

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



(ИПХФ РАН)

УТВЕРЖДАЮ

142432, Московская обл., город Черноголовка,
проспект академика Семенова, 1

Тел.: 8(495) 993-57-07; 8(49652) 2-19-30
Факс: 8(49652) 2-56-36; 8(49652) 2-35-07

ОКПО 02699837, ОГРН 1035006100502
ИНН/КПП 5031007735/503101001



Зам. директора ИПХФ РАН

д.х.н. Э. Р. Бадамшина

«19» октября 2018 г.

24.10.2018 № 12108- 6215 / 1532
На № _____

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химической физики Российской академии наук – на диссертацию Луценко Николая Анатольевича «Нестационарные течения газа через пористые объекты с очагами энерговыделения», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность работы

Диссертация Н.А. Луценко посвящена исследованию свободной и вынужденной фильтрации газа через пористые среды с различными источниками энерговыделения, в том числе с очагами гетерогенного горения. Актуальность избранной темы определяется ее прямой связью с задачами ликвидации и предотвращения некоторых природных или техногенных катастроф, приводящих к возникновению очагов энерговыделения различного типа в пористых средах. К таким катастрофам можно отнести взрывы и пожары на атомных электростанциях и иных опасных объектах, возгорания торфяников, угольных отвалов, элеваторов, полигонов твердых отходов. Несмотря на многочисленные исследования таких процессов, остается много касающихся их нерешенных вопросов, в т.ч. о детальной динамике течения газа в таких объектах. Поэтому актуальность темы диссертационной работы не вызывает сомнений.

Содержание работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи диссертации, ее новизна, теоретическая и практическая значимость, описаны методы исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, обоснована достоверность исследований. Также во введении описана апробация результатов и приведен краткий обзор литературы по тематике исследования. Первая глава диссертационной работы посвящена построению математических моделей, описывающих нестационарные течения газа через пористые среды с источниками энерговыделения различного типа. В ней формулируются модели движения газа через пористые объекты с источниками саморазогрева без химических превращений и с очагами гетерогенного горения при заданном давлении на границах объекта, которые могут описывать процессы, как при принудительной фильтрации, так и при естественной конвекции. Вторая глава диссертации посвящена исследованию влияния изменения давления газа на входе в пористые саморазогревающиеся объекты на происходящие в них процессы. В этой главе рассматриваются течения газа через одномерные пористые объекты с источниками энерговыделения без учета химических превращений при фиксированном давлении на выходе из объекта и изменяющемся давлении на входе в объект. Следует выделить обнаруженный эффект качественного влияния динамической вязкости газа на получаемое при моделировании решение. В диссертации показано, что учет динамической вязкости газа, которым обычно пренебрегают в задачах данного класса, может приводить к неоднозначности стационарного режима, к перегреву объекта при условиях, удовлетворяющих критерию стационарности, а также к аномальному повышению общего разогрева и увеличению максимальной температуры твердой среды с ростом коэффициента теплопроводности. Третья глава диссертационной работы посвящена исследованию влияния геометрии пористых объектов и внутренних очагов саморазогрева на процесс их охлаждения. В этой главе рассматриваются течения газа через двумерные (плоские и осесимметричные) пористые объекты с источниками энерговыделения без учета химических превращений при заданном давлении на открытых границах объекта. Рассмотрено охлаждение плавно сужающихся и ступенчато сужающихся плоских и осесимметричных пористых саморазогревающихся объектов; проанализировано влияние различных параметров тепловыделяющей зоны (высоты, ширины, удаленности от входа в объект) и частичного перекрытия выхода из объекта на происходящие в пористом объекте процессы. Также рассмотрена эволюция зоны энерговыделения в пористом объекте, моделирующим при свободной конвекции полигон твердых бытовых отходов без учета происходящих в нем химических превращений. В четвертой главе диссертации рассматриваются течения газа

