

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Коршунова Алексея Михайловича

«Полимерные пены и вспененная эмульсия: нуклеация пузырей, фазовые переходы, горение», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 1.3.14 - «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Диссертационная работа Коршунова Алексея Михайловича посвящена исследованию процессов фазового перехода в полимерных пенах и вспененных эмульсиях.

1. Актуальность темы диссертации

Область применения пен чрезвычайно широка, она включает как теплоизоляционные материалы, так и горючие системы. Одним из актуальных вопросов исследования пен является изучение фазовых переходов в таких системах. В первой части диссертации основное внимание уделяется анализу влияния сдвиговых деформаций на процесс нуклеации газовых пузырей в пересыщенных растворах полимер-газ. Исследование этого вопроса актуально для создания и развития современных экструзионных линий по вспениванию полимеров. Свойства полимерных пен во многом определяются их структурой - диаметром газовых пузырей и численной плотностью пузырей в пене. В первой части диссертации исследуются методы регулирования этих характеристик полимерных пен. Во второй части диссертации исследуются вопросы, связанные с горением *вспененной эмульсии* - нового типа горючей системы, состоящей из пузырей, заполненных окислителем или горючей смесью, и капель углеводородного топлива в тонких пленках жидкости между ними. Актуальность данной темы исследования обусловлена уникальными свойствами таких горючих систем. Полученные в диссертации результаты могут быть использованы при создании устройств для утилизации водонасыщенных углеводородов с повышенным содержанием воды, например, при ликвидации последствий утечки топлив или нефти в воду.

2. Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения и двух частей. Первая часть содержит две главы, вторая - семь глав. Диссертация изложена на 258 страницах, включая 119 рисунков и 1 таблицу. Список цитируемой литературы включает 411 наименований.

Во введении обосновывается актуальность, научная новизна, научная и практическая значимость задач, решаемых в работе. Сформулированы цели работы и основные положения, выносимые на защиту.

В главе 1.1 на основе теоретического анализа исследуются проблемы нуклеации и коалесценции газовых пузырей в пересыщенных растворах полимер-газ.

В главе 1.2 диссертации приводятся результаты экспериментального исследования процесса нуклеобразования и коалесценции пузырей в пересыщенном растворе полиэтилен-изобутан. Анализируется влияние коэффициента вязкости полимера, температуры, концентрации нуклеобразователя и конструктивных характеристик формирующего инструмента на численную плотность пор в пене.

Глава 2.1 посвящена описанию способа изготовления и структуры горючей вспененной эмульсии. Описаны основные понятия и используемая терминология. Здесь приводится классификация и описание основных режимов горения вспененной эмульсии. В частности, показано, что пламя во вспененной эмульсии может распространяться в “медленном” и “ускоренном” режимах. При использовании бедных вспененных эмульсий в основном реализуется “медленный” режим распространения пламени, при котором скорость распространения пламени близка к величинам, характерным для предварительно перемешанной газовой смеси. Основную роль при ускорении пламени во вспененной эмульсии играет процесс взрывного вскипания жидкой фазы вспененной эмульсии. Этот процесс может быть описан следующим образом: при распространении пламени тепловой поток из зоны горения передается в холодные слои вспененной эмульсии. В результате интенсивного нагрева жидкой фазы возможно ее взрывное вскипание. При взрывном вскипании формируется поток пара и капель, который увлекает реагирующую смесь в холодные слои пены. Также в этой главе приведены экспериментальные результаты, демонстрирующие возможность существования осциллирующего режима распространения пламени и режима с погасанием и воспламенением. Предложена физическая трактовка, объясняющая причины и механизмы возникновения этих режимов горения.

В главе 2.2 рассматриваются вопросы горения вспененной эмульсии при повышенном содержании воды. С практической точки зрения, эти исследования могут найти применение в технологиях утилизации топливно-водных растворов. В этой главе показывается, что условие горючести вспененной эмульсии сводится к требованию, чтобы при ее распаде в процессе распространения пламени образовывались более крупные капли воды, чем горючего. В силу того, что время испарения капли квадратично зависит от ее диаметра при реализации этого условия, области испарения капель горючего и воды оказываются разделенными в пространстве.

В главе 2.3 анализируются различные способы управления скоростью распространения пламени во вспененной эмульсии. Исследуется влияние геометрических параметров (диаметр трубки, спираль Щелкина) и состава вспененной эмульсии (концентрации нуклеобразователя, глицерина и стабилизатора) на общую скорость распространения пламени. Показано, что уменьшение конвективных потерь тепла при увеличении диаметра трубки приводит к возрастанию общей скорости горения

вспененной эмульсии. При наличии препятствий в канале скорость пламени в “ускоренном” режиме горения снижается, в силу роста гидравлических и тепловых потерь. Напротив, введение в состав вспененной эмульсии частиц оксида магния способствует ускорению пламени, так как частицы являются гетерогенными центрами нуклеации при взрывном вскипании жидкой фазы вспененной эмульсии. Также в этой главе рассматривается метод утилизации разлитых углеводородов на поверхности воды путем сжигания вспененной эмульсии, и предложена принципиальная схема устройства для его реализации.

Глава 2.4 посвящена анализу влияния метода изготовления вспененной эмульсии на свойства пены и характеристики горения. Рассматриваются два основных метода изготовления эмульсии: 1) путем механического перемешивания компонентов вода-углеводород; 2) с помощью ультразвуковой обработки исходной смеси. Представленные результаты показывают, что скорость распространения пламени во вспененной эмульсии существенно зависит от метода изготовления эмульсии. Это обусловлено тем, что капли углеводорода выполняют роль гетерогенных центров нуклеации в процессе взрывного вскипания жидкой фазы вспененной эмульсии. При использовании ультразвуковой обработки эмульсии размер капель углеводорода оказывается меньше критического значения. Это приводит к тому, что условия для взрывного вскипания вырождаются, что в итоге способствует снижению скорости распространения пламени во вспененной эмульсии.

В главе 2.5 анализируется влияние микрочастиц торрефицированной биомассы (древесного угля) на процесс горения вспененной эмульсии. Интерес к этой задаче вызван, в частности, существующими тенденциями современной энергетики к поиску методов снижения вредных выбросов, а также использованию возобновляемых видов топлив. Одним из возможных путей решения этих задач может быть использование в качестве топлива вспененной эмульсии, в состав которой входят торрефицированные частицы биомассы (древесного угля). В этой главе диссертации показано, что в зависимости от концентрации частиц биомассы общая скорость горения вспененной эмульсии имеет максимум. Это связано с тем, что с одной стороны, с ростом концентрации биомассы в бедной вспененной эмульсии возрастает температура во фронте пламени, что способствует ускорению пламени во вспененной эмульсии. С другой стороны, частицы биомассы являются гетерогенными центрами нуклеации для зарождения паровых пузырей при взрывном вскипании, поэтому рост концентрации частиц способствует более тонкому диспергированию капель воды и, как следствие, приводит к росту тепловых потерь во фронте пламени. Конкуренция между этими процессами приводит к возрастанию, а затем к убыванию скорости распространения пламени с ростом концентрации частиц биомассы.

В главе 2.6 рассматриваются вопросы, связанные с детонацией водород-кислородной микропены. Микропена представляет собой двухфазную систему, состоящую из газовых пузырей диаметром порядка сотен микрон, которые заполнены водород-кислородной смесью. В этой главе показано, что существование детонационной волны в микропене обусловлено эффектом кумулятивного схлопывания газовых пузырей. При схлопывании пузыря микроскопического размера давление внутри пузыря может возрастать на порядок величины по сравнению с давлением в падающей ударной волне. Благодаря кумулятивному эффекту становится возможным воспламенение горючей смеси внутри пузыря, даже при воздействии на него слабой ударной волны. При расширении газа в пузыре формируется вторичная ударная волна, под действием которой схлопывается соседний пузырь. В результате развития такого эстафетного процесса формируется самоподдерживающаяся детонационная волна.

В главе 2.7 рассматривается один из перспективных видов многофазных горючих систем, в состав которых входят углеводород, водород-кислородная смесь и вода. В этой главе диссертации показано, что использование водорода способствует увеличению скорости распространения пламени во вспененной эмульсии. При определенных условиях возможно даже возникновение детонационного режима горения.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

3. Научная новизна диссертационной работы

В диссертации впервые исследованы процессы фазового перехода в пересыщенных растворах полимер-газ в условиях воздействия сдвиговых напряжений и проанализированы конкурирующие механизмы нуклеации и коалесценции газовых пузырей в условиях воздействия сдвиговых напряжений. В диссертации впервые экспериментально проанализирован процесс горения вспененной эмульсии, который во многом связан с фазовыми переходами, протекающими в эмульсии. Впервые обнаружены и классифицированы новые режимы горения вспененной эмульсии: “медленный”, “ускоренный”, “осциллирующий” и режим “воспламенение - погасание”. В диссертации исследован новый механизм детонации микропены на водной основе, при котором существование детонационной волны обусловлено эффектом кумулятивного схлопывания газовых пузырей.

