

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ДВУХФАЗНОГО ГАЗОВОГО ПОТОКА В КАМЕРЕ РДТТ

Гордеев С.Н., доц., к.т.н. Никитин В.А.  
Тульский государственный университет, Тула, Россия

В комплексах вооружения импульсные ракетные двигатели твёрдого топлива (ИРДТТ) выполняют роль двигателей, которые сообщают необходимую скорость летательному аппарату в основном в пределах установки, ствола. Они могут быть как элементами снаряда, так и пусковой установки. Время работы ИРДТТ составляет порядка 10-50 мс. К двигательным установкам такого класса относятся двигатели систем ближнего боя.

При проектировании ракетного двигателя гранатомета необходимо обеспечить стабильное горение порохового заряда, сокращение его длины и упрощение конструкции ракетного двигателя твердого топлива. В существующих конструкциях двигательных установок гранатометов применяется многошашечный, щеточный заряд, состоящий из тонкосводных трубок, для которого большое значение имеет одновременность воспламенения. Воспламенение такого заряда осуществляется форкамерным воспламенительным устройством (ФВУ), расположение которого возможно только у соплового днища.

При срабатывании ФВУ образуется двухфазный поток, истекающий из расходных отверстий, содержащий горящие зёрна воспламенительного состава, а так же раскалиённые несгорающие частицы.

Целью работы является выбор наиболее рациональной схемы взаимного расположения расходных отверстий ФВУ и сопловых отверстий камеры сгорания (КС), обеспечивающей уменьшение неэффективного расходования воспламенительного состава через сопла и, тем самым, повышения стабильности воспламенения основного заряда.

К ИРДТТ в период воспламенения предъявляются довольно жёсткие требования, диктуемые необходимостью обеспечения стабильной динамики летательного аппарата в начале его движения. Главными условиями являются: высокая надёжность работы воспламенительного устройства, стабильность времени выхода РДТТ на режим.

Движения газа в РДТТ в воспламенительный период характеризуется разнообразием физических явлений, взаимным влиянием различных процессов. При этом существует ряд специфических особенностей течения, среди которых наиболее существенными являются:

- наличие частиц конденсированной фазы, межфазовое взаимодействие, коагуляция и дробление частиц;
- до-, транс- и сверхзвуковые течения потока в различных областях;
- пространственный характер течения;
- тепломассообмен со стенками камеры и зарядом.

В РДТТ в процессе сгорания воспламенительного состава в ФВУ образуется двухфазное рабочее тело. Многофазное рабочее тело отличается от однофазного наличием в газовом потоке мелких твёрдых частиц шарообразной формы, обменивающихся с газом теплотой и кинетической энергией. Механизм движения двухфазных сред характеризуется увеличением вязкости газа за счёт конденсированных частиц и сопровождается теплообменом между частицами и газом. В зависимости от свойств воспламенительного состава и характеристик среды может происходить коагуляция и дробление частиц. При достижении определённой температуры в первом случае происходит процесс укрупнения или спекания частиц. Размер частиц при этом зависит от типа выбранного воспламенителя, от давления в КС, от температуры среды.

Размеры частиц оказывают, прежде всего, существенное влияние на так называемые двухфазные потери импульса. Полная теория внутрикамерных процессов в камере сгорания описывается на основе единой системы уравнений, т.к. единство рабочего процесса в камере сгорания предопределяет единство процесса образования потерь, непрерывно сопровождающего преобразования рабочего двухфазного вещества.

В общем случае при течении двухфазного потока в КС может наблюдаться разность скоростей и температур частиц. Ускорение частиц происходит под действием аэродинамических сил, проявляющихся при наличии разности скоростей, а передача теплоты частиц к газу – вследствие разности температур. От этого зависят потери в импульсе давления и изменение времени пребывания газа и частицы по сравнению со случаем полного равновесия по скорости и температуре между газом и частицами.

Для описания модели движения двухфазного потока в воспламенительный период примем следующие допущения.

Гидродинамические силы, действующие на движущуюся частицу, учитываются посредством коэффициента сопротивления  $C_X$ . Для упрощения расчёта предполагаем, что частицы имеют одинаковую сферическую форму, а по размерам разделим частицы на фракции. При этом будем считать, что приход газа с поверхности горящих частиц отсутствует и их размер постоянен. Так же в расчёте пренебрегаем тепловым воздействием потока на стенки камеры и на заряд и не рассматриваем воздействие твёрдых частиц на топливный элемент.

С целью выбора наиболее рациональной схемы расположения расходных отверстий ФВУ было рассмотрено три расчётных схемы:

1. С расположением отверстий в цилиндрической полости, в которой расположен воспламенительный состав, перпендикулярно оси двигателя в направлении сопловых отверстий (прототип) (рис. 1).

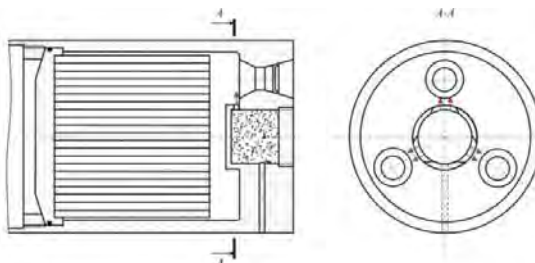


Рис. 1. Первая расчётная схема двигателя

2. С расположением отверстий в цилиндрической полости, в которой расположен воспламенительный состав, перпендикулярно оси двигателя, повернутых относительно сопловых отверстий на угол  $60^\circ$  в окружном направлении (рис. 2).

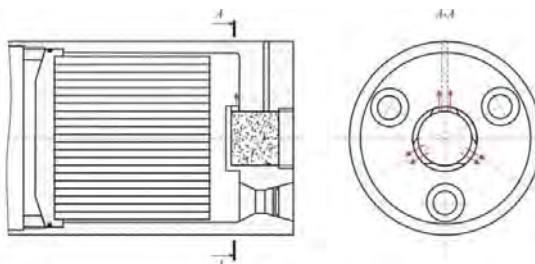


Рис. 2. Вторая расчётная схема двигателя

3. С расположением отверстий в цилиндрической полости, в которой расположен воспламенительный состав, тангенциально к оси двигателя.

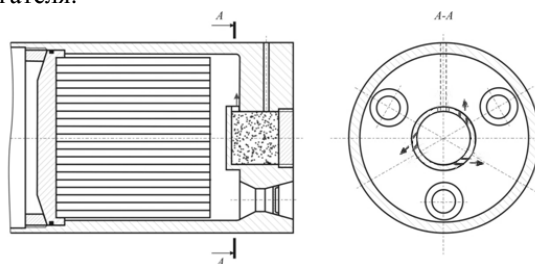


Рис. 3. Третья расчётная схема

При выборе программного продукта для решения задачи были рассмотрены следующие критерии: простота изучения и использования, интерфейс, техническая поддержка, математические модели расчётов, скорость и точность решения, допущения. По этим критериям был выбран российский продукт [FlowVision компании «ТЕСИС»](#), предоставленный для выполнения этой работы. Программный комплекс FlowVision решает трехмерные уравнения динамики жