

ОТЗЫВ

официального оппонента Дулина Владимира Михайловича
на диссертационную работу Керимбековой Сусанны Александровны на тему:
«Испарение неоднородных капель жидкостей в условиях интенсивного нагрева»
по специальности 1.3.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника
на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Диссертационная работа посвящена экспериментальному исследованию пространственной организации капель жидкостей с различными видами включений других жидкой и твердых фаз, с использованием панорамных оптических методов, а также оценке скоростей испарения таких капель в условиях интенсивного нагрева. Работа изложена на 121 листе основного машинописного текста, содержит 37 рисунков, 8 таблиц и список цитируемой литературы из 151 наименования. Материалы диссертации опубликованы в 11 печатных работах, в том числе – в 2 статьях в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, и 3 статьях в иностранных журналах, индексируемых в системах цитирования «Web of Science» и «Scopus». Основные результаты исследований доложены на 6 научных конференциях и семинарах.

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Актуальность темы диссертации обусловлена активным развитием ряда технологий, напрямую связанных с применением многокомпонентных аэрозолей и спреев. При этом, особенности теплообмена и фазовых превращений даже для единичных капель, содержащих включения мелкодисперсных капель или твердых частиц, изучены недостаточно. Следует также отметить, что предложенный и апробируемый Керимбековой С.А. комплексный экспериментальный подход для исследования многокомпонентных капель и спреев жидкостей с использованием различных оптических методов в настоящее время является очень актуальным.

Содержание диссертации, её цель, задачи и положения, выносимые на защиту, **соответствуют заявленной научной специальности** и её направлениям исследования по п.6 – «Экспериментальные исследования, физическое и численное моделирование процессов переноса массы, импульса и энергии в многофазных системах и при фазовых превращениях», п.7 – «Экспериментальные и теоретические исследования процессов совместного переноса тепла и массы в бинарных и многокомпонентных смесях веществ, включая химически реагирующие смеси» и п.9 – «Разработка научных основ и создание методов интенсификации процессов тепло- и массообмена и тепловой защиты».

Научная новизна полученных результатов обусловлена применением передовых оптических методов диагностики свойств одиночных многокомпонентных капель и к спреям целиком. С использованием оптических методов, основанных на различных принципах, проведена их апробация для одиночных капель, с учётом которой были получены новые экспериментальные данные об особенностях распыла многокомпонентных спреев модельной пневматической форсункой. Также с использованием оптических методов исследованы особенности динамики распределения твердой примеси в каплях при интенсивном нагреве. В работе обобщены экспериментальные данные об особенностях прогрева и скоростях различных суспензий, эмульсий и растворов.

Достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, основана на корректной постановке физического эксперимента, применении поверенного измерительного оборудования для контроля условий экспериментов и измерений, а также согласованием между собой результатов, полученных оптическими методами на различных принципах (методом прямого наблюдения и сравнения многозначной мерой длины – линейкой и методами на основе регистрации интенсивности рассеянного света, интенсивности флуоресценции и на основе интерференционных картин).

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов обусловлена расширением знаний об особенностях и скоростях испарения многокомпонентных капель суспензий и эмульсий. Полученные данные являются востребованными для построения обобщенных моделей и интеграции их в расчетные коды, используемые для численного моделирования тепло-массообменных процессов в различном оборудовании, связанном с применением многокомпонентных аэрозолей и спреев.

Общая характеристика структуры и содержания диссертации

Диссертационная работа изложена техническим языком. Список используемых источников отражает состояние вопроса, рассмотренного в диссертации. По объёму и содержанию автореферат и диссертация отвечают требованиям к оформлению кандидатских диссертаций.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, поставлена цель и задачи исследований, приведена научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, представлены основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации работы.

В первой главе приведен анализ литературы по направлению исследования. Обобщены основные результаты исследований скоростей испарения и кипения

одно- и двухкомпонентных капель при их интенсивном нагреве. Сформулированы выводы об актуальности направлений дальнейших исследований.

Во второй главе представлены результаты применения панорамных оптических методов (теньевая фотография, регистрация интенсивности рассеянного света, интенсивности флуоресценции и на основе интерференционных картин) для определения размеров, наличия включений и распределения температуры для одиночных капель и для спрея, создаваемого модельной пневматической форсункой. Проанализированы основные источники погрешности для одиночных капель при анализе изображений, полученных различными методами. Исследованы пространственные характеристики многокомпонентного спрея.

В третьей главе представлены эксперименты по оценке скоростей испарения капель водных растворов, суспензий и эмульсий, рассмотренных в предыдущей главе. Проведено сравнение и обобщение данных для различных схем нагрева. Также рассмотрено влияние концентрации капель воды в аэрозольном облаке на скорости их испарения. Контроль параметров аэрозоля также осуществлялся с использованием хорошо отлаженных оптических методов.

