

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. директора по научной работе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского
Сибирского отделения Российской академии наук (ИХКГ)
д. ф. – м. н. П. А. Пуртов



15.09.2014

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

– Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук на диссертационную работу **Моисеевой Ксении Михайловны** «Математическое моделирование процессов тепло-массопереноса при горении газовой смеси в химическом реакторе с инертной внутренней вставкой», представленную на соискание ученой степени **кандидата физико-математических наук** по специальности **01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника**

Актуальность темы диссертационной работы

Интерес к исследованию режимов работы химических и энергетических реакторов связан с широким их использованием в технологических процессах различных производств, например, получение синтез-газа из природных газов или производство энергии. С помощью методов математического моделирования можно рассмотреть идеализированную модель реактора, на основании которой возможно рассчитать промышленный реактор. При проектировании реакторов особое внимание уделяется вопросам устойчивости режимов его работы. В связи с этим при моделировании процессов горения важно установить области устойчивых и неустойчивых режимов.

На устойчивость процессов горения в реакторе, помимо прочего, существенное влияние оказывают процессы тепло- и массопереноса в системе. Повлиять на характер теплообмена в системе можно, в частности, за счет изменения конструкции горелочного устройства. В диссертационной работе Моисеевой К. М. предлагается контролировать устойчивость горения с помощью изменения параметров инертной внутренней вставки, изменяющей теплообмен в системе. Исследовано также влияние температуры стенок устройства и начальной температуры газа. Показано, что варьируя эти параметры, можно добиться устойчивого горения низкокалорийных смесей, не горящих в обычных условиях.

Характеристика содержания диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения, изложенных на 169 страницах машинописного текста, включая 92 рисунка, 5 таблиц, список литературы из 98 наименований.

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования. Определены научные положения, выносимые на защиту, описана их обоснованность, достоверность, новизна и практическая ценность.

В первой главе диссертации проведен анализ работ из научной литературы по проблемам горения реакционных смесей в энергетических и химических реакторах. Особое внимание в обзоре направлено на влияние процессов тепло-массопереноса на устанавливающиеся режимы горения. В рамках обзора проанализирована литература по горению смесей в миниатюрных горелочных устройствах, фильтрационному горению газа, горению при раздельной подаче топлива и окислителя. В главе сформулированы основные выводы по проблемам горения газовых смесей, поставлены цели и задачи исследования.

Во второй главе проведено аналитическое исследование стационарных режимов работы реактора идеального смешения с инертной внутренней вставкой. Определена возможность реализации высоко- или низкотемпературного устойчивого стационарного состояния, либо колебательного режима горения. В зависимости от безразмерных параметров системы определены шесть областей возможных режимов работы реактора, включая области неединственности устанавливающегося состояния. Результаты аналитического исследования подтверждены численно.

На примере задачи о горении газа в реакторе идеального смешения показано влияние инертной внутренней вставки на устанавливающийся режим работы реактора. Показано, что для одного и того же набора параметров система в присутствии инертной вставки выходит на колебательный режим работы, без инертной вставки в системе устанавливается низкотемпературное стационарное состояние.

В третьей главе диссертации проведено численное исследование возможных режимов работы проточного реактора с инертной внутренней вставкой в одномерной математической постановке задачи горения. Исследование проводилось в широком диапазоне изменения параметров течения смеси и теплообмена на поверхности инертной вставки и боковой поверхности реактора. Расчеты проведены для двух случаев зажигания – нагретой боковой поверхностью реактора или инертным внутренним телом. Согласно результатам расчетов в пространстве безразмерных параметров течения и интенсивности теплообмена смеси на боковой поверхности реактора определены области возможных режимов работы проточного реактора. Проведено исследование влияния инертной вставки на размер и расположение областей возможных режимов работы реактора.

Поставлена и решена задача о горении бедной метано-воздушной смеси в U-образной трубке и проточном реакторе с инертной внутренней вставкой.

Показана возможность инициирования и поддержания горения 2% метано-воздушной смеси, определены диапазоны изменения параметров, для которых в системе реализуется высокотемпературное стационарное состояние или колебательный режим. Показано влияние теплового расширения на характер устанавливающегося режима горения.

В четвертой главе рассмотрена двухмерная осесимметричная постановка задачи горения реакционной смеси в проточном реакторе с инертной внутренней вставкой. Проведено численное исследование задачи с помощью метода переменных направлений. Для заданных параметров определен диапазон значений радиуса реактора, в котором возможно установление устойчивого горения смеси.

Решена двухмерная задача диффузионного горения метана в потоке воздуха при отдельной подаче газов в трубку горения. Проведено численное исследование задачи методом переменных направлений. Для случая интенсивного теплообмена газов с боковой поверхностью трубки при инициировании процесса малым участком боковой поверхности показана возможность реализации колебательного режима горения. Из серии расчетов определен диапазон значений параметра течения смеси, в котором при заданных условиях в системе реализуется колебательный режим горения газов.

