

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Мирошниченко Таисии Павловны «Динамика пламени в закрытых сосудах с пористыми стенками и микроканалах при фильтрации газа», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

1. Актуальность темы диссертации

Влияние фильтрации и горения газа в ограниченном объеме друг на друга встречается в широком классе задач механики сплошных сред. Эти задачи включают в себя такие крупномасштабные явления, как утечки газа из подземных резервуаров хранения, при аварийных взрывах в подземных газовых хранилищах, горения в обрушенных выработанных пространствах угольных шахт. Также эти явления наблюдаются в более мелких масштабах: стабилизация пламени в микрогорелочных устройствах, распространение пламени в узких каналах. Фильтрация газа влияет на интенсивность горения, определяет процессы распространения пламени в узких каналах и пористых телах, и, наоборот, горение влияет на поле течения газа при фильтрации. Исследование горения газа в закрытых объемах различного масштаба при наличии фильтрации газа через пористые границы позволяет понять фундаментальные физические процессы явления и разработать методы управления и оптимизации устройств, в которых горение и фильтрация взаимосвязаны. В связи с этим тема диссертационной работы Мирошниченко Т.П. связанная с указанными направлениями исследований, является актуальной.

2. Общая характеристика диссертации

Общий объем диссертации 120 страниц. Состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, содержащего 123 источника.

Во Введении приведена общая характеристика работы. Первая глава посвящена выводу основных математических моделей, обоснованию приближений, используемых при выводе уравнений. Здесь же приводится обзор литературы по теме диссертации.

Вторая глава посвящена исследованию одномерных задач течения газа через пористые среды. Глава разделена на два раздела. В первом разделе рассматривается процесс фильтрации газа, допускающий применение закона Дарси. Для пористого слоя, состоящего из любого, наперед заданного количества слоев различной проницаемости, показывается возможность получения аналитического решения. На основании полученных решений для различной комбинации слоев исследуется динамика фильтрационного течения.

Во втором разделе моделируется процесс истечения газа из резервуара, инициированного скачкообразным повышением давления внутри резервуара.

Нестационарность процесса и сильная нелинейность не позволяют использовать модели фильтрации Дарси. Разработанная автором модель решается численно конечно-разностным способом. Из анализа полученных результатов делается вывод, что в некоторых случаях модель процесса может быть значительно упрощена. В частности, показано, что в слабопроницаемых средах после диссипации ударной волны движение газа определяется процессами бародиффузии.

В главе содержатся новые данные, которые дополняют и обобщают результаты, опубликованные в статье автора диссертации, расширяют область применимости задачи, что является несомненным достоинством диссертационной работы.

Третья глава посвящена изложению результатов исследования сопряженных процессов горения газа в сосуде с пористыми стенками и фильтрации газа через эти стенки. Автор диссертации предложена оригинальная модель, описывающая данное явление. Модель включает в себя модель горения газа в закрытом сосуде с учетом проникновения газа через пористые стенки и континуальную модель фильтрации газа. Связь двух процессов устанавливается посредством граничных условий, исходя из упрощенной модели для границы раздела двух сред. Анализ результатов, полученных численным методом, позволил получить данные об изменении давления газа в сосуде, описать динамику истечения газа в атмосферу для пористых стенок различной проницаемости и толщины. Одним из особенностей данного исследования является использование подхода Эйлера для описания течения газа в закрытом сосуде, так как традиционно для описания горения в закрытых сосудах использовалось описание в лагранжевых координатах.

В четвертой главе основное внимание уделяется детальному рассмотрению структуры волны горения в микроканале. Моделируется процесс распространения пламени в канале с сужением, с характерным диаметром меньше критического диаметра и при наличии спутного потока газа. Получены данные о связи минимального размера сужения со средней скоростью потока газа.

В пятой главе описываются результаты исследования развития неустойчивости горения богатых водородо-воздушных смесей в микропотоковом реакторе. Математическая модель процесса строится на основе диффузионно-тепловой модели с двухступенчатым цепным механизмом реакции. Численное решение позволило выявить ряд бифуркаций, приводящих к появлению различных режимов неустойчивостей. В главе дано подробное описание этих режимов и найдены значения критических параметров, при которых существуют те или иные режимы в терминах соотношения избытка топлива и скорости потока горючего газа. Результаты исследования неустойчивости и развития неустойчивостей являются интересными.

В Заключении представлены выводы, следующие из диссертационной работы.

3. Достоверность и научная новизна результатов диссертации

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием известных физических и математических моделей фильтрации и горения, и методов вычислительной математики, исследованием сеточной сходимости численных методик, проведением тестовых расчетов и сравнением их с аналитическими решениями, полученными в предельных случаях, согласованием результатов расчетов с имеющимися в литературе данными.

Новизна результатов: получено аналитическое решение задачи о фильтрации газа через многослойную пористую среду; найден режим разгрузки подземного резервуара, который определяется процессами бародиффузии; разработана оригинальная модель, комбинирующая горение газа в сосуде и фильтрацию через пористую стенку; полученные критерии прохождения газа в сужающемся микроканале в рамках двумерной модели ламинарного горения при наличии фильтрации газа; обнаружены неустойчивости горения газовой смеси с большими числами Льюиса в микропотоковом реакторе, имеющие диффузионно-тепловую природу.

4. Значимость результатов для науки и практики

Предложенные в работе модели могут найти применение в дальнейших теоретических и численных исследованиях широкого класса задач фильтрации и горения газозфазных пламен, позволяют расширить рамки существующих теорий и способствуют развитию фундаментальной науки. Результаты исследования задач о разгрузках резервуара (в присутствии горения, и без горения) позволяют получить оценки времени выхода газа в атмосферу и другие важные данные, связанные с оценками последствий горения газов в подземных резервуарах. Результаты исследования поведения пламени в микроканалах позволяют анализировать параметры пламегасителей, могут быть использованы при разработке малоразмерных горелочных устройств.

5. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, выносимых на защиту.

Обоснованность результатов диссертационного исследования, положений, выводов и рекомендаций обеспечивается современным уровнем и непротиворечивостью его исходных теоретических положений, применением надежных и апробированных методов численного моделирования, корректной интерпретаций полученных данных. Обоснованность научных положений и выводов исследования подтверждается сопоставлением собственных результатов с данными литературы.

6. Полнота опубликования результатов исследований.

Результаты работы опубликованы достаточно полно. Опубликовано 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 7 статей в материалах всероссийских и международных

конференций, в тезисах докладов всероссийских и международных конференций. По материалам диссертации опубликовано 26 научных трудов.

7. Автореферат

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

8. Замечания по диссертационной работе.

По диссертационной работе могут быть сделаны следующие замечания:

1. На странице 20 приведена система уравнений (1.10)-(1.14), как и на странице 15-16 система уравнений (1.2)-(1.7). Автор не указывает в чем принципиальное отличие этих систем уравнений.
2. На стр. 21 указывается «В случае медленного движения газа (число Маха $\ll 1$) уравнения (1.12), (1.13) описывающие энергию фаз, вырождаются в тождества». Не понятно о каком «тождестве» идет речь.
3. При анализе литературы в главе 1 диссертации на страницах 21, 24, 34, 36 указываются задачи, которые решаются в соответствующих главах диссертации. Эта информация изложена во введении, а в обзорной главе эта информация является излишней!
4. Удивляет не обоснованный и произвольный выбор коэффициента теплоотдачи: на странице 49 коэффициент теплоотдачи задается равным $1000 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \text{ К})$, на странице 59 – $100000 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \text{ К})$, на стр. 67 – $10000 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \text{ К})$, на стр. 76 – $10 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \text{ К})$. Такое варьирование коэффициента теплоотдачи требует объяснений. Почему не использовались зависимости числа Нуссельта от Рейнольдса при течении в шероховатых трубах, или другие данные?
5. На странице 49 при изложении результатов расчетов неизотермического течения в пористой среде из резервуара с высоким давлением и температурой не представлены распределения температуры газа и грунта. Было бы интересно их представить, чтобы определить важность двухтемпературного приближения.
6. При решении задачи фильтрации и горения в замкнутом сосуде с пористыми стенками не представлены данные о распространении контактного разрыва между исходным газом и продуктом горения. Фактически это определяет начало поступления в окружающую среду продуктов сгорания.
7. На стр. 70 автор пишет: «время сгорания газа в сосудах со стенками одинаковой проницаемости уменьшается с увеличением толщины пористой стенки». Вывод не очевиден, так как с увеличением толщины пористой стенки уменьшается расход газа из объема. В связи с этим при одинаковой величине скорости горения u_d скорость расширения зоны продуктов сгорания будет меньше. И тогда время за которое фронт горения достигнет пористой стенки будет больше. Утверждение требует авторского пояснения.

9. Общая характеристика диссертационной работы

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости представленных результатов и общей положительной оценки работы. Замечания продиктованы интересом к полученным результатам, а также дальнейшему развитию работы.

Считаю, что диссертационное исследование вносит существенный вклад в развитие исследований по фильтрации жидкостей и газов в пористых средах, физико-химической гидромеханики, соответствует специальности 01.02.05 – механика жидкости газа и плазмы.

Считаю, что диссертация Мирошниченко Таисии Павловны «Динамика пламени в закрытых сосудах с пористыми стенками и микроканалах при фильтрации газа» соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, п. 9, утвержденным постановлением Правительства РФ от 24.09.13 г. № 842, а ее автор Мирошниченко Т.П. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Профессор кафедры математической физики Федерального
государственного автономного учреждения высшего
образования «Национальный исследовательский Томский
государственный университет»,
доктор физико-математических наук

А.Ю.

Крайнов Алексей Юрьевич

11.01.2018

Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 36
тел. 8(3822)52-98-45
email: akrainov@ftf.tsu.ru



Подпись

УДОСТОВЕРЯЮ
УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ТГУ

Н.А.

Н. А. САЗОНОВА