

УДК 621.1

Численная реализация физико-математической модели уничтожения хлорорганических соединений

А.М. Кузьмин

Аннотация: В статье описывается реализация построенной физико-математической модели, в которую входят процессы дробления, испарения, смесеобразования. Также описывается реализация стадийной заморозки продуктов сгорания, как механизм предотвращения образования полихлорированных диоксинов и дибензофуранов (ПХДД/ПХДФ).

Ключевые слова: физико-математическая модель, хлорорганические соединения, высокотемпературный поток, высокотемпературный реактор, закалка, форсуночная головка, камера сгорания.

Введение

Для реализации физико-математической модели ввода, распыла, дробления, смесеобразования и испарения капель жидкого хлорорганических соединений необходимо задаться граничными условиями и создать модель в которой реализуется решение.

В качестве модели, для решения задачи распыла жидкого хлорорганического соединения (ХОВ) был выбран участок форсуночной головки (ФГ) и участок камеры сгорания (КС). Разбиение капель ХОВ происходило в попутном потоке.

Учет тепломассообмена жидких капель с высокотемпературным газовым потоком позволили оценить эффективность смесеобразования паров полихлорированных бифенилов (ПХБ) с продуктами сгорания, истекающими из КС. По оси струи концентрация паров ПХБ близка к единице, что указывает на интенсивное испарение капель ПХБ в высокотемпературном газовом потоке.

Результаты моделирования распыла жидкого ПХБ в реакторной зоне на рисунке 1, показывают, что на начальном участке ввода происходит интенсивное дробление струи на отдельные капли и последующее дробление образовавшихся капель на более мелкие. Одновременно происходит испарение капель.

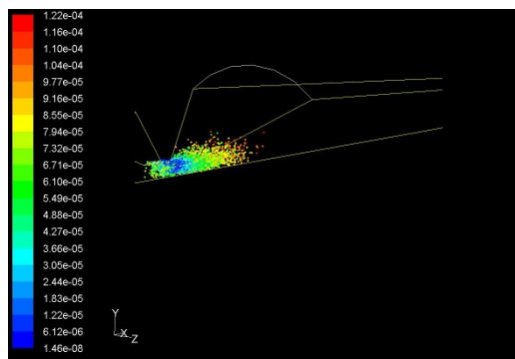


Рисунок 1. Ввод струи ПХБ и его последующее дробление

Капли образующиеся при распыле топлива, должны быть достаточно малы для того, чтобы они успели испариться. Истечение и распыливание топлива оказывает решающее влияние на процессы, происходящие в камере. Этими процессами определяется не только средний состав смеси в камере сгорания, но и конфигурация факела, местные концентрации топлива, скорость испарения и длина пути сгорания образовавшихся капель. На процессы истечения и распыла влияют конструктивные особенности форсунок, давление топливоподачи, физические параметры топлива (плотность, поверхностное натяжение, вязкость, упругость насыщенных паров), а также параметры распыляющего газа, а также его скорость, давление и температура.

Для упрощения расчета введены следующие допущения:

- а) поток капель жидкости состоит из одинаковых частиц с начальным диаметром d_{k0} , который рассчитывается по параметрам форсунки и окружающей среды;
- б) после распада струи образовавшиеся капли движутся как одиночные, когда на них воздействуют силы сопротивлений окружающей среда; деформация и испарение на движение капель не влияют;
- в) взаимное влияние капель на их движение и испарение отсутствует;
- г) движение и испарение капель происходит в среде с постоянной температурой и составом, которые соответствует их термодинамическим значениям при заданном давлении p_k и коэффициенте избытка окислителя α .

Расчет позволяет оценить длину зоны испарения жидких компонентов – смеси горючего и ПХБ, что необходимо для определения размеров зоны горения в процессе и выбора геометрических параметров камеры сгорания.

Результатом решения системы уравнений испарения и движения капли является зависимость диаметр капли от длины пути, а так же приведены условия начала дробления капель при различных диаметрах форсунки и влияния на дробление топливоподачи, зависимости первичного дробления капли от давления при различных диаметрах форсунки.

В таблицах (1.1.) и рис (1.3 и 1.4) представлены результаты расчета параметров испарения капли при первичном дроблении на выходе из форсунки при различных перепадах давления на форсунке. По данным расчетов можно определить перепад давления и длину реакционной зоны. Увеличение перепада выше 1 МПа мало влияет на дробление капель и соответственно на длину зоны испарения как для горючего, так и для вспыскиваемой в пристеночную область камеры ВТР воду. По этой причине выбираются значения перепада давления на форсунках и длины камеры сгорания 1 МПа и 0.5 м соответственно, не смотря на то что длина пути испарения топлива на порядок меньше, процесс испарения воды происходит немного дольше, из-за более низких температур, и физико-химических свойств. Длина камеры выбрана с запасом, гарантирующим как полное завершение реакции горения основных компонентов и испарения воды в слое завесы.

Таблица 1.1.

Результаты расчета процесса испарения капель горючего в камере сгорания ВТР (диаметр сопла форсунки 1 мм)

Перепад давления на форсунках, МПа	Диаметр капли, мм	Время испарения капли, с	Длина пути испарения, м
0.5	0.51	0.0058	0.087
0.6	0.48	0.0045	0.0675
0.7	0.45	0.0036	0.054
0.8	0.43	0.003	0.045
0.9	0.42	0.0027	0.0405
1	0.41	0.0022	0.033
1.1	0.395	0.002	0.03
1.2	0.39	0.002	0.03

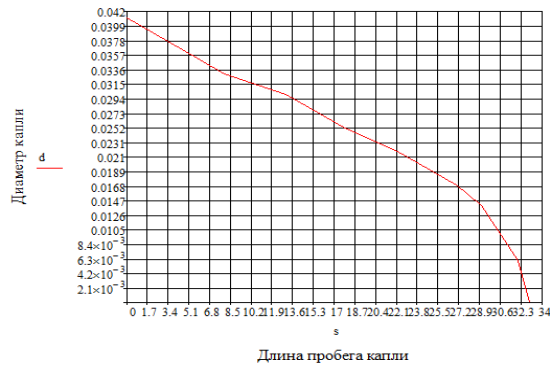


Рисунок 1.3. Зависимость диаметра капли ПХБ от длины пробега

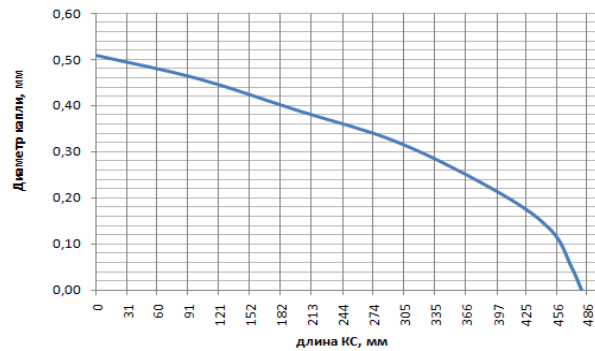


Рисунок 1.4. Зависимость диаметра капли воды от длины пробега

На графиках (1.5, 1.6), демонстрируется ход процесса испарения – представлена зависимость диаметра капли от пройденного ею пути. Полученные результаты показывают, что на конечном этапе испарения капли процесс ее торможения и уменьшения массы происходит особенно интенсивно и значительного запаса длины реакционной зоны КС не требуется

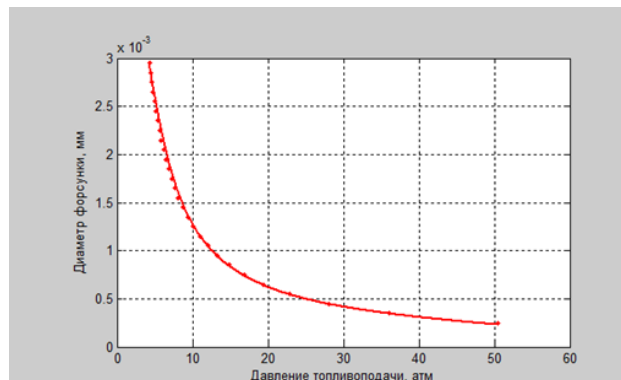


Рисунок 1.5. Условие начала дробления капли. В зависимости от давления к соответствующему диаметру форсунки.

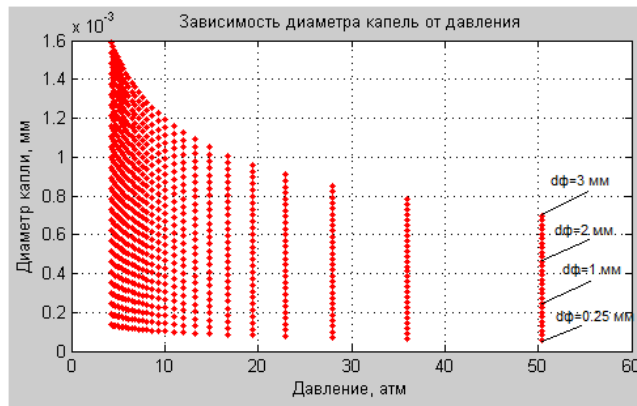


Рисунок 1.6. Дробление капли при выходе из форсунки определенного размера в зависимости от давления.

После расчета испарения капли, определяем оптимальный диаметр форсунки. Из расчета испарения, было установлено, что оптимальным является режим при давлении 1 МПа, такому давлению из (графика 1.5) соответствует диаметр форсунки равный 1 мм. Из (графика 1.6), видно что средний диаметр капли выходящий из форсунки диаметром 1 мм при давлении 1 МПа соответствует 0.2-0.3 мм

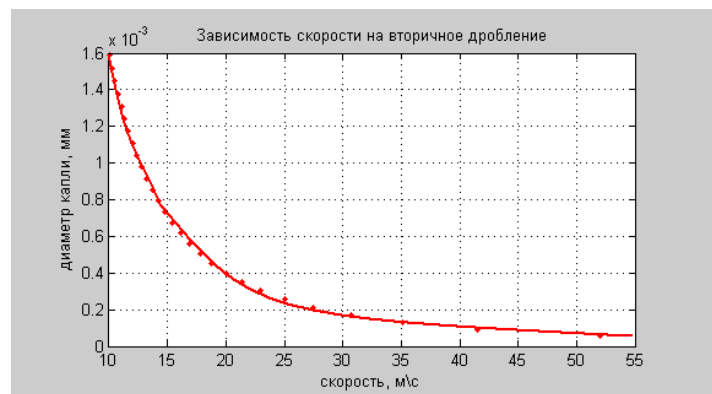


Рисунок 1.7. Зависимость скорости газового потока на вторичное дробление капли

Из графика (1.7) можно сделать вывод о том что активное дробление происходит при скоростях равных 10-35 м/с, далее следует менее интенсивное дробление. Исходя из проведенных расчетов, скорость газового потока равно 60 м/с. Таким образом, при вторичном дроблении капли в потоке газа, диаметр капли 0.05-0.1 мм. Испарение капли такого размера происходит ещё более интенсивно.

Таким образом, данные результаты позволяют выбрать параметры ФГ и доказывают адекватность применяемой модели распыла и испарения капель в высокотемпературном

потоке. Её использование в дальнейшем при исследовании общей картины процессов в ВТР позволит оптимизировать ФГ.

Обоснование длины и объёма камера сгорания. Время пребывания

Очевидно, что объем камеры сгорания должен быть таким, чтобы время пребывания поступивших компонентов равнялось времени превращения. При меньшем объеме ухудшится полнота сгорания, увеличение объема не целесообразно, так как приведет к увеличению габаритов и веса камеры без существенного улучшения полноты сгорания. Ранее был проведен расчет испарения капли, и было установлено, что испарение капли ПХБ проходит в течении 0,002 с. Таким образом время превращения должно быть больше времени пребывания $\tau = 0,002$. Длина камеры сгорания для последующего моделирования процессов высокотемпературного реактора была выбрана из-за соображения полного протекания процессов. $L = 0,9$ м. Данная длина была выбрана с запасом, при решение модели горения, можно будет сделать соответствующее предположение о необходимой длины КС. Радиус камеры сгорания $d = 0,1$ м выбран из условия получения \min необходимой скорости потока.

Конструкционные варианты элементов ФГ КС ВТР

Для термического преобразования эмульсии (смеси Хлорорганического соединения и Керосина) предлагается несколько вариантов схем организации рабочего процесса.

- Первая форсуночная головка представляет собой смесительный элемент в котором подача кислорода производится отдельно от подачи горючего. Смешивание компонентов и дробление на более мелкие капли горючего происходит непосредственно в КС. Также по периферии ФГ через струйные форсунки под углом к основному потоку вдоль стенок КС осуществляется подвод воды для защиты стенок КС. Подвод кислорода осуществляется вокруг форсунок горючего. (Рис 1.4.1.) «Трехслойная схема»

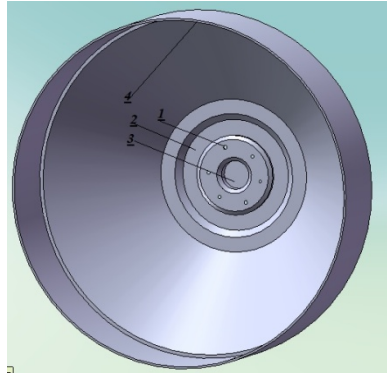


Рисунок 1.4.1. «Первый тип ФГ» 1 – ввод горючего, 2 – ввод кислорода, 3 – вход ПС запального устройства, 4 –ввод воды на защиту стенки

- Второй тип ФГ отличается тем что подвод кислорода, и смешивание компонентов происходит до поступления в КС, форсунки кислорода разделены, также отсутствует подвод жидкости для защиты стенок камеры сгорания. (Рис 1.4.2.)

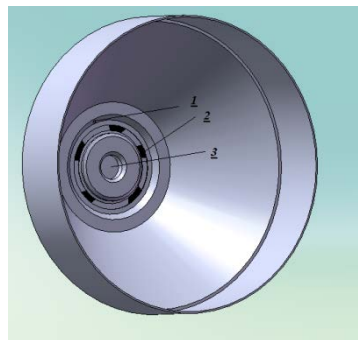


Рисунок 1.4.2. Второй вариант ФГ. 1 – форсунки горючего, 2 – разделенный подвод кислорода, 3 – вход ПС запального устройства

- Третий тип ФГ отличается тем, что, смесеобразование происходит на срезе ФГ и КС, форсунки горючего расположены под углом к центру, к потоку окислителя. Охлаждение по периферии стенок КС отсутствует. (Рис 1.4.3.)

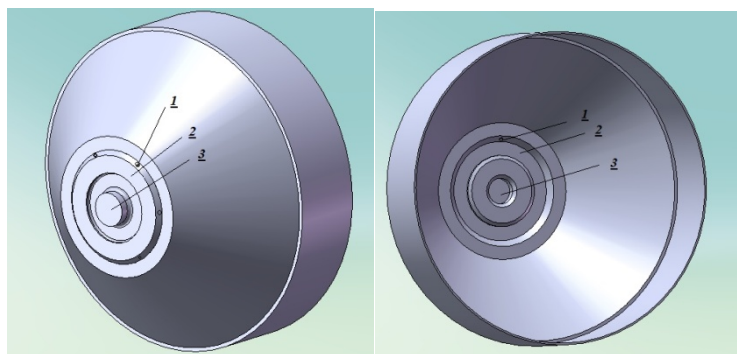


Рисунок 1.4.3. Третий тип ФГ, 1 –ввод горючего, 2 –ввод кислорода, 3 вход ПС запального устройства.

Результаты численного моделирования физико-химических процессов уничтожения ХОВ

В процессе исследования была проведена серия численных экспериментов на компьютерных моделях, построенных на основе разработанных физико-математических моделей и алгоритмов. Исследовался модельный канал реактора в котором имитировался впрыск жидко ХОВ в высокотемпературный поток.

В созданных компьютерных моделях исследовались следующие параметры:

- обеспечение дежурного и иницирующего факела в ВТР
- воспламенение топливной смеси
- охлаждение стенок камеры сгорания
- защита стенок камеры сгорания
- двухстадийное охлаждение высокотемпературного потока

Также было выбрано допущение, что рассматривается глобальный метод химических превращений, так как сам механизм химической кинетики был реализован отдельно.

Процессы при генерации высокотемпературного газового потока

На начальном этапе численного моделирования были произведены расчеты течения в камере сгорания при наличии реакции горения метана и кислорода имитирующего дежурный факел запального устройства и жидкого горючего в смеси с ХОВ (ПХБ ($C_{52}H_{75}Cl_8$)) в кислороде при коэффициенте избытка окислителя 0,8. Генерация высокотемпературного потока необходима для:

- обеспечения дежурного и инициирующего факела в ВТР при организации процесса уничтожения ХОВ методом сжигания;
- создания высокотемпературного рабочего тела для последующего его воздействия на ПБХ и разложения последнего тепловой волной.

Для реализации физико-математической модели высокотемпературного газового потока были выбраны следующие физические модели:

- Система в которой моделируется высокотемпературный поток является неподвижной и стационарной
- В качестве моделируемой жидкости работы запального устройства выбран многокомпонентный газ, так как существенных изменений для запального устройства это не несет. Данная физическая модель является допущением.
- В процессе реализации модели течения газа и жидкости, протекают реакции, описанные глобальным методом, выбирается модель реагирующего потока, в этой модели описываются химико-кинетические механизмы взаимодействия веществ.
- Так как горение диффузионное, необходимо провести анализ по диапазону распределения температур по сечению камеры запального устройства, выбирается модель не перемешанной смеси, таким образом, все реакции проходят по длине запального устройства
- Горение в запальном устройстве является турбулентным, для этого выбирается режим турбулентности, который реализуется моделью k-ε.

На (рис. 1.6.1.) показана компьютерная модель ВТР. Устройство для термического обезвреживания ХОВ, включающее несколько зон с рубашкой охлаждения, первая зона устройства является камера сгорания (4). Перед форсуночной головкой (3) установлено запальное устройство (1), форсуночная головка (3) установлена на входе в первую зону реактора для подачи в него рабочей смеси из ХОВ, горючего и окислителя, форсунки для ввода закалочной жидкости (2), размещенные по окружности на боковой стенке реактора, выполненное в виде критического сопла выходное отверстие реактора. Между первой и второй зоной реактора размещен турбулизатор (5), (6) в виде сужающегося тела вращения, который снабжен форсунками для ввода закалочной жидкости, расположенными по окружности на входе в него, так же форсунки для ввода закалочной жидкости расположены между второй и третьей (6) зонами реактора.

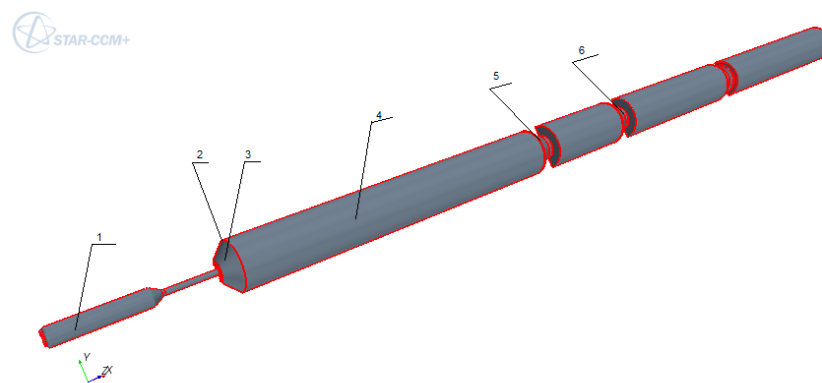


Рисунок 1.6.1. Компьютерная модель реактора высокотемпературного уничтожения ХОВ

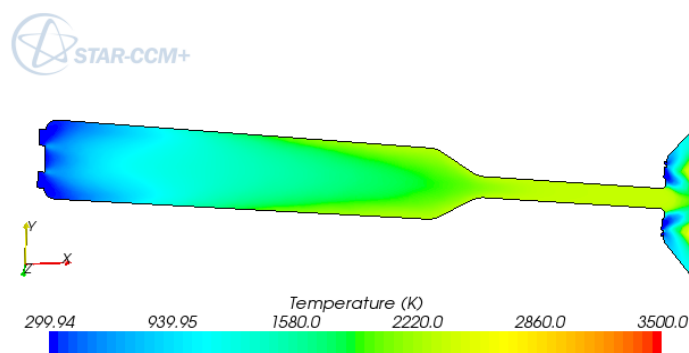


Рисунок 1.6.2. Моделирование работы запального устройства

На рис 1.6.2. представлено моделирование процесса работы запального устройства. Была выбрана модель горения на компонентах метан, кислород ($\text{CH}_4 + \text{O}_2$), при давлении в камере сгорания запального устройства $P = 5$ атм. с суммарным массовым расходом $\Sigma m = 0.002$. Уровень температур продуктов сгорания соответствует значению в $T = 2600$ К, что близко к полученным результатам термодинамического расчёта, а также достаточно для того чтобы обеспечить дежурное и инициирующее пламя. Таким образом, можно рассматривать процессы, связанные с высокотемпературным уничтожением ХОВ в основной КС ВТР.

Рассмотрим диффузионную модель высокотемпературного горения газа. Данная модель выбрана из-за соображений наглядной демонстрации распределений температур по длине КС, концентраций компонентов в КС, турбулентных зон.

В качестве рассматриваемых геометрических моделей, исследовались три типа организации процесса и подвода рабочего тела. Подвод рабочего тела обеспечивается ФГ КС. Основные отличия в подводе рабочее заключается в том, что в первых двух вариантах,

окислитель подается по центру КС ВТР, а в третьем типе ФГ по центру КС ВТР подается горючее.

Исходя из предложенных вариантов обеспечения подвода рабочего тела, представлена модель диффузионного горения в КС без подвода водного пристеночного слоя, для минимизации расчетного времени, этот расчет будет приведен ниже. Диффузионное горение в первом варианте обеспечивается следующим образом, топливная смесь горючего и ХОВ поступает через форсунки ФГ КС расположенные вокруг форсунки окислителя, окислитель подается через форсунку установленную по центру КС ВТР.

В процессе создания модели высокотемпературного уничтожения ХОВ в ВТР задавались граничные условия: подача горючего и ХОВ, подача окислителя, выход ПС, начальные условия по температуре внешней среды и температуры компонентов $T_{в.с} = T_{н.к} = 300\text{K}$, давление в КС $P_{к.с} = 1\text{ МПа}$, суммарный расход горючего, окислителя и ХОВ $\Sigma m_{г+о} = 0.258$, коэффициент избытка окислителя $\alpha = 0.8$, длина камеры сгорания выбиралась из соображений завершения всех физико-химических процессов $L_{к, м} = 0.9\text{ м}$. Расход горючего и ХОВ задавался как смесь с условной формулой $C_{52}H_{75}Cl_8$.

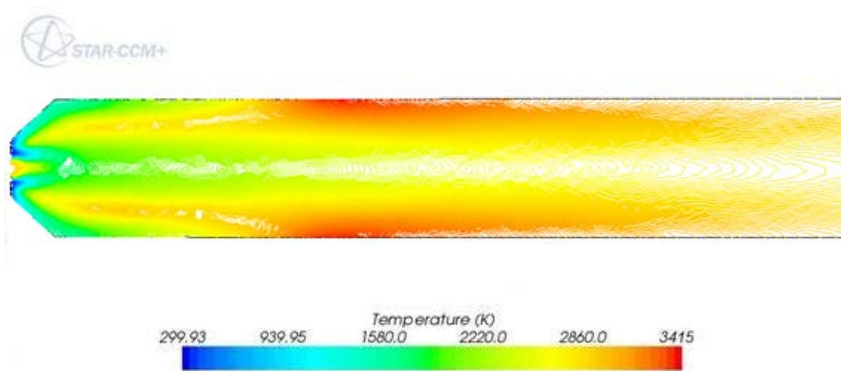


Рисунок 1.6.3. Моделирование процессов высокотемпературного уничтожения ХОВ в КС ВТР ($O_2 + C_7H_{13} + C_{33}H_{16}Cl_{16}$), в центре КС обеспечивается подача окислителя

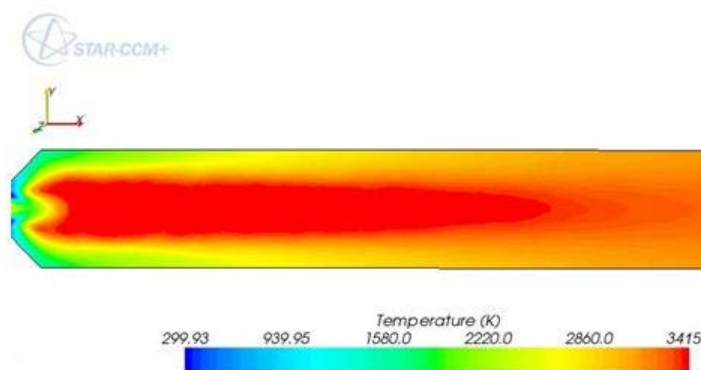


Рисунок 1.6.4. Моделирование процессов высокотемпературного уничтожения ХОВ в КС ВТР ($O_2 + C_7H_{13} + C_{33}H_{16}Cl_{16}$), в центре КС обеспечивается подача горючего

Моделирование диффузионного горения и процессов высокотемпературного уничтожения ХОВ показано на (рис. 1.6.3.) и (рис.1.6.4.). При организации подачи окислителя по центру КС приводит к тому, что происходит разбиение высокотемпературного потока, в результате этого можно наблюдать не одно единое ядро потока, а два отдельных высокотемпературных потока, также в центре КС можно наблюдать зоны менее низких температур. Это может привести к проскоку исходного уничтожаемого вещества, вследствие чего могут образоваться токсичные и высокотоксичные образования типа ПХДД/ПХДФ, так же не обеспечивается защита стенок КС от коррозионного воздействия хлорных соединений.

Результаты (Рис. 1.6.4.), демонстрируют возможность применения многослойной схемы подачи, где в центре КС подается горючее в смеси с ХОВ, по бокам подается окислитель, в дальнейшем будет рассмотрен подвод охлаждающей жидкости. При использовании такой схемы, обеспечивается полное окисление подаваемого хлорорганического вещества, вдоль стенок КС наблюдаются зоны концентраций кислорода (рис. 1.6.5), обеспечивающие защиту стенок камеры сгорания от хлорных соединений, которые являются коррозионно-активными и со временем приведут к выходу устройства.

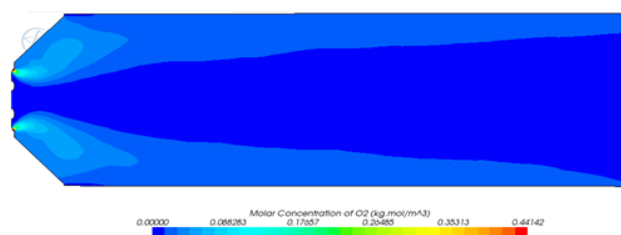


Рисунок 1.5.5. Молярные концентрации O_2

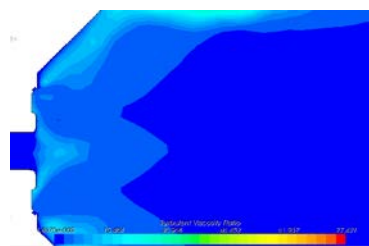


Рисунок 1.6.6. Турбулентная интенсивность

Численное моделирование камеры сгорания показало, что уровень температур продуктов сгорания соответствует значению более $T \approx 3400 \text{ K}$, что близко к полученным результатам термодинамического расчета. Скорости потока, концентрации и температуры высокотемпературного газа также совпадают с расчетными.

В таблице (1.6.5) на графиках, приведено распределение температуры по сечению камеры сгорания, $\frac{x}{l}$. Таким образом, с увеличением длины камеры, температурный фронт снижается с 3415 K до 3200 K по сечению камеры сгорания, за счет уменьшения концентрации кислорода вдоль стенки камеры сгорания (рис. 1.6.4), активных зон турбулентных течений не наблюдается, только в зоне форсуночной головки, турбулентная интенсивность $Turbintens = 20\text{-}25\%$ (рис.1.6.6.), побочных продуктов сгорания и самого хлорорганического вещества в турбулентных зонах не наблюдается. Проведя данный этап моделирования, можно утверждать, что кислород обеспечивает защитный слой, от попадания побочных продуктов к стенке камеры. Защитный слой кислорода, позволяет защитить стенки КС от коррозии и от попадания, какого либо вещества, содержащий Cl в своём составе. А также создает все условия, предотвращая проскок токсичных образований по всей длине КС.

Охлаждение высокотемпературного потока, защита стенок КС, влияние охлаждения на процессы горения

На рис.(1.7.1) Изображено моделирование процесса высокотемпературного уничтожения ПХБ. В данной модели осуществляется охлаждение стенки камеры водой, с расходом 0.05 г/с . Численное моделирование процесса уничтожения ПХБ с организованным пристеночным охлаждением показало, что впрыск воды влияет на показатели температуры по сечению камеры, снижая температуру в ядре потока с $T \approx 3415 \text{ K}$ до $T \approx 2900 \text{ K}$ по длине камеры. Температура стенки камеры $T \approx 1500 \text{ K}$. Температура ПС в конце участка меньше чем в случае без впрыска воды. Такой уровень температуры так же достаточно высок и при нем не начинают образовываться ПХДД/ПХДФ. Так же вода осуществляет защиту стенок КС от воздействия на неё хлорорганических соединений. (рис. 1.6.2.). Распределение турбулентных токов (рис.1.6.3.), наибольшие токи наблюдаются в зоне впрыска охлаждающей жидкости.

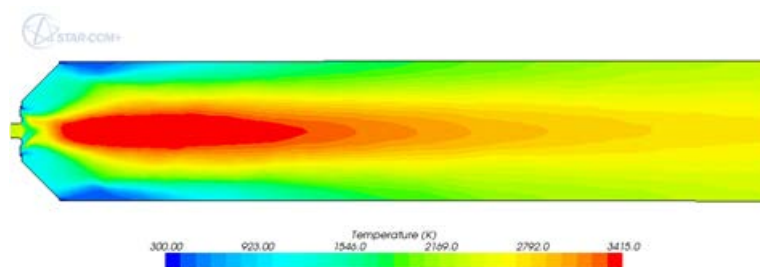


Рисунок 1.7.1. Моделирование процесса высокотемпературного уничтожения ХОВ, с пристеночным охлаждением водой

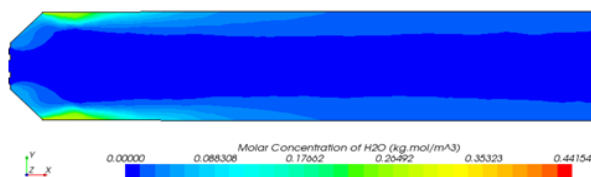


Рисунок 1.7.2. Распределение концентраций H_2O по длине КС

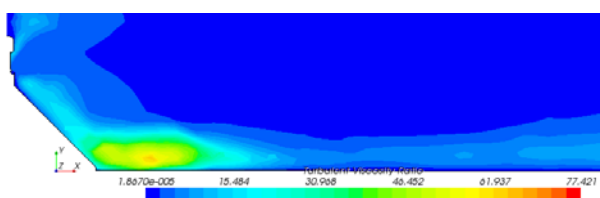


Рисунок 1.7.3. Распределение полей турбулентности

Полученные результаты позволяют дать оценку разработанной модели в части описания процессов течения газа в канале ВТР и горения. Наилучшая газодинамическая картина наблюдается так называемая «трехслойная схема», которая обеспечивает надежную защиту стенок камеры сгорания, за счет организации впрыска воды вдоль стенки. Обеспечивает защиту от вероятностного проскока отравляющего вещества, за счёт подачи топливной смеси в центре окруженном кислородом. Кислород инициирует весь по длине камеры сгорания. Применение других схем высокотемпературного уничтожения, может привести к проскоку отравляющего вещества, и при градиентном понижении до закалки к образованию побочных токсичных, тяжелых соединений типа ПХДД/ПХДФ

Процесс заморозки ПС высокотемпературного потока в ВТР

На следующем этапе численного моделирования были произведены расчеты поэтапного охлаждения высокотемпературного потока (заморозка), при горении топливной смеси в камере сгорания при наличии реакции горения метана и кислорода имитирующего дежурный факел запального устройства и жидкого горючего в смеси с ПХБ

($C_{52}H_{75}Cl_8$) в кислороде при коэффициенте избытка окислителя 0,8. При этом было сделано допущение, что горение осуществляется методом «premix» (предварительного перемешивания), такая модель применяется из-за соображений создания плотного фронта горения, для точности проверки охлаждения потока. При решении модели рассматриваются следующие пункты:

- создание предварительного перемешивания горения с температурой близкой к термодинамическому расчету
- охлаждение (далее «закалка») потока, в различных зонах, для нахождения оптимальной зоны впрыска
- обоснование длины камеры за закалкой, исходя из времени охлаждения и температуры
- обоснование количества зон закалки
- предложения по нейтрализации HCl

4.8.1. Постановка решаемой задачи

Представлены возможные три схемы подачи закалочной жидкости в высокотемпературную зоны. Первый вариант осуществляется путем подачи закалочной жидкости непосредственно перед началом сужения камеры сгорания. Во втором варианте форсунки располагаются под углом в 45° навстречу потоку. Третий вариант форсунок расположен непосредственно вначале самого турбулизатора. Механизм действия турбулизатора заключается в том, что поток проходя через него, ускоряется, водный поток перемешивается с высокотемпературным ядром потока и замораживается.