Автореферат и опубликованные автором статьи в полной мере **отражают основное содержание диссертации.**

Личный вклад автора состоит в планировании, подготовке и проведении экспериментов, в непосредственном получении и обработке данных, анализе и обобщении полученных результатов, подготовке публикации и формулировании заключения и положений по работе. Постановка научного исследования выполнена совместно с научным руководителем соискателя.

К работе имеются следующие **замечания**:

1. К сожалению, несмотря на обширный обзор литературы, в работе не представлено сравнения полученных результатов с известными литературными данными, даже для одиночных капель.

2. На стр. 31 указано, что размер «...твердых частиц кека не превышал $d_p \approx 80$ нм». Вероятно, как и на стр. 30, размер соответствует мкм, так как для указанной мельницы параметры сит соответствуют диапазону размеров 0,08-6 мм.

3. При анализе изображений, полученных методом плоскостной лазерно-индуцированной флуоресценции, не указано, учитывалось ли каким-то образом ослабление излучения внутри капли вследствие поглощения. Следует также пояснить, почему выбран именно такой флуоресцентный краситель, а не, например, Rhodamine 6G.

4. При описании значений параметров кривых аппроксимаций (Рис.4, 7; Табл. 6, 7, 8) приводится неоправданно избыточное количество знаков, не имеющих

смысла для полученных экспериментальных данных с учетом актуальной инструментальной погрешности используемых научных приборов.

5. На стр. 37 и 38 сделан вывод о влиянии концентрации кека, но не указано, объемная или массовая концентрация имеется ввиду. Также указано, что интенсивность свечения красителя Rhodamine В снизилась на 70-75%, в то время как его концентрация снизилась в 50 раз. Почему зависимость является нелинейной?

6. На Рис. 29 показаны аппроксимации экспериментальных данных аналитическими кривыми типа $b+c \times \exp(a \times d)$. Положительные значения параметров b , c , d предполагают, что значение данной функции от переменной a будет монотонно возрастать. Но, для одного из случаев на Рис. 29 это не так. Данную неточность необходимо пояснить.

7. Качество (разрешение) некоторых иллюстраций заметно уступает остальным. Также невозможно понять отличие между изображениями I, II и III на Рис. 2.

8. Порядок нумерации цитируемой литературы нарушен: так ссылка [43] появляется в тексте после ссылок [44-46]; ссылки на источники [83-91] в тексте приведены до ссылок на источники [62-82]. Ссылка на работу [72] в тексте отсутствует.

9. Некоторые аббревиатуры в тексте диссертации не пояснены: «ЛФДК», «ЛДДК», «LFDC» на стр.18. Некоторые обозначения в таблицах 1 и 2 не очевидны и не поясняются в тексте.

10. В тексте диссертации встречаются опечатки и неточные, на мой взгляд, выражения, например, оглавление для раздела 2.3.4 содержит опечатку. Также по тексту: «... их компонентной состав.» на стр.8, «...изложена на 121 страницах машинописного текста...» на стр.13, «...с нелинейными краевыми условиями...» на стр.15, «...задачи m с минимальными...» на стр.17, «...метода «Laser Induced Phosphorescence.» и «...получение большее количество...» на стр.18, «...на интенсивность фазовых превращений и их деформаций», «...радиус гетерогенных капель...» и «...оптические характеристики суспензий выше...» на стр.19, «... в составе каплях жидкости...» на стр.24., «... волн любой природы (акустических, радио, световых и др.)». Складывается впечатление, что редактирование первой главы осуществлялось в спешке.

Заключение: приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Керимбековой Сусанны Александровны и не снижают значимости полученных научных результатов. Работа выполнена на высоком методическом уровне, в которой решена актуальная научная задача исследования внутренней структуры испаряющихся многокомпонентных капель оптическими методами. Считаю, что диссертационная работа «Испарение

неоднородных капель жидкостей в условиях интенсивного нагрева» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, изложенным в п. 2.1 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, а Керимбекова Сусанна Александровна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Я, Дулин Владимир Михайлович, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук, профессор РАН,
ведущий научный сотрудник лаборатории физических
основ энергетических технологий,
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт теплофизики
им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения
Российской академии наук



(подпись)



(расшифровка подписи)

Дата « 23 » ноября 2023 г.

630090, г. Новосибирск,
пр. Академика Лаврентьева, д. 1
8- 9; vmd@itp.nsc.ru

Подпись Дулина В.М. заверяю
Ученый секретарь,
кандидат физико-математических наук



(подпись)



(расшифровка подписи)