В заключении диссертации сформулированы результаты работы и основные выводы по проведенному исследованию.

Научная новизна работы

В диссертационной работе Моисеевой К. М. проведен численный анализ возможных режимов работы химического реактора с инертной внутренней вставкой, показано влияние инертной вставки на устойчивость режимов работы химического реактора. Установлены определяющие параметры системы, и определены параметрические области существования различных режимов. Показана возможность сжигания в такой системе низкокалорийных смесей, не способных гореть в условиях обычного пламени.

Показана возможность зажигания и поддержания горения 2% метано-воздушной смеси в химическом реакторе с инертной внутренней вставкой и в U-образной трубке.

Для химического реактора с инертной внутренней вставкой показано существование верхнего и нижнего значений радиуса реактора, при которых становится невозможным поддержание устойчивого горения.

Для задачи о диффузионном горении метана в потоке воздуха при отдельной подаче газов показана принципиальная возможность организации колебательного режима горения.

Обоснованность и достоверность результатов работы

Обоснованность и достоверность результатов подтверждаются обоснованностью и корректностью постановок задач, проверкой аппроксимационной сходимости, сравнением с результатами других авторов.

Результаты работы достаточно полно опубликованы в 11 печатных работах, включая 3 работы в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации для опубликования основных научных результатов диссертаций.

Практическая значимость результатов исследования

Результаты настоящей работы могут быть использованы при проектировании химических реакторов и разработке физико-математических моделей горения газов в энергетических установках.

Разработанная модель химического реактора с инертным внутренним телом, пакеты программ решения задачи горения на фоне процессов тепло-массопереноса, результаты расчетов были использованы при выполнении исследований в рамках гранта РФФИ и 3 НИР.

Диссертация соответствует специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, физико-математические науки, по области исследования «Теоретические исследования процессов совместного переноса тепла и массы в бинарных и многокомпонентных смесях веществ, включая химически реагирующие смеси» (п. 5 паспорта специальности).

Замечания по работе

1. К недостаткам работы следует отнести излишнюю академичность работы. Весь анализ проведен в безразмерных величинах, что затрудняет применение результатов работы к анализу режимов работы реальных устройств.

2. Показано, что учет теплового расширения меняет результаты. Неясно, однако, насколько сильно влияние теплового расширения в практически значимом диапазоне параметров и нужно ли его учитывать в инженерных расчетах. То же относится к выбору между одно- и двумерной моделями для цилиндрического реактора.

3. Следует отметить некоторую небрежность выбора числовых параметров газовой смеси при расчете горения реальных смесей. Так теплопроводность пропановых смесей принята равной 3,12 Вт/мК. Это в 10-30 раз превышает общепринятые значения. При выборе параметров для метано-воздушной смеси, ссылка делается на статью, в которой рассматривались пропано- и водородовоздушная смеси. Это заставляет с осторожностью относиться к результатам, полученным для этих смесей.

4. Система уравнений в реферате приведена без списка обозначений, что затрудняет понимание, тем более, что автор в ряде случаев использует не общепринятые обозначения.

Заключение

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки проделанной работы.

Автореферат соответствует диссертации, и достаточно полно отражает

ее содержание.

Диссертационная работа К. М. Моисеевой является актуальной для современной теплофизики и теоретической теплотехники. В работе с помощью методов математического моделирования проведено исследование возможных режимов работы химического реактора с инертным внутренним телом в зависимости от параметров тепло- массопереноса в системе, показано влияние инертного внутреннего тела на устойчивость режимов горения газовых реакционных смесей в химическом реакторе, показана возможность инициирования и поддержания горения бедной метано-воздушной смеси, не реагирующей в обычных условиях.

На основании изложенного считаем, что диссертация Моисеевой К. М. «Математическое моделирование процессов тепло- массопереноса при горении газовой смеси в химическом реакторе с инертной внутренней вставкой» соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации Моисеева К. М. заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Материалы диссертационной работы были доложены автором 15 сентября 2014 г. на семинаре Института химической кинетики и горения (ИХКГ) по горению и аэрозолям, протокол №459 (Рецензенты: д.т.н. А. А. Коржавин и д.ф.-м.н. Н. А. Какуткина, секретарь семинара В. А. Бунев).

Замечания, сформулированные рецензентами, были обсуждены, одобрены и дополнены участниками семинара и включены в отзыв ведущей организации.

Доктор технических наук,
заведующий лабораторией физики и химии горения газов
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт химической
кинетики и горения им. В. В. Воеводского СО РАН
630090, г. Новосибирск, Институтская, 3
+7(383) 333-22-96
korzh@kinetics.nsc.ru



Коржавин Алексей Анатольевич

Доктор физико-математических наук,
ученый секретарь Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Институт химической кинетики и
горения им. В. В. Воеводского СО РАН
630090, г. Новосибирск, Институтская, 3
+7(383) 333-23-83
kktk@kinetics.nsc.ru



Какуткина Наталья Александровна