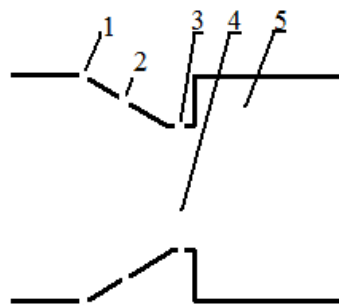


Рисунок 1.8.2. Схема вариантов подачи закалочной жидкости в высокотемпературный поток
1,2,3 - Вход хладагента, 4 – Зона перемешивания ядра потока, 5 – зона образования активных турбулентных токов, также влияющих на перемешивание

Задача охлаждения потока состоит в том, чтобы осуществить охлаждение за мгновенный промежуток времени $\tau = 0.01 \div 0.1$. При достаточно медленной заморозке состава, могут начать образовываться побочные продукты, может произойти просок разложившихся веществ, которые в свою очередь скажутся на выходных экологических параметрах, так же необходимо учитывать то, что образование ПХДД/ПХДФ начинается в диапазоне температур равных $600 \div 1200$ К, заморозить поток необходимо избегая этого диапазона температур. В связи с этим предложена двухстадийная градиентная заморозка потока. Первая заморозка должна понизить температуру потока с 3400К до 1500 К, вторая заморозка, должна заморозить состав с 1500 К до 450 К. Время заковки этих двух зон не должен превышать допустимых интервалов.

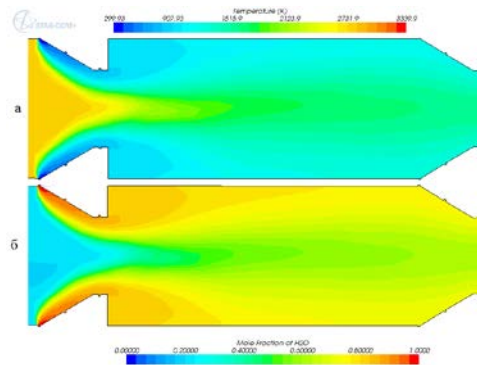


Рисунок 1.8.4. Результаты и газодинамическая картина численного моделирования заковки высокотемпературного потока.

а) Температура потока б) Распределение концентрации H_2O

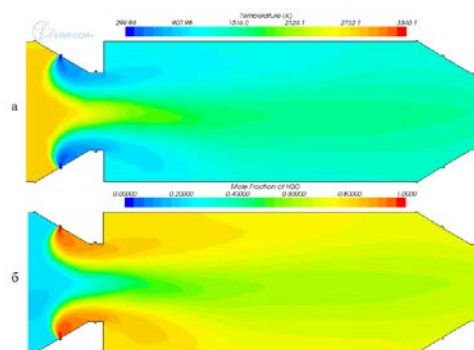


Рисунок 1.8.5. Результаты и газодинамическая картина численного моделирования заковки высокотемпературного потока

а) Температура потока б) Распределение концентрации H_2O

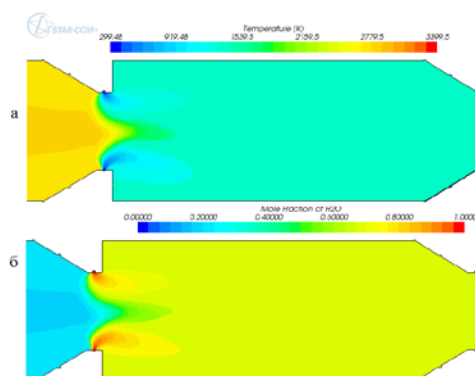


Рисунок 1.8.6. Результаты и газодинамическая картина численного моделирования закалки высокотемпературного потока

а) Температура потока б) Распределение концентрации H_2O

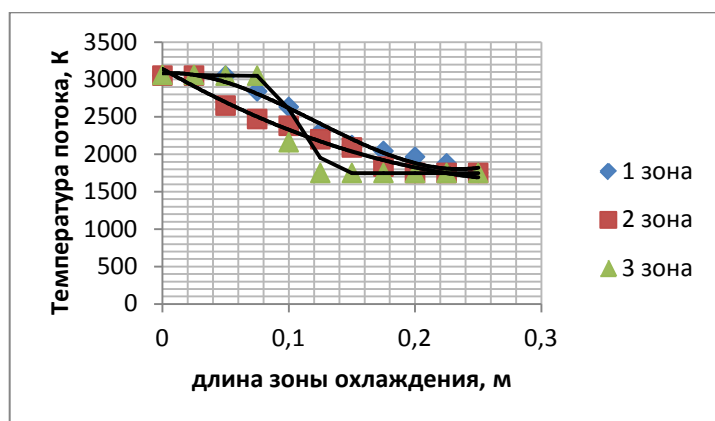


Рисунок 1.8.7. Зависимость изменения температуры по длине КС

Исходя из проведенного численного моделирования, можно сделать вывод что, закалку высокотемпературного потока необходимо проводить в 3 зоне впрыска Рис 1.8.6. Так как отмечаются следующие преимущества по сравнению с другими зонами. Рис 1.8.4. Рис 1.8.5.

