КГТУ), ВГБОУ ВПО “Нижнекамский химико-технологический институт” (НХТИ), ВГБОУ ВПО “Уфимский государственный нефтяной технический университет” (УГНТУ), ВГБОУ ВПО “Тюменский государственный нефтегазовый университет” (ТГНГУ), а также профильные предприятия энергетического комплекса.

В автореферате верно и достаточно полно отражены основные положения, выводы диссертационной работы. Результаты диссертации достаточно полно опубликованы в реферируемых журналах и сборниках (всего 17 печатных работ), в том числе, пять статей в ведущих научных рецензируемых журналах, определенных ВАК РФ. Работа докладывалась на большом числе отечественных и международных научно-практических семинаров и конференций. Диссертационная работа и автореферат очень хорошо оформлены, материал изложен достаточно ясно и четко.

### **Выводы**

Диссертация В.В. Шангина имеет внутреннее единство и является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение важной с научной и практической точек зрения задачи по созданию научных основ импульсного теплового тестирования жидкостей с примесями, разработке, тестированию метода диагностики летучих примесей в маслах энергетического оборудования.

В целом, по объему и научному уровню, актуальности и новизне полученных результатов, их научной и практической ценности диссертационная работа «Импульсное тепловое тестирование жидкости как метод обнаружения летучих примесей в маслах энергетического оборудования» полностью соответствует критериям Высшей Аттестационной Комиссии Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным "Положением о порядке присуждения ученых степеней", а ее автор Шангин Виктор Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04. 14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

Диссертационная работа В.В. Шангина и отзыв на нее были рассмотрены, обсуждены и одобрены на научном семинаре лаборатории низкотемпературной теплофизики ИТ СО РАН, протокол № 5 от 23.05.2014 г.

Заведующий лабораторией низкотемпературной теплофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН)  
член-корреспондент РАН,  
доктор физико-математических наук  
(контактный тел.: 8-913-920-12-48,  
электронная почта: pavl@itp.nsc.ru).



/А.Н. Павленко/.

Научный сотрудник лаборатории низкотемпературной теплофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН)  
Кандидат физико-математических наук  
(контактный тел.: 8-913-938-99-32,  
электронная почта: tsoialexei@ngs.ru).



/А.Н. Цой/.