через пространственные (трехмерные) пористые саморазогревающиеся объекты. Показано, что в таких объектах с различным распределением очагов тепловыделения, как и в двумерных объектах, при принудительной фильтрации интенсивный нагрев происходит только в областях энерговыделения и выше их по потоку. В разогретых зонах наблюдается падение плотности газа и скорости фильтрации, так как газ, двигаясь вверх по пористому объекту, стремится огибать нагретые зоны и течь по более холодным областям. Пятая глава диссертационной работы посвящена исследованию процессов гетерогенного горения одномерных пористых объектов с заданным давлением на границах объекта. В ней рассматриваются нестационарные одномерные спутные и встречные волны горения твердых пористых сред, численно исследуется отражение встречных волн от границы объекта и переход их в спутные волны. В данной главе на примере сравнения результатов расчетов с известными экспериментальными данными о тлении пенополиуретана в условиях естественной конвекции проанализирована точность численной модели, разработанной автором диссертации. Также в этой главе исследовано влияние гравитационного поля внутри объекта и перепада давления на его границах, вызванного действием силы тяжести на окружающий воздух, на распространение самоподдерживающихся волн гетерогенного горения и показано, что гравитационное поле внутри объекта и указанный перепад давления на его границах приводят к противоположным конкурирующим эффектам: направления или режимы распространения вызванных ими волн горения различаются. Шестая глава диссертации посвящена исследованию процессов гетерогенного горения двумерных пористых объектов, как при принудительной фильтрации, так и при естественной конвекции. Показано, что при принудительной фильтрации потоки газа стремятся огибать нагретые зоны и течь по более холодным областям, как и в пористых саморазогревающихся объектах без химических превращений. Обнаружено развитие вихревых течений газа при горении пористых сред в условиях естественной конвекции. Данные вихри сопровождаются изменением направления потоков газа на границах пористых объектов и могут существенно влиять на приток окислителя в зону горения. В заключении сформулированы основные результаты диссертации и перспективы дальнейшего развития проведенных исследований.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Научная ценность диссертационной работы заключается в том, что полученные в ней результаты вносят вклад в механику многофазных и реагирующих сред, в теорию фильтрации газа. Результаты работы позволяют лучше понимать процессы, происходящие в пористых средах с различными очагами энерговыделения, в том числе при фильтрационном горении пористых сред в условиях естественной фильтрации. Практическая ценность диссертации заключается в том, что сформулированные в ней математические модели и разработанные численные методы могут использоваться для решения различных

прикладных задач энергетики и экологии, а также металлургии, химической и добывающей промышленности. Обнаруженные в диссертации закономерности могут помочь при выработке рекомендаций для организации эффективного охлаждения источников энерговыделения в различных пористых объектах. Полученные результаты также могут помочь при создании технологий прогнозирования, предотвращения и ликвидации последствий катастроф, связанных с возникновением очагов горения и иного энерговыделения в пористых средах.

Степень обоснованности положений и выводов.

Достоверность и новизна научных положений, сформулированных в диссертации

Следует отметить наиболее важные положения и выводы, сформулированные по результатам выполненных теоретических и экспериментальных исследований и представленные в диссертации:

1. Предложена усовершенствованная математическая модель, построены оригинальные конечно-разностные схемы и разработаны программные комплексы для исследования нестационарных одномерных, двумерных и трехмерных течений газа через пористые объекты с источниками саморазогрева при естественной и вынужденной фильтрации, которые учитывают некоторые качественно важные эффекты (в частности, зависимость вязкости газа от температуры) и специфические граничные условия (на открытых границах моделируемого объекта неизвестен не только расход газа, но и направления потоков газа, а известно только давление).

2. Обнаружены режимы газового охлаждения пористых саморазогревающихся объектов, при которых, несмотря на выполнение условий, удовлетворяющих критерию стационарности, не устанавливается устойчивый режим охлаждения, а происходит неограниченный разогрев объекта, приводящий к его перегреву и разрушению.

3. Обнаружены режимы течения газа через пористые объекты с внутренними источниками энерговыделения, при которых с ростом коэффициента теплопроводности твердой среды происходит аномальное повышение её общего разогрева и увеличение максимальной температуры.

4. Исследована динамика газа в пористых объектах с внутренними источниками энерговыделения и показано, что при принудительной фильтрации газ, двигаясь по объекту, стремится огибать нагретые зоны и течь по более холодным областям, а при свободной конвекции в очаге выделения тепла и в его окрестности могут возникать вихревые течения газа, которые ухудшают теплоотвод из пористого объекта.

5. Исследовано распространение одномерных спутных и встречных волн гетерогенного горения пористых сред при свободной конвекции и численно рассчитано отражение от

границы объекта встречной волны горения, не полностью выжигающей твердое горючее вещество, и ее переход в спутную волну горения.

Полученные автором диссертации результаты имеют несомненную новизну и значимость для развития фундаментальной и прикладной механики многофазных и реагирующих сред. Предложенные в диссертационной работе модели и алгоритмы могут быть расширены и модифицированы для исследования различных процессов в самых разнообразных пористых средах с теплообменом, энерговыделением и энергопоглощением различного типа. Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечена использованием классических подходов механики многофазных сред и теории фильтрационного горения, сравнением некоторых численных расчетов с экспериментальными данными, тестированием сходимости численных решений на последовательности сгущающихся сеток. Все основные результаты диссертационной работы опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных научных журналах, докладывались на многочисленных всероссийских и международных конференциях.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Результаты диссертационных исследований, без сомнения, являются новыми крупными достижениями в развитии механики многофазных и реагирующих сред. Разработанный подход и полученные результаты исследований могут быть рекомендованы для использования:

- при создании технологий прогнозирования, предотвращения и ликвидации последствий катастроф, связанных с возникновением очагов горения и иного энерговыделения в пористых средах в ВНИИПО МЧС России, Академии Государственной противопожарной службы МЧС России, учебных центрах Федеральной противопожарной службы и других;

- в научных исследованиях при детальном изучении процессов, протекающих в самых разнообразных пористых средах с теплообменом, энерговыделением и энергопоглощением различного типа в Институте проблем химической физики РАН, Институте химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Институте структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова РАН, Институте химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Институте проблем химико-энергетических технологий СО РАН, Институте механики УрО РАН, Федеральном исследовательском центре угля и углехимии СО РАН и других;

- в учебном процессе при подготовке магистрантов и аспирантов по специальностям 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы, 01.04.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества, 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Дискуссионные положения

1. В работе приведен краткий литературный обзор. В диссертации перечисляются работы по фильтрации и фильтрационному горению, при этом не проводится анализ полученных результатов. Для лучшего позиционирования места настоящей работы в теории фильтрационного горения хотелось бы увидеть более развернутое обсуждение процитированных в диссертации работ.

2. В общей характеристике работы сказано – «Настоящая работа обязана своим появлением аварии на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 года.... При разработке математической модели процесса эволюции активной зоны аварийного блока Чернобыльской АЭС были проанализированы несколько различных механизмов, и адекватной реальной ситуации оказалась модель фильтрационного охлаждения [Маслов В.П....]». Таким образом, настоящая работа позиционируется как развитие работ Маслова В.П. с коллегами. К сожалению, в тексте диссертации отсутствует сравнение полученных результатов с результатами Маслова В.П.

3. В работе определены цели, которые заключаются, в том числе, в – «1. разработке и развитии математических моделей и численных методов для исследования совокупности гидродинамических, термодинамических и химических процессов в пористых объектах ... с очагами гетерогенного горения, при ... вынужденной фильтрации газа; 2. использовании данных моделей и методов для исследования динамических процессов в пористых объектах с ... очагами гетерогенного горения при ... вынужденной фильтрации газа, выявлении основных закономерностей и важных особенностей изучаемых процессов». Основные закономерности фильтрационного горения твердых топлив при вынужденной фильтрации газа хорошо изучены и опубликованы. Но в работе отсутствует сравнение полученных результатов с другими работами по фильтрационному горению. Остается открытым вопрос о влиянии учета детальной динамики газа на основные закономерности фильтрационного горения в условиях вынужденной фильтрации. В работе отмечается лишь следующее – «Проведение расчетов с приближенно выбранными значениями параметров модели показало хорошее качественное совпадение результатов численного моделирования с многочисленными экспериментальными данными о фильтрационном горении твердых пористых сред.».

4. В «научной новизне» пункты 10 и 11 суммарно повторяют пункт 5.

Сделанные замечания не отражаются на общей положительной оценке диссертации. Оформление диссертации находится на высоком уровне, текст хорошо структурирован и написан ясным языком. Автореферат соответствует установленным требованиям и полностью отражает основное содержание диссертации.

Соответствие диссертации требованиям

Положения о порядке присуждения ученых степеней

Диссертация Луценко Николая Анатольевича «Нестационарные течения газа через пористые объекты с очагами энерговыделения» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать, как научное достижение в механике многофазных и реагирующих сред, которое заключается в развитии теории газодинамических процессов в пористых объектах с источниками саморазогрева. Диссертация полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842. Автор диссертационной работы – Николай Анатольевич Луценко – заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Отзыв составлен заведующим Лабораторией фильтрационного горения Отдела горения и взрыва ИПХФ РАН, доктором физико-математических наук Глазовым Сергеем Владимировичем. Отзыв обсужден и одобрен на заседании семинара Секции № 1 Ученого совета ИПХФ РАН «Макрокинетика и процессы горения» 19 октября 2018 года, протокол № 5.

Заведующий Лабораторией
фильтрационного горения
Отдела горения и взрыва ИПХФ РАН,
д.ф.-м.н.

С.В. Глазов

Зам. Председателя семинара
«Макрокинетика и процессы горения»,
руководитель Группы технологического
горения Отдела горения и взрыва ИПХФ РАН
к.т.н.

А.Ю. Зайченко

Адрес: 142432, Московская обл., Ногинский район,
г. Черноголовка, проспект академика Семенова, 1.
Тел.: (495) 993-57-07