- Более полное перемешивание потока, связано с тем, что при одинаковых скоростных напорах, потоку жидкости из форсуночной головки надо преодолеть меньшее расстояние
- Охлаждение потока по сечению происходит на более раннем сроке
- Длина перемешивания меньше, вследствие чего меньше временной интервал, время охлаждения потока с температуры 3300К до 1500К $t_{замороз} = 0.0012$ с
- За сужающейся частью при 3 варианте впрыска наблюдаются более сильные турбулентные токи, которые в свою очередь также перемешивают поток

Одним из наиболее важных моментов при реализации процесса заморозки высокотемпературного потока, является закалка второй зоны, так как именно в этой зоне может происходить образование ПХДД и ПХДФ.

Так как, наилучшим вариантом впрыска является впрыск через третью зону, то процесс второй закалки охлаждения потока с 1500 К до 470 К, охлаждаем прибегая к такому же методу охлаждением через 3 зону закалки.

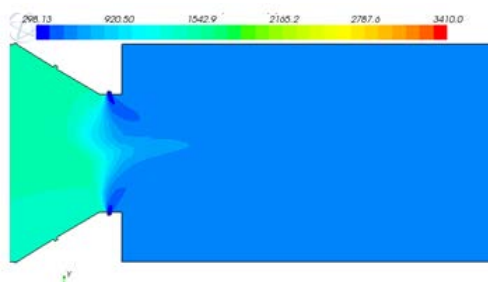
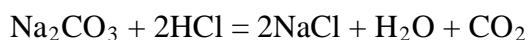


Рисунок 1.8.8. Охлаждения второй зоны потока с $T=1500$ до $T=470$ К.

Реализация модели охлаждения потока, показало, что снижение температуры с 1500 до 470 К. происходит за время равное 10^{-2} с, что является гораздо быстрее, чем предъявляется для охлаждения потока.

При заморозки состава необходимо так же нейтрализовать продукты сгорания типа HCl , Cl , Cl_2 . Механизм нейтрализации представляет собой подачу вместе с охлаждающей жидкостью, смесь содового раствора, известным как Na_2CO_3 . При создании раствора необходимо учесть, качество раствора. Так как чем больше подать нейтрализатора в ядро потока, тем более качественно пройдет процесс. В термодинамической части приведены расчеты, графики и таблицы растворимости соды. А также произведены расчеты.

Процесс нейтрализации проходит следующим образом и описывается следующей глобальной формулой:



Процесс нейтрализации продуктов сгорания является известным и приводится в литературных источниках.

Выводы

Проведена численная реализация ФММ. Выбраны и теоретически обоснованы рабочие параметры установки, такие как длина, диаметр КС, размеры форсунок.

Определены параметры времени пребывания равное $\tau = 0,002$ с

Приведены результаты химической кинетики при генерации высокотемпературного потока. Которые показывают значительно малые времена, что также подтверждает правильность расчета времени пребывания.

Получены распределения температур по сечению КС, диффузионного горения, в абсолютных величинах.

Получены распределения мольных концентраций H_2O .

Получены распределения турбулентной интенсивности.

Получены результаты процесса охлаждения высокотемпературного потока.

Приведен расчет защиты стенок КС, а также показано влияние охлаждения на процессы горения.

Получены распределения температур по сечению и длине КС при заморозке высокотемпературного потока. Было предложено несколько типов подвода охлаждающей жидкости, были получены зависимости изменения температур по длине КС, при охлаждении потока закалочной жидкостью.

Полученные результаты скорости охлаждения показывают, возможность применения такой технологии для реализации процесса закалки ПС, без образования попутных токсичных образований типа ПХДД/Ф

Результаты численного моделирования обосновывают работоспособность предложенной технологии создания рабочего тела РД для термического уничтожения хлорорганических соединений при отсутствии получения высокотоксичных побочных продуктов. Результаты химической кинетики и результаты моделирования испарения капли показывают, что существует возможность преобразования ХОВ в разложенное состояние, результаты численного моделирования охлаждения, закалки потока показывают, возможность высокоградиентного замораживания за короткие времена. Моделирование высокотемпературного потока с использованием различных конструктивных особенностей, показало возможность применения «трёхслойной» схемы, которая позволяет избежать недостатков других технологий.

Библиографический список

1. Ильяшенко С.М. Талантов А.В. Теория и расчет прямоточных камер. М.: Машиностроение, 1964. 303 с.

2. Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. М.: Машиностроение, 1968. 395 с.
3. Коробов В.И. Очков В.Ф. Химическая кинетика: введение с Mathcad/Maple/MCS. М.: Горячая линия – Телеком, 2009. 384 с.
4. Бенсон С. Основы химической кинетики. М.: Мир, 1964
5. Эммануэль Н.М. Кнорре Д.Г. Курс химической кинетики (гомогенные реакции) М.: Высш. школа, 1984.
6. Франк-Каменский Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука 1967.
7. Хоффман Р.В. Механизмы химических реакций. М.: Химия, 1979
8. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник для вузов. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2002. – 543 с.
9. Кузьмин А.М., Юнаков Л.П., Перминов А.С. Технические принципы реализации высокотемпературного уничтожения полихлорбифенилов. Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики. Материалы V Всероссийской научно-технической конференции, Казань, 12-13 октября 2009 г. С. 387-390.

Кузьмин Алексей Михайлович, ассистент Балтийского государственного технического университета, Г. Санкт-Петербург 1-ая Красноармейская д.1. тел: 8-(812)-594-22-11;
e-mail: oblate@mail.ru