4. Научная и практическая значимость полученных результатов

Полученные в работе результаты легли в основу создания совершенно нового класса горючих систем – вспененная эмульсия. Подобный вид топлива обладает рядом уникальных свойств, которые могут быть использованы при разработке новых технологических процессов, например, для решения экологических проблем, связанных с

разливом нефтепродуктов на поверхности воды. Одной из важнейших задач в технологии экструзионного вспенивания полимеров является проблема повышения численной плотности пор в пенопластах. С целью увеличения численной плотности пузырей в полимерной пене, в диссертации предложена новая конструкция экструзионного формующего инструмента с вращающимися валами. За счет регулирования частоты вращения валов можно изменять численную плотность пузырей в полимерной пене в широком диапазоне. Физическая трактовка представленных экспериментальных результатов способствует развитию фундаментальных представлений о новых явлениях и процессах, описанных в работе.

5. Обоснованность и достоверность научных положений, результатов и заключений диссертации

Представленные в диссертации результаты экспериментальных исследований с высокой точностью повторяются в многочисленных экспериментах и согласуются с результатами численных исследований других авторов. Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, подкреплены экспериментальными данными и теоретическими выкладками.

6. Соответствие паспорту научной специальности

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

7. Публикации, отражающие основное содержание работы, и апробация работы

Результаты диссертации опубликованы более чем в тридцати статьях в ведущих российских и зарубежных журналах из перечня ВАК (в том числе 21 статья в высокорейтинговых журналах первого квартиля), а так же в большом числе трудов российских и международных конференций, где настоящая работа проходила апробацию.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. В работе используется экструзионный формующий инструмент лабораторного масштаба. Неясно, как полученные в диссертации результаты могут быть перенесены на промышленную установку.
2. В диссертации исследуется влияние спирали Щелкина на скорость распространения пламени во вспененной эмульсии только одной конфигурации. Из полученных

результатов не ясно, какое влияние оказывают конкретные геометрические параметры спирали, например, шаг спирали и ее диаметр.

3. В большинстве глав диссертации, получены формулы для оценки тех или иных характеристик горения или пены, однако в ряде случаев сопоставления полученных оценок и экспериментальных данных не проводятся. Например, оценки скорости распространения пламени при горении вспененной эмульсии (2.1.13) и формулы (2.1.24) и (2.1.41) для предельных значений скорости пламени не сравниваются с результатами, полученными экспериментально.
4. Из текста диссертации не ясно каким способом в экспериментах определялся средний диаметр капель воды, образующихся при горении (Рис. 2.2.3 и Рис. 2.5.6).
5. В Главе 2.1 описаны различные режимы горения вспененной эмульсии, однако расположение этих режимов в пространстве параметров обсуждается недостаточно подробно. Диаграмма режимов горения (даже схематическая) в пространстве управляющих параметров могла бы способствовать более полному представлению о процессах распространения пламени во вспененных эмульсиях.
6. В качестве практических приложений результатов представленных исследований указывается утилизация топливо-водных растворов и снижение вредных выбросов энергетических установок. В тоже время данные о полноте сгорания углеводородов, концентрациях вредных выбросов и температуре горения в работе не приводятся.
7. В качестве интегральной характеристики процесса распространения пламени по вспененной эмульсии используется “общая скорость распространения пламени” (см., например, Рис. 2.3.1.). В тоже время во многих случаях пламя распространяется ускоренно на протяжении всего периода наблюдения (см., например, Рис. 2.3.2.). В связи с этим возникает вопрос, как определяется “общая скорость распространения пламени”, и насколько корректно использовать эту характеристику, особенно, учитывая, что длина трубок варьировалась от эксперимента к эксперименту (см., например, схемы трубок на Рис. 2.3.1.)

Сделанные замечания не снижают общего положительного впечатления о работе. Исследования, представленные в диссертации, выполнены на высоком научном уровне и имеют большую научную и практическую значимость.

Заключение

Диссертация Коршунова Алексея Михайловича «Полимерные пены и вспененная эмульсия: нуклеация пузырей, фазовые переходы, горение», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.14 - «Теплофизика и теоретическая теплотехника», является завершенной научно-исследовательской работой,

совокупность новых научных результатов которой можно квалифицировать как новое крупное научное достижение.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание рукописи, составлен с соблюдением установленных требований.

Таким образом, представленная работа по научной новизне, актуальности, практической значимости и достоверности полученных результатов соответствует всем критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней п. 9-11, 13, 14, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор Коршунов Алексей Михайлович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.14 - «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией «Физико-математического моделирования процессов горения» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ИТПМ СО РАН)

«29» 11 2021 г.  Фурсенко Роман Викторович

Адрес: 630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ИТПМ СО РАН)

Сайт: <http://www.itam.nsc.ru>

E-mail: admin@itam.nsc.ru

Тел.: 8(383)330-42-68

Подпись д.ф.-м.н., Фурсенко Р.В. удостоверяю:

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ИТПМ СО РАН) д.ф.-м.н.



Ю.В. Кратова