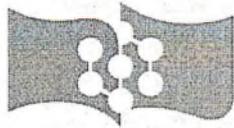


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

SIBERIAN
FEDERAL
UNIVERSITY



СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

660041, Россия, Красноярск, проспект Свободный, 79
телефон (391) 244-82-13, факс (391) 244-86-25
http://www.sfu-kras.ru e-mail: office@sfu-kras.ru

№ _____
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и международному
сотрудничеству Сибирского
федерального университета, кандидат
сельскохозяйственных наук



С. В. Верховей
«_5_» декабря 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Пискунова Максима Владимировича
«Фазовые превращения капель воды с твердыми нерастворимыми включениями
при высокотемпературном нагреве», выполненную по специальности
01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

В широком классе энергетических, металлургических и химических технологий (градирни, литье и прокат металлов, тушение пожаров и др.) используется распыление жидкости для охлаждения газов, поверхности оборудования и изделий. Исследователи ищут способы интенсификации процессов тепло- и массообмена при использовании технологий с распылом жидкостей. Естественно, что применение капель жидкости содержащих твердые включения может значительно повлиять на характер тепло – и массообмена. Особенно важно это для режимов с испарением и кипением жидкости. Однако, как следует из обзора исследований, в литературе слабо отражен вопрос влияния размера, формы и состава твердых включений каплях жидкости на интенсивность процессов нагрева жидкости, ее испарения и кипения. Поэтому, работа Пискунова Максима Владимировича «Фазовые превращения капель воды с твердыми нерастворимыми включениями при высокотемпературном нагреве» **является, несомненно, актуальной и может иметь большое прикладное значение.**

Поскольку появляются новые перспективные высокотемпературные технологии, использующие распыленные жидкости с твердыми включениями, то высокую значимость приобретают экспериментальные работы с исследованием широкого спектра определяющих процессы тепло-массообмена параметров. Создание базы данных на основе экспериментальных исследований закономерностей режимов кипения и испарения двухфазных и гетерогенных капельных потоков при интенсивном нагреве поможет существенно продвинуться в разработке рекомендаций для совершенствования существующих технологий и разработки новых.

Установленные в процессе экспериментальных исследований закономерности и механизмы фазовых превращений позволяют контролировать процесс теплообмена в гетерогенных и двухфазных системах, варьировать временные характеристики процессов

в рамках соответствующих практических приложений. Работа М. В. Пискунова **актуальна** и потому, что в ней сделана попытка систематизировать материал по использованию широко известного пассивного метода интенсификации теплообмена – «добавление примесей в жидкости» в части процессов с испарением и кипением капель, и существенно дополняет его новыми знаниями.

Диссертационная работа выполнена в рамках приоритетного направления развития науки, техники и технологий в Российской Федерации «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика» (утвержден президентом РФ от 07.06.2011 г. № 899) и соответствует списку критических технологий: «Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии» и «Технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка условных обозначений и символов, списка цитируемой литературы.

Диссертация изложена на 210 страницах, включает 77 рисунков, 12 таблиц и список из 242 литературных источников.

Во введении сформулированы цель и задачи исследований, обоснована актуальность темы диссертационной работы, указаны практическая значимость и научная новизна полученных результатов.

В первой главе представлен обзор литературы с описанием современного состояния исследований в области фазовых превращений неоднородных капель жидкости и близких к ним процессов.

Вторая глава посвящена описанию разработанных автором экспериментальных стендов и методик исследований, а также сделана оценка погрешностей результатов измерений.

Основная третья глава посвящена результатам выполненных экспериментальных исследований испарения и кипения неоднородных (с твердыми включениями) капель воды в продуктах сгорания и подогретом воздухе. Впервые обнаружен и проанализирован эффект «взрывного» дробления неоднородной капли жидкости с соразмерным твердым непрозрачным включением. Исследованы параметры капли, твердого включения и окружающей среды на определяющие условия реализации этого эффекта. Зарегистрированы характерные времена существования неоднородных капель жидкости в высокотемпературных средах. Определены количество и размеры отделившихся капель при «взрывном» дроблении. Разработаны рекомендации по использованию полученных результатов.

Научная новизна работы М.В. Пискунова состоит в том, что экспериментально изучен эффект «взрывного» разрушения (дробление) неоднородной капли воды (с соразмерным твердым непрозрачным включением) из-за интенсивного парообразования при нагреве в высокотемпературных (более 650 К) газовых средах. С применением разработанной оригинальной экспериментальной методики основанной на использовании сочетания высокоскоростной видеосъемки и мониторинга температуры жидкости, точки контакта фаз и твердого включения, изучены закономерности и условия фазовых превращений капель жидкостей высокотемпературной газовой среде. Установлены стадии интенсивного парообразования неоднородных капель воды с взрывным разрушением последних. Выделены температурные диапазоны внешнего потока, при которых устойчиво происходит разрушение неоднородной капли жидкости. Определены временные характеристики процесса фазовых превращений капли. Зарегистрированы процессы зарождения и эволюции парового слоя на внутренних границах раздела сред «поверхность твердого включения – слой жидкости».

Выделено определяющее влияние радиационной составляющей передачи тепла на характеристики процессов испарения и кипения для капель содержащих твердые включения. Показаны принципиальные отличия исследуемых процессов от широко известных опытов с кипением жидкостей на поверхности разогретой пластины. Определены характерные соотношения площадей испарения жидкости до и после взрывного дробления неоднородных капель при высокотемпературном нагреве.

Наиболее значимыми являются следующие **научные результаты** автора диссертации:

1. Установлен эффект «взрывного» дробления неоднородной капли жидкости вследствие интенсивного парообразования на внутренних границах раздела сред (поверхности твердого непрозрачного включения).

2. Определены условия, при которых возможен эффект взрывного дробления неоднородной капли жидкости: достаточный уровень температуры набегающего потока; материал включения; форма и размер включения; уровень шероховатости поверхности и пористой структуры материала.

3. Зарегистрированы характерные времена существования τ_h неоднородных капель жидкости в условиях интенсивного парообразования с взрывным дроблением (от 1 до 12 с) и полного испарения с сохранением целостности (до 100 с).

4. Показано, что возможны две схемы интенсивного парообразования при нагреве неоднородной капли с ее взрывным дроблением (отличающиеся условиями подведения энергии к внутренним границам раздела сред), а также одна схема испарения со свободной поверхности жидкости. Впервые экспериментально выделены характерные стадии парообразования неоднородной капли.

5. Установлено, что при нагреве и испарении капли воды с твердым включением в газовой среде (воздухе) с температурой выше 1000 К в результате интенсивного парообразования жидкости с ее «взрывным» дроблением на мелкие фрагменты площадь поверхности испарения может увеличиваться в 3–15 раз относительно начальной площади поверхности капли. Показано, что значительное влияние на количество фрагментов жидкости, образующихся в результате взрывного дробления неоднородной капли оказывает начальное соотношение объемов жидкости V и твердого включения V_{inc} . Максимальное число отделившихся фрагментов зафиксировано при условии $V \sim V_{inc}$.

Новизна полученных М. В. Пискуновым результатов подтверждается, статьями в журналах, рекомендованных ВАК для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций, 9-ю публикациями в изданиях, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science (из них 4 статьи в высокорейтинговых изданиях, входящих в 1–2 квартили Web of Science: «International Journal of Heat and Mass Transfer», «Journal of Heat Transfer», «Thermal Science»). Публикации автора характеризуют высокий научный уровень полученных результатов.

Исследования автора диссертации ориентированы не только на получение новых эмпирических данных о фазовых превращениях неоднородных жидкостей, но и являются основой для разработки рекомендаций и определения режимов работы высокотемпературных приложений в области термической очистки жидкостей и пожаротушения.

Достоверность приведенных в рукописи и автореферате диссертации результатов исследований подтверждается оценкой систематических и случайных погрешностей измерений, удовлетворительной повторяемостью опытов при идентичных параметрах

системы, а также использованием современного высокоточного оборудования. Результаты исследований подтверждаются сравнением с данными других работ.

Практическая значимость работы обусловлена тем, что полученные результаты экспериментов и сделанные заключения могут служить информационной базой для разработки перспективных высокотемпературных газопарокапельных технологий, а также совершенствования и развития существующих. К ним относятся: термическая и огневая очистка воды; пожаротушение с применением капельных аэрозолей неоднородных суспензий; эффективное охлаждение теплонагруженных поверхностей ограждающих конструкций энергетического оборудования и металлургических изделий.

По содержанию рукописи и автореферата диссертации можно сделать следующие замечания:

1. К основному недостатку работы следует отнести отсутствие в диссертации физико-математического описания и объяснения на его основе экспериментально полученных эффектов и зависимостей.
2. Анализ полученных экспериментальных данных ограничивается словесным описанием и графическим представлением результатов исследованных режимов испарения и кипения жидкости. Автор не предлагает функциональных зависимостей для описания полученных результатов, что усложняет их практическое использование.
3. Автор диссертации иногда использует необоснованные предположения о механизмах протекающих процессов, например:
на стр. 75 ... на пузырьки, образующиеся на поверхности частицы, не действует подъемная сила...;
на стр. 84 ... подведенная через воду энергия будет аккумулироваться в малом приповерхностном слое у внутренних границ раздела сред...
4. При формулировании пунктов научной новизны работы сказано, что изучение закономерностей и условий фазовых превращений капель происходит ...«С применением разработанной экспериментальной методики, отличающейся от известных совместным использованием высокоскоростного видеокomплекса для визуализации особенностей рассматриваемых процессов, следящей системы и оптического метода «Particle Image Velocimetry» (PIV). Однако в тексте диссертации можно найти только один результат использования системы PIV – рисунок 2.4.4

Несмотря на отмеченные замечания, диссертация М.В. Пискунова выполнена на высоком научном уровне и является завершенной научно-квалификационной работой. Рукопись диссертации и автореферата написаны ясным языком. Стиль изложения основных положений и выводов – доказательный. Автореферат соответствует основным положениям и выводам диссертации. Материалы диссертации широко опубликованы в научной периодической литературе и прошли апробацию на международных и всероссийских конференциях.

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации М.В. Пискунова можно сделать заключение о том, что диссертация «Фазовые превращения капель воды с твердыми нерастворимыми включениями при высокотемпературном нагреве» полностью соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным п. 9, абзац 2 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Пискунов Максим Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата

физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

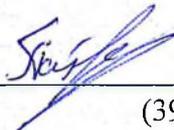
Диссертационная работа М.В. Пискунова и отзыв на нее были обсуждены и одобрены на расширенном научном семинаре кафедры теплофизики СФУ, протокол № 4 от 18 ноября 2016 года.

Заведующий кафедрой теплофизики СФУ,
кандидат технических наук
(05.14.05 – Теоретические основы теплотехники),
старший научный сотрудник



Дектерев Александр Анатольевич
(391) 249-88-51, dektev@mail.ru

Директор Института инженерной физики
и радиоэлектроники СФУ
доктор физико-математических наук
(01.04.07 – Физика конденсированного состояния),
профессор



Патрин Геннадий Семенович
(391) 291-29-67, dir_efir@sfu-kras.ru

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский федеральный университет»
Почтовый адрес: 660041, Россия, Красноярск, Свободный просп., 79
Тел.: (391) 244-86-25, e-mail: office@sfu-kras.ru, http://www.sfu-kras.ru