

Разработка математических моделей, описывающих течение
нереагирующего и реагирующего газа в пористых средах и микроканалах.

Актуальность темы

В некоторых, практически важных случаях, например, при взрыве газа внутри подземного резервуара, изменение давления внутри резервуара и фильтрация газа через пористый грунт оказываются взаимосвязаны. Эти взаимосвязанные задачи фильтрации и горения оставались исследованными недостаточно полно, хотя в литературе имеется значительное количество работ, в которых исследовалось либо горение газа в закрытых сосудах, либо нестационарная фильтрация газа через пористые среды. Эти подходы не позволяли в полной мере промоделировать многие практически важные процессы, связанные со взрывобезопасностью и загрязнением среды при взрывах газов в замкнутых объемах с пористыми стенками. Поэтому разработка подходов и моделей для описания процессов движения газа через пористые среды при больших градиентах давления, поиск адекватных численных алгоритмов расчета и описание взаимосвязанных процессов фильтрации и горения являются актуальными задачами.

Горение газов возможно и в межпоровом пространстве химически инертной пористой среды. В этом случае существует множество интересных режимов горения, изучение которых важно с точки зрения практических приложений и получения фундаментальных знаний. Интерес к исследованиям фильтрационного горения газов в пористой среде связан, например, с созданием эффективных горелочных устройств с хорошими экологическими характеристиками. Несмотря на значительные успехи, достигнутые в теоретическом описании фильтрационного горения газов, имеется ряд явлений, описание которых выходит за рамки традиционных моделей фильтрационного горения газов, основанных на континуальном представлении пористой среды и которые требуют рассмотрения горения газа в отдельных микроканалах, составляющих пористую среду.

Интерес исследователей к изучению нестационарных волн горения газовых смесей в микроканалах связан также с развитием малоразмерных горелочных устройств. Основным механизмом для поддержания горения в малоразмерной системе является подогрев свежей смеси, поступающей в камеру сгорания за счет тепла отходящих продуктов горения. Такой режим горения может быть реализован в специальных горелках с регенерацией тепла, в которых тепло от продуктов горения передается свежей смеси через теплопроводящие стенки. Аналогичный механизм реализуется в пористых средах, где пламя может стабилизироваться в микроканалах между твердой фазой, даже если размеры микроканалов существенно меньше критического диаметра, определенного по начальной температуре. Горение в этом случае возможно при условии, что газовая фаза окружена стенками с температурой, превышающей температуру окружающей среды. Поэтому, исследования горения газа в микро каналах с градиентом температуры необходимы для понимания процессов как в микросистемах с регенерацией тепла, где подогрев горючей смеси газов происходит за счет тепла отходящих продуктов горения, так и для развития новых технологий, в которых

используется горение газов в пористых средах. В диссертационной работе изложены исследования автора, посвященные моделированию нестационарных волн горения газовых смесей в микро каналах при фильтрации газа, что также является актуальной задачей.

Личный вклад автора

Личный вклад автора заключается в выполнении основного объема исследований, изложенных в диссертационной работе, включая разработку математических моделей, реализацию вычислительных алгоритмов, анализ полученных результатов, а также подготовку статей для публикации в журналах и докладов на конференциях.

Поставлены и решены следующие задачи:

- Разработка математических моделей, описывающих истечение газа из объема с большим начальным давлением, в окружающую среду через пористый слой твердого материала;
- Оценка времени разгрузки и исследование динамики давления в резервуаре с пористыми стенками, в котором происходит горение газа;
- Исследование нелинейной динамики и устойчивости волн горения предварительно перемешанных смесей газов в микроканалах с переменным сечением и неравномерно нагретыми стенками при наличии течения газа.

Достоверность результатов работы

О достоверности результатов диссертационного исследования свидетельствует использование корректных математических моделей, строгая постановка задач и соответствие полученных результатов имеющимся в литературе данным теории и численного моделирования.

Научная новизна

- Получено точное решение задачи о фильтрации газа через многослойную пористую среду, состоящую из слоев различной толщины и проницаемости;
- Обнаружены два режима истечения газа из подземного резервуара после взрыва;
- Сформулирована математическая модель, которая одновременно описывает процесс нарастания давления в сосуде за счет горения и связанное с этим процессом фильтрационное течение газа через пористые стенки;
- Установлены критерии прохождения пламенем узкой зоны микроканала в присутствии спутного потока;
- Обнаружены пульсационные диффузионно-тепловые неустойчивости пламени в микропотоковом реакторе для богатых водород-воздушных смесей.

Научная и практическая ценность

Полученные выводы способствуют развитию фундаментальной теории фильтрации и горения, и их взаимному применению. Результаты позволят прогнозировать возникновение и последующее развитие чрезвычайных ситуаций, связанных с воспламенением и взрывом газовых смесей. Обнаруженные пульсационные неустойчивости в микропотоковом реакторе могут быть использованы в задачах диагностики и микрогенерации. Ценность работ также подтверждается публикациями в журналах, признанных научным сообществом, участием в российских и международных проектах.

