

## ОТЗЫВ

### официального оппонента

Щеклеина Сергея Евгеньевича на диссертацию Поволоцкого Ильи Ильича «Теплоотдача к неидеальным растворам в процессах импульсного тепловыделения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника

**Актуальность работы.** Работа Поволоцкого И. И. посвящена исследованию теплоотдачи от миниатюрного нагревателя к жидким растворам, в том числе, в области не вполне устойчивых состояний, кратковременно перегретых относительно температуры равновесия жидкость-пар или жидкость-жидкость раствора при заданном давлении. К специфическим чертам, определяющим применимость растворов в качестве теплоносителя, можно отнести существенный масштаб области перегретых состояний, пониженную скорость роста паровой фазы, наличие дополнительного теплового сопротивления в режиме тепловой проводимости и усиление теплоотдачи при углублении в область неустойчивых состояний, перегретых относительно температуры спинодали жидкость-жидкость. Последняя черта наблюдается как в стационарных, так и импульсных процессах. Обоснованный выбор раствора в качестве теплоносителя и поиск его состава, соответствующего заданным условиям тепловыделения, требуют систематического изучения свойств растворов в широкой области изменения параметров, включая области не вполне устойчивых состояний.

В работе показана перспектива применения растворов с нижней критической температурой растворения в качестве теплоносителей в нестационарных процессах. С учетом современной тенденции к повышению интенсивности процессов при одновременном уменьшении размеров теплогенерирующих устройств, основное внимание уделено процессам, предусматривающим возможность мощного локального тепловыделения.

**Содержание работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, насчитывающего 117 наименований, списка сокращений и условных обозначений, приложения. Работа изложена на 102 страницах, содержит 112 рисунков.

**Во введении** диссертации представлены актуальность исследуемой темы, цель исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимости полученных результатов.

**Первая глава** посвящена анализу литературы по теме исследования. Рассмотрены законы, которым подчиняется фазовое равновесие в растворах, границы устойчивости к фазовому разделению раствора по механизму жидкость-жидкость (бинодаль и спинодаль) и их форма. Обсуждено явление перегрева жидкостей и методы его наблюдения. Проанализированы свойства бинарных растворов, такие как теплоемкость, как в критической области, так и в полной области концентраций. Обсуждены опыты Л.П. Филиппова, целенаправленно изучавшего явление дополнительного теплового сопротивления в растворах двух жидкостей. Описана методика получения противотурбулентных присадок для нефтепроводов и сложности её реализации.

**Во второй главе** рассмотрена процедура подготовки образцов и аттестации измерительного платинового проволочного зонда-термометра сопротивления. Подробно описаны методики температурного плато и двухимпульсного нагрева, преимущества которых использованы для достижения поставленных в диссертационном исследовании целей. Проанализированы неопределенности выполненных измерений. Показана высокая чувствительность метода температурного плато к изменению давления на единицы атмосфер. Описана классическая методика обнаружения фазового перехода по механизму жидкость-жидкость, которая заключается в регистрации появления помутнения в объеме раствора.

**Третья глава** посвящена обсуждению полученных в диссертационном исследовании результатов. Для растворов с существенным отклонением свойств от идеальности подтверждена справедливость гипотезы Л.П. Филиппова как для растворов с отрицательным объемом смешения, так и для растворов с положительным объемом смешения. Были

исследованы области абсолютной и относительной устойчивости (метастабильная область), а также область абсолютной неустойчивости (лабильная область) раствора. При исследовании области абсолютной неустойчивости методом температурного плато было обнаружено явление пороговой интенсификации теплоотдачи, которая связывается со спинодальным распадом.

Метод двухимпульсного нагрева был адаптирован для поиска предвестников фазового перехода по механизму жидкость-жидкость. Показано, что он может быть использован для контроля фазового состояния жидких сред в непрозрачных химических реакторах. Данный метод позволяет зарегистрировать начало фазового перехода на более ранних стадиях, чем это доступно методу визуального наблюдения. Этот факт является практически важным в технологии синтеза противотурбулентных присадок для нефтепроводов.

#### **Научная новизна.**

Разработана новая методика определения температуры равновесия жидкость-жидкость. Выявлены характерные черты релаксации теплоотдачи от нагревателя-зонда, погруженного в бинарную жидкость, в масштабе малых времен ( $10^{-2}$  с) и размеров ( $10^{-5}$  м) при значительных ( $> 1$  МВт/м<sup>2</sup>) значениях плотности теплового потока. Известные данные по дополнительному тепловому сопротивлению в растворах дополнены новым материалом, основанном на существенном расширении области изменения значений объема смешения ( $v^E > 0$  и  $v^E < 0$ ) и температуры, включая области не вполне устойчивых и неустойчивых состояний.

#### **Теоретическая значимость.**

По результатам опытов сформулирована гипотеза о взаимосвязи объема смешения при исходной температуре раствора, то есть,  $v^E (T = T_0)$ , с величиной дополнительного теплового сопротивления импульсно перегретого раствора.

**Практическая ценность** данной работы обусловлена широким применением бинарных жидкостей, в том числе частично-смешиваемых систем, в технологических процессах с мощным тепловыделением. В общем случае, выбор теплоносителя «под задачу» требует знания тепловой проводимости растворов в полном диапазоне изменения составов и в достаточно широкой области изменения температуры и давления. Например, именно интенсивность теплоотдачи реакционно-способного раствора к стенке реактора является фактором, лимитирующим возможность масштабирования реагирующего объема вещества (объема реактора), а, значит, и повышения производительности энергоемкого технологического оборудования. Полученные в работе данные создают практическую основу для осуществления масштабирования и, в перспективе, позволяют выявить условия осуществимости флэш-синтеза с повышением температуры раствора для сокращения продолжительности реакции.

**Достоверность результатов** подтверждается применением методов теплофизических измерений, основанных на анализе первичных данных и учете погрешности измерений, повторяемостью результатов в серии измерений при заданных параметрах и их чувствительностью к малым изменениям теплофизических свойств вещества, опытом работы с перегретыми жидкостями и опорой на фундаментальные законы теплообмена.

#### **Замечания и вопросы:**

1. Известно, что теплоотдача нагретого тела определяется тремя основными процессами- теплопроводностью, конвекцией, излучением и интенсивностью фазовых переходов, каждый из которых обладает некоторой инерционностью. Импульсное измерение требует учета характерных времен протекания указанных процессов.
2. Автором используются такие термины, как теплоотдача, тепловая проводимость, теплопроводность, длина пробега фонона без указания их взаимосвязей.
3. В работе дано достаточно краткое описание экспериментальной установки. Неясно, как осуществлялся нагрев образца в изобарных условиях
4. Импульсный подвод тока (какого постоянного или переменного), форма импульса?
5. Не приведена оценка постоянной времени (или передаточная функция) измерительной платиновой нити.

6. Не учтены тепловые потери через токоподводящие контакты.
7. Утверждение Автора об несущественности зависимости теплообмена тела (измерительной нити) от температурного напора может быть объяснено кратковременностью теплового воздействия и неполным формированием температурного пограничного слоя, а не являться фундаментальным фактом.
8. Результаты визуальных исследований следовало бы дополнить количественным измерением степени прозрачности образца на проходящем или отраженном свете.

#### **Заключение.**

Диссертационная работа Поволоцкого И. И. «Теплоотдача к неидеальным растворам в процессах импульсного тепловыделения», соответствует паспорту специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника. Представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему. В ней разработана оригинальная методика исследования теплофизических характеристик бинарных жидкостей, в том числе частично-смешиваемых систем при нестационарном (импульсном) нагреве.

Выводы и рекомендации имеют достаточно обоснованный характер. Результаты проведенных исследований опубликованы в печатных изданиях, в том числе рекомендованных ВАК РФ, доложены и обсуждены на конференциях всероссийского и международного уровня.

По своей актуальности, объему выполненных исследований, научному содержанию, новизне и практической значимости результатов работа полностью отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор Поволоцкий Илья Ильич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук (01.04.14 – Теплофизика и молекулярная физика), ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», заведующий кафедрой «Атомные станции и возобновляемые источники энергии».

Щеклеин Сергей Евгеньевич

Адрес: 620002, Уральский федеральный округ, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

E-mail: [s.e.shcheklein@urfu.ru](mailto:s.e.shcheklein@urfu.ru)

Тел.: 8 (343) 375-95-08

Подпись С.Е. Щеклеина заверяю:

**УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
УРФУ  
МОРОЗОВА В.А.**

