



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт автоматизации и процессов управления
Дальневосточного отделения Российской академии наук
(ИАПУ ДВО РАН)

Радио ул., д. 5, Владивосток, 690041
Телефон (423) 2310439, факс (423) 2310452
E-mail: director@iacp.dvo.ru, http: www.iacp.dvo.ru
ОКПО 02698217, ОГРН 1022502127878
ИНН/КПП 2539007627/253901001

На 04.07.2019 № 16141\ 334
от _____

СДАЮ
ИАПУ ДВО РАН
РАН, д.ф.-м.н.

Р.В. Ромашко

« 04 » 07 2019 г.

Отзыв ведущей организации

на диссертацию Палесского Федора Станиславовича «Моделирование волн фильтрационного горения в пористых средах с радиационным теплопереносом», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «механика жидкости газа и плазмы»

Актуальность диссертационной работы. Диссертационная работа Палесского Ф.С. посвящена численному исследованию режимов сжигания газовых смесей в горелочных устройствах на основе пористого материала или микроканальной технологии. Такой способ получения тепловой энергии является экономически и экологически эффективным, поскольку позволяет использовать достаточно бедные горючие смеси, уменьшать выброс вредных продуктов горения NO_x , CO . Одной из особенностей работы таких теплогенераторов является поток инфракрасного излучения. Разработка излучающих радиационных горелок позволяет существенно уменьшать объемы топочного пространства и металлоемкость теплообменников за счет эффективной конверсии тепла от сгорания топлива в радиационный поток. Актуальной задачей является разработка математических моделей, которые учитывают радиационный теплоперенос внутри горелки, а также выход излучения в окружающую среду от внутренних слоев пористого тела. В диссертации Палесского Ф.С. предложены модели фильтрационного горения газов в пористых средах с учетом радиационного теплопереноса. Расчеты, выполненные на основе предложенных моделей, позволяют сделать оценки температурных и излучательных характеристик радиационных горелок и могут быть полезны для определения оптимальных характеристик и режимов работы таких устройств.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Диссертация изложена на 119 страницах, содержит 31 рисунок. Список литературы включает 75 наименований.

Во введении раскрыта актуальность темы, изложены цель, задачи и научная новизна диссертации.

В первой главе приведен краткий обзор теоретических, экспериментальных и расчетных работ по теме диссертации. В первой части главы рассмотрены некоторые предположения теории ламинарного пламени. Описана одномерная двухтемпературная модель горения газов в канале с теплопроводящими стенками. Во второй части главы изложены

некоторые приближения теории фильтрационного горения газов в инертной пористой среде. В третьей части главы сделан обзор существующих моделей радиационного теплообмена в пористой среде с горением газов.

Вторая глава посвящена решению в одномерной постановке задачи горения газов в расширяющемся микроканале с учетом теплового излучения от внутренних стенок канала во внешнюю среду. Получены численные оценки теплового излучения от микроканального излучателя во внешнюю среду в зависимости от режимов сжигания газа и показано, что мощность потока излучения достигает максимума при умеренных значениях расхода газа, когда пламя стабилизируется в центральной части канала. Расчёты показывают, что мощность теплового излучения от внутренних стенок микроканального излучателя может значительно превышать излучение от торцевых поверхностей на выходе горелки. Этот результат распространяется на случай горения газов в пористой среде, и делается вывод о необходимости учета теплового излучения не только с внешней поверхности пористой горелки, но и от внутренних слоев пористого тела.

В третьей главе выполнено сравнение двух моделей фильтрационного горения газов в пористой среде: с учетом и без учета радиационного теплопереноса внутри пористого объекта. Рассматриваются задачи в одномерной постановке как в декартовой, так и в цилиндрической системе координат. Показано, что при учете лучистого теплопереноса внутри пористой среды достигаются более высокие температуры горения, что обусловлено эффективной рекуперацией тепла от продуктов горения к свежему газу за счет переноса тепла излучением по пористому каркасу. Численные исследования показывают, что при учете теплового излучения от внутренних слоев пористого тела во внешнюю среду общая мощность тепловой радиации от горелки может существенно превышать тепловой поток излучения от внешней поверхности пористого тела, вычисленный по закону Стефана-Больцмана. Таким образом, эти исследования демонстрируют необходимость учета механизма переноса тепла излучением по пористому телу при решении задач фильтрационного горения.