Основные публикации автора по материалам диссертации

1. Луценко Н.А., Мирошниченко Т.П., Одякова Д.С., Харитонов Д.И. Параллельная реализация алгоритма для расчета двумерных нестационарных течений газа через пористые объекты с источниками тепловыделения // Вычислительные технологии. – 2011. – Т. 16, № 2. – С. 98–110. (Из перечня ВАК)

2. Мирошниченко Т.П., Луценко Н.А., Левин В.А. Исследование режимов фильтрации газа из подземного резервуара при большом начальном перепаде давления // Прикладная механика и техническая физика. – 2015. – Т. 56, № 5. – С. 149–155. (Из перечня ВАК)

3. Мирошниченко Т.П., Беляков Н.С., Минаев С.С. Динамика горения газа в канале с истечением продуктов сгорания через пористую стенку // Физика горения и взрыва. – 2015. – № 3. – С. 12–18. (Из перечня ВАК)

4. Miroshnichenko T., Gubernov V., Minaev S. Pulsating dynamics of rich hydrogen air flames in micro flow reactor [Электронный ресурс] // Proceedings of 10th Asia-Pacific Conference on Combustion (ASPACC 2015), 19–22 Jul., 2015. – Beijing: China. – Code 116004. – P. 1–6. (Из перечня ВАК)

5. Miroshnichenko T., Gubernov V., Minaev S. Diffusive-Thermal oscillations of rich premixed hydrogen air flames in microflow reactor // Combustion Theory and Modelling. – 2016. – Vol. 20, Issue 2. – P. 313–327. (Из перечня ВАК)

6. Луценко Н. А., Мирошниченко Т.П. О фильтрационном течении газа через многослойную пористую среду. Горение и плазмохимия. – 2005. – Т. 3. № 3 – С. 208–212.

7. Луценко Н.А., Мирошниченко Т.П. Фильтрационное течение газа, инициированное взрывом. Материалы Третьей конференции по фильтрационному горению. – Черноголовка: ИПХФ РАН, 2013. – С. 46–49.

8. Miroshnichenko T., Gubernov V., Minaev S. Diffusive-Thermal Instabilities of High Lewis Number Flames in Micro Flow Reactor. Proceedings of 25th International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems ICDERS 2015, Leeds, UK [electronic resource]. – 2015. – P. 1–6 (paper 047).

9. Miroshnichenko T., Minaev S. Quenching Distance for Flame Propagation along the Gas Flow in Microchannel with Narrowing. Proceedings of 13th International Conference on Flow Dynamics ICFD 2016, Sendai, Japan [electronic resource]. – 2016. – P. 208-209.

Апробация работы

По теме диссертации опубликовано 26 научных работ, в том числе 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК.

Результаты работы докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях: XXXI, XXXII, XXXIII, XXXV Дальневосточная математическая школа-семинар имени акад. Е.В. Золотова (Владивосток, 2006-2008, 2010); Всероссийская конференция, посвященная 75-летию академика В.П. Мясникова «Фундаментальные и прикладные вопросы механики и процессов управления» (Владивосток, 2011); The International Conference «Advanced Problems in Mechanics» (Санкт-Петербург, 2013); Третья конференция по фильтрационному горению, (Черноголовка, 2013); Workshop on Combustion Waves Structure and Dynamics (Владивосток, 2013); 10th, 11th, 12th, 13th International Conference on Flow Dynamics (Сендай, 2013-2016); Научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «ЭКСЕРГИЯ – 2014» (Владивосток, 2014); 1st International Scientific Conference "Science of the Future" (Санкт-Петербург, 2014); Международная конференция, приуроченная к 75-летию академика В.А. Левина «Успехи механики сплошных сред» (Владивосток, 2014); Asia-Pacific Conference on Combustion (Пекин, 2015); 25th International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems (Лидс, 2015); Международная научная конференция «Современные технологии и развитие политехнического образования» (Владивосток, 2015), 36th International Symposium on Combustion (Сеул, 2016), 13th International Conference on Combustion & Energy Utilization (Тайбэй, 2016). Кроме того результаты докладывались на следующих научных семинарах: лаборатории Energy Dynamics университета Тохоку (Сендай, 2013); Международного центра аэрофизических исследований ИТПМ СО РАН (Новосибирск, 2013, 2015); лаборатории нелинейной динамики и теоретической биофизики, ФИАН (Москва, 2014); международной лаборатории горения и энергетики ДВФУ (Владивосток, 2014-2016).

Решение о рекомендации работы к защите

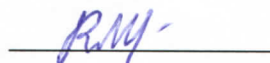
Диссертация «Динамика пламени в закрытых сосудах с пористыми стенками и микроканалах при фильтрации газа» Мирошнichenko Таисии Павловны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Заключение принято на заседании семинара Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук под руководством член-корреспондента РАН Д.М. Марковича.

Присутствовало на заседании 38 чел., в том числе 1 член-корреспондент, 10 докторов и 15 кандидатов наук. Результаты голосования: «за» – 38 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол №44/3-2017 от «14» июня 2017 г.



Председатель семинара
Маркович Д.М., чл.-корр. РАН,
директор ИТ СО РАН



Секретарь семинара
Мулляджанов Р.И., к.ф.-м.н., с.н.с.
лаборатории физических основ
энергетических технологий ИТ
СО РАН