

ОТЗЫВ

дополнительного члена ДС.ТПУ.04

Заворина Александра Сергеевича

на диссертацию Керимбековой Сусанны Александровны на тему:

«Испарение неоднородных капель жидкостей в условиях интенсивного нагрева» на

соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 1.3.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника

Актуальность избранной темы

Совершенствование широкого круга высокотемпературных технологий непосредственно связано с интенсификацией процессов тепломассообмена и физико-химических преобразований. Определенное место среди этих технологий занимают процессы, связанные с распылением и последующим испарением неоднородных, жидких в своей основе, сред в виде растворов, эмульсий и суспензий. Если макропараметры таких процессов для проектирования соответствующих установок и управления ими считаются достаточно освоенным, то относительно процессов прогрева и испарения неоднородных капель и их совокупностей, особенно при имеющем место в настоящее время увеличении разнообразия и поликомпонентности их составов, возникает потребность прогнозирования характеристик применительно к условиям технологических установок. Это требует получения экспериментальных данных о влиянии состава примесей и добавок в каплях воды на их распыление и испарение в различных реальных условиях нагрева.

Тема диссертации находится в русле приоритетного направления развития науки в Российской Федерации «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика» и соответствует критической технологии РФ «Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии». Представленные в работе исследования являются частью проекта Минобрнауки РФ, выполняемого консорциумом вузов и институтов РАН и координируемого Институтом теплофизики СО РАН.

Исходя из вышеизложенного, можно констатировать, что тема диссертационной работы Керимбековой С.А., нацеленной на экспериментальное определение скоростей испарения неоднородных капель во взаимосвязи с идентификацией содержащихся в них компонентов в условиях теплообмена, приближенных к работе реальных технологических установок, является несомненно **актуальной**.

Соответствие Паспорту научной специальности

Тема диссертационной работы соответствует пункту 6 паспорта специальности 1.3.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника» - «Экспериментальные исследования, физическое и численное моделирование процессов переноса массы, импульса и энергии в многофазных системах и при фазовых превращениях».

Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, каждая из которых завершается выводами, заключения, содержащего основные результаты и главные выводы, и списка литературы, содержащего 151 наименование, в том числе 109, опубликованных в

зарубежных изданиях. Общий объем составляет 121 страницу машинописного текста и включает 37 иллюстраций и 8 таблиц.

Во введении изложены со ссылками на 50 источников положения, относящиеся к нескольким аспектам актуализации темы диссертационной работы, приведена формулировка цели и задач исследования, охарактеризована его научная новизна и теоретическая значимость, изложены представления автора о практической значимости результатов и аргументы подтверждения достоверности полученных экспериментальных результатов, перечислены выносимые на защиту положения и результаты, а также представлены типовые сведения общего характера о диссертационной работе (личный вклад автора, апробация и публикация результатов и др.).

В первой главе содержится анализ современного состояния и оценка уровня теоретических и экспериментальных исследований процессов прогрева и испарения неоднородных капель растворов, эмульсий и суспензий. Показано, что эта проблематика привлекает внимание многих научных коллективов и отдельных учёных в разных странах, в том числе в России, что является свидетельством перспективности обозначенного направления исследований. Рассматривая известные попытки математического моделирования, установлено, что они удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными в ограниченной области температур, в кинетических и диффузионных условиях теплообмена с внешней газовой средой только до 750К. Это явилось мотивационным фактором к расширению экспериментальной базы для предпринимаемых исследований в направлении применения малоинерционных и панорамных оптических методов, и высокоскоростной регистрации, а также для воспроизведения условий теплообмена и особенностей движения в потоке несущей среды капель разного размера. Показано, что необходимым и наиболее эффективным путем реализации экспериментальных задач является идентификация добавок и примесей в каплях. Как следствие этого, выполнен сравнительный анализ известных методов и методик, применяемых для обозначенной цели, и приведена констатация отсутствия на данный момент полноценной экспериментальной методики для идентификации типа и концентрации добавок и примесей в каплях, тем более в процессе их распыления и испарения.

Следует отметить, что качественный и информативный анализ, выполненный в первой главе, способствовал содержательному и предметному изложению как постановки, так и результатов исследований, представленных в двух последующих главах диссертационной работы.

Вторая глава посвящена экспериментальному определению компонентного состава каплевидных суспензий, эмульсий и растворов. Базовой частью экспериментов принята и охарактеризована подробно комбинация трех бесконтактных оптических методов: лазерно-индуцированной флуоресценции (LIF), интерферометрии (IPI), теневой фотографии (SP). В качестве неоднородных компонентов в каплях использованы добавки отхода углеобогащения, древесных опилок, рапсового масла.

Для измерений методом LIF создан экспериментальный стенд, в состав которого входят импульсный лазер, высокоскоростная видеокамера и оптический светофильтр. Определены концентрации твердой компоненты в отдельных каплях и в аэрозольном потоке, распределения водной компоненты по сечению потока, идентифицированы в нем отдельные капли рапсового масла. Для определения характеристик распыления использован экспериментальный стенд с форсункой, работающей на основе эффекта

Коанда, с прозрачной камерой и системой прожекторов, оснащённый высокоскоростной камерой.

Этот же стенд использован для исследований состава капель методом IPI, в котором предусмотрена лазерная подсветка измерительной области и регистрация интерференционных картин видеокамерой. Метод позволил косвенно определять средний размер частиц примеси в каплях и регистрировать в потоке самые мелкие капли.

В стенде для определения размера капель по методу SP использована высокоскоростная видеокамера и прожектор для фоновой подсветки. Результатом экспериментов является эффективное определение доли несферических суспензионных капель в аэрозольном потоке и тем самым - доли капель с крупными фрагментами твердой фазы.

Третья глава содержит результаты экспериментов и их обсуждение по выявлению широкого круга параметров распыливаемой и внешней сред, неоднородных капель и их компонентов, способа и скорости нагрева, влияющих на характеристики испарения капель.

Эксперименты по определению скорости испарения выполнены на отдельном стенде с применением восьми видов добавок и примесей к дистиллированной воде, каждый из которых соответствуют ожидаемым применениям результатов исследований на практике.

Приведены результаты влияния способа нагрева на характеристики испарения капель, полученные на четырех модификациях стендовой установки: при доминировании конвекции - в потоке продуктов сгорания; радиации - в муфельной печи; кондукции - на твердой подложке; при смешанном теплообмене - в пламени. Кроме того, установлены диапазоны массовой скорости испарения в зависимости от концентрации капель в аэрозольном облаке. Обработка результатов экспериментов доведена до получения аппроксимационных зависимостей.

Заключение состоит из семи пунктов основных выводов по диссертационной работе, содержание которых соответствует поставленным задачам.

Научная новизна диссертации может быть охарактеризована следующими положениями.

1. Предложен подход к экспериментальному определению компонентного состава неоднородных капель распыливаемых жидкостей, который позволяет одновременно регистрировать совокупность параметров, включая размеры капель, скорость их движения, дисперсность аэрозоля, температуру капель и газовой среды и др.

2. Разработана методика определения значений скорости испарения жидкости в составе аэрозоля при известных значениях скорости испарения одиночных капель.

3. Определены диапазоны изменения скорости испарения капель воды с типичными примесями и добавками при различных схемах нагрева и характеристики их испарения под влиянием типа и концентрации примеси и добавки, схемы и темпа нагрева, температуры внешней среды и теплового потока.

4. Предложен подход к прогнозированию скорости испарения неоднородных капель при известном компонентном составе и получены аппроксимационные выражения в безразмерном виде, связывающие скорость испарения с концентрациями и свойствами примесей и добавок.

Теоретическая и практическая значимость

1. Результаты исследований, обладающие научной новизной, вносят вклад в базу фундаментальных знаний о процессах нагрева и испарения каплевидных суспензий, эмульсий и растворов в составе аэрозолей.

2. Предложен и апробирован универсальный подход к определению компонентного состава неоднородных капель в составе спреев при разных условиях теплообмена, отличающийся комбинированным применением оптических методов, включая теневую фотографию, интерферометрию и лазерно-индуцированную флуоресценцию.

3. Экспериментальные результаты и обобщающие их математические выражения, связывающие скорость испарения с входными параметрами, могут быть применены для разработки рекомендаций по совершенствованию высокотемпературных газопарокапельных технологий: полидисперсное пожаротушение; горение суспензионных, эмульсионных и жидких топлив; термическая и огневая очистка жидкостей и др.

Достоверность результатов базируется на обоснованности выбора и методической проработки применения современных высокоточных средств видеорегистрации и идентификации компонентного состава неоднородных капель с использованием взаимодополняющих комплексов теневой фотографии, лазерно-индуцированной флуоресценции, интерферометрии и подтверждается оценками систематических и случайных погрешностей измерений. Получена удовлетворительная повторяемость результатов опытов при идентичных начальных значениях параметров и удовлетворительная корреляция с известными результатами других исследователей в тестовых задачах.

Опубликованность и апробация результатов подтверждается одиннадцатью печатными работами, среди которых 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 3 статьи в высокорейтинговых (ИФ>2) журналах, входящих в 1 и 2 квартили базы данных Web of Science, 6 публикаций тезисов докладов в сборниках конференций. Состоялось участие в одной всероссийской конференции и в пяти международных и с международным участием, проведенных в России.

Соответствие автореферата содержанию диссертации является достаточно полным. Текст диссертации автореферата изложен в доказательном стиле ясным и понятным языком.

Анализ содержания рукописи диссертации и автореферата дает основание констатировать высокий уровень выполненных исследований.

По работе имеются **следующие замечания**, которые всё же не сказываются на общей положительной оценке.

1. Показанная в диссертации оригинальность разработки экспериментальных установок, методик исследования, способа идентификации примесей в каплях и компонентов спреев позволяет предполагать возможность регистрации интеллектуальной собственности. Если бы это было сделано, то повысилась бы доказательность практической значимости работы и в какой-то мере восполнено отсутствие приложений с материалами об использовании/внедрении результатов работы.

2. При поставленной задаче (п.7) о «разработке рекомендаций по использованию экспериментальных результатов при совершенствовании технологий», по нашему мнению, недостаточно ограничиваться одним только утверждением в заключении (п.7) о том, что «сформулированы рекомендации по применению результатов выполненных исследований...». Следовало бы действительно привести эти рекомендации в сформулированном виде и в отдельном разделе.

Заключение по диссертационного работе

Диссертационная работа Керимбековой С.А. на тему «Испарение неоднородных капель жидкостей в условиях интенсивного нагрева» удовлетворяет требованиям п. 2.1 «Порядка присуждения ученых степеней в Томском политехническом университете» (приказ №362- 1/од от 28.12.2021г.) и является законченной научно - квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение задачи о скорости испарения неоднородных капель суспензий, эмульсий и растворов в условиях интенсивного нагрева, имеющей значение для развития высокотемпературных газоаэрозольных технологий в теплотехнике и её приложениях, а её автор, Керимбекова Сусанна Александровна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14 -«Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Я, Заворин Александр Сергеевич, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Дополнительный член ДС.ТПУ.04,
доктор технических наук (специальность
1.3.14-Теплофизика и теоретическая теплотехника), профессор,
заведующий кафедрой - руководитель научно-
образовательного центра И.Н.Бутакова на правах
кафедры, Инженерная школа энергетики,
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Телефон: +73822-701777 доб. 1612
e-mail: zavorin@tpu.ru

 /Заворин А.С./

Дата «5» декабря 2023 г.

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
8 (3822) 70-17-77 Вн. телефон: 1612
zavorin@tpu.ru

Подпись Заворина А.С. заверяю
Ученый секретарь организации

 /Кулинич Е.А./