В четвертой главе численно решена задача фильтрационного горения газов в цилиндрической пористой горелке и в прилегающих к ней областях. В результате численного эксперимента продемонстрировано существование двух различных устойчивых стационарных режимов горения при одинаковых значениях расхода газа. В зависимости от начальных условий зажигания наблюдается стационарное горение внутри горелки или на внешней поверхности пористого объекта. Показано, что температурные и излучательные характеристики горелки существенно отличаются для этих режимов горения. Продемонстрирована возможность перехода между режимами, который может происходить только в одну сторону при определенных условиях. Результаты данной главы вызывают наибольший интерес, так как могут быть использованы для описания режимов функционирования радиационных горелок и предсказания оптимальных характеристик таких устройств.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

- Впервые решена задача горения газов в расширяющемся канале с учетом теплового излучения от внутренних стенок канала во внешнюю среду и получены оценки радиационного потока от микроканала.
- Предложена упрощенная модель фильтрационного горения газов в инертной непрозрачной пористой среде, которая учитывает радиационный теплообмен внутри пористой среды и выход теплового излучения от внутренних слоев пористого тела во внешнюю среду.
- На основе предложенной модели решена задача сжигания газов в цилиндрическом пористом конвертере в одномерной постановке. Показано существование двух

различных стационарных режимов горения при одинаковых значениях скорости фильтрации свежей смеси. Получены температурные и радиационные характеристики горелки для этих режимов. Показана возможность перехода между режимами при изменении условий теплового баланса на внешней поверхности пористого объекта.

Практическая и научная значимость диссертации. Полученные в диссертационной работе результаты численного моделирования демонстрируют важную роль радиационного переноса в процессах фильтрационного горения газов. Предложенные модели, несмотря на их простоту и отсутствие учета в них ряда эффектов, могут быть полезными при проектировании радиационных горелок. Полученные в диссертации оценки излучательной эффективности пористых горелок могут быть использованы для выявления оптимальных режимов горения таких устройств и составов горючих смесей.

Рекомендации по использованию результатов диссертации. Результаты диссертации могут быть использованы при проектировании и исследовании эффективности работы фильтрационных газовых горелок различных типов. Полученные в диссертационной работе результаты могут быть рекомендованы для использования в научных исследованиях в ФГБУН Томском научном центре СО РАН, ФГБУН Институте химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, Дальневосточном федеральном университете.

Замечания и вопросы к работе:

1. Основной вопрос, возникающий при прочтении диссертационной работы, связан с допустимостью пренебрежения изменением плотности в рассматриваемых процессах. Плотность при фильтрационном горении может изменяться в несколько раз, что, несомненно, будет влиять на значения определяемых величин. В работе говорится о качественном совпадении результатов с учетом и без учета изменения плотности, однако не приводится ни одного сравнения с экспериментом теоретически полученных основных параметров процесса – температуры в зоне горения и скорости волны горения. Сравнение с экспериментом вычисленного теплового излучения из микроканала, приведенное в таблице 1, нельзя считать обоснованным, так как сравниваются две разные задачи – горение в микроканале и горение в пористой среде. Как можно организовать сравнение с одинаковыми параметрами, если решаются вообще разные задачи? Таким образом, несмотря на правдоподобность полученных в диссертации результатов, их соответствие реальности вызывает большой вопрос, оставшийся без ответа.
2. В разделе 3 при сравнении результатов численного решения задачи распространения пламени в плоском слое пористой среды в рамках модели без учета и с учетом переноса излучения используются разные граничные условия для температуры твердой фазы на входе (условия 3.1 и 3.7). Кроме этого, краевые условия на выходе также используются разные: для первой системы – адиабатические, а для второй системы – нет (условия 3.2 и 3.8). Разные граничные условия будут также влиять на результат, причем в окрестностях границ отличия у профиля температуры будут значительными. Поэтому полученные в 3.1.4 отличия у профилей температур нельзя объяснять только лишь влиянием радиационного переноса.
3. Изложение диссертации лишено логической стройности и ясности. Вывод и обоснования используемых уравнений в большинстве случаев или отсутствуют, или отличаются крайней скупостью. Ряд приведенных утверждений и уравнений лишены пояснений либо ссылок на соответствующие источники. Некоторая используемая терминология не является общепринятой: в частности, на стр. 24, 26, 50 используется термин «скорость фильтрации» применительно к задаче о движении газа в канале, а в главах 3 и 4 многократно под термином «температура стенки»

понимается температура пористой среды. Также возникает вопрос: почему из всех глав только третья глава имеет свое заключение?

4. В диссертации присутствует огромное количество опечаток. Среди них есть и вопиющие, как, например, в уравнении 3.4 на стр. 62. А в главе 4 так часто перепутаны слова «внешний» и «внутренний» режимы горения, что при чтении приходится полагаться на интуицию, а не на текст диссертации. Также непонятно, почему после пункта 3.1.2 идет пункт 3.1.4, и почему нумерация уравнений в 3.2 отличается от нумерации в остальной диссертации.
5. Формулировка результатов, приведенная в заключении диссертации, не соответствует положениям, выносимым соискателем на защиту.
6. Диссертация не полностью соответствует ГОСТ Р 7.0.11-2011. В частности, введение диссертации не содержит ряд необходимых структурных элементов: теоретическую и практическую значимость работы, методологию и методы исследования, степень достоверности и апробацию результатов.

Заключение. Несмотря на высказанные замечания, диссертационная работа заслуживает положительной оценки. Диссертация Палесского Федора Станиславовича «Моделирование волн фильтрационного горения в пористых средах с радиационным теплопереносом» является завершенной научно-квалификационной работой, имеющей научную и практическую ценность. Диссертация полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842. Автор диссертационной работы – Федор Станиславович Палесский – заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Отзыв обсужден и одобрен на семинаре отдела механики сплошных сред ИАПУ ДВО РАН, протокол № 2 от 02 июля 2019 г.

Руководитель отдела механики
сплошных сред ИАПУ ДВО РАН,
в.н.с., заведующий лабораторией механики
жидкости и газа ИАПУ ДВО РАН
д.ф.-м.н., доцент

_____ Луценко Николай Анатольевич

Сведения о ведущей организации по диссертации
 Палесского Федора Станиславовича
 «Моделирование волн фильтрационного горения в пористых
 средах с радиационным теплопереносом»,
 представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
 по специальности 01.02.05 – «механика жидкости газа и плазмы»

Полное наименование Института	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук
Сокращенное наименование Института	ИАПУ ДВО РАН
Полное наименование структурного подразделения, оставляющего отзыв	лаборатория механики жидкости и газа
Почтовый адрес	РФ, 690041, г. Владивосток, улица Радио, дом 5.
Ведомственная подчиненность	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Телефон	(423)2310439
Факс	(423)2310452
E-mail	director@iacp.dvo.ru
Сайт	www.iacp.dvo.ru

Список основных публикаций работников структурного подразделения, составляющего отзыв, за последние пять лет по теме диссертации (не более 15 публикаций).

1. Lutsenko N.A., Fetsov S.S. Influence of gas compressibility on gas flow through bed of granular phase change material // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2019. Vol. 130. pp. 693-699.
2. Salgansky E.A., Lutsenko N.A., Levin V.A., Yanovskiy L.S. Modeling of solid fuel gasification in combined charge of low-temperature gas generator for high-speed ramjet engine // Aerospace Science and Technology. 2019. Vol. 84. pp. 31-36.
3. Lutsenko N.A., Fetsov S.S. Numerical Model of Time-Dependent Gas Flows Through Bed of Granular Phase Change Material // International Journal of Computational Methods. 2019. Vol. 16. 195001. 17 p.
4. Lutsenko N.A. Numerical model of two-dimensional heterogeneous combustion in porous media under natural convection or forced filtration // Combustion Theory and Modelling. 2018. Vol. 22. Issue 2. pp. 359-377
5. Lutsenko N.A. On some features of vortex gas flows in porous objects with heterogeneous combustion zones under natural convection // AIP Conference Proceedings. 2018. Vol. 2027, 030060. pp. 1-7.

6. Левин В.А., Луценко Н.А., Фецов С.С. Моделирование движения газа через слой гранулированного теплоаккумулирующего материала с фазовым переходом // Доклады Академии наук. 2018. Т. 479, № 4. С. 386-389.
7. Левин В.А., Луценко Н.А., Салганский Е.А., Яновский Л.С. Модель газификации твердого горючего в комбинированном заряде низкотемпературного газогенератора летательного аппарата // Доклады Академии наук. 2018. Т. 482. № 2.
8. Lutsenko N.A., Fetsov S.S. On numerical model of one-dimensional time-dependent gas flows through bed of encapsulated phase change material // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 894, 012053. pp. 1-6.
9. Lutsenko N.A., Levin V.A. Smoldering of porous media: numerical model and comparison of calculations with experiment // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 894, 012054. pp. 1-7.
10. Левин В.А., Луценко Н.А. Двумерные течения газа при гетерогенном горении твердых пористых сред // Доклады Академии наук. 2017. Т. 476, № 1. С. 30-34.
11. Луценко Н.А., Фецов С.С. Стационарные режимы охлаждения пористых объектов с периодически распределенными источниками энерговыделения // Сибирский журнал промышленной математики. 2017. Т. 20, № 3 (71). С. 51-62.
12. Lutsenko N.A. Numerical modeling of 1D heterogeneous combustion in porous media under free convection taking into account dependence of permeability on porosity // Journal of Physics: Conference Series. 2016. Vol. 722, 012025. pp. 1-8
13. Lutsenko N.A. On numerical model of time-dependent processes in three-dimensional porous heat-releasing objects // AIP Conference Proceedings. 2016. Vol. 1770, 030066. pp. 1-6
14. Левин В.А., Луценко Н.А., Надкриничный Л.В., Смирнов С.В. Математическое моделирование в задачах механики неоднородных сред и динамики природных процессов // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2016. № 4 (188). С. 70-77
15. Луценко Н.А. Численное моделирование трехмерных нестационарных течений газа через пористые объекты с источниками энерговыделения // Вычислительная механика сплошных сред. 2016. Т. 9, № 3. С. 331-344

Врио директора ИАПУ ДВО РАН
член-корреспондент РАН
доктор физико-математических наук
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 5
(423)2310439, romashko@iacp.dvo.ru
Ромашко Роман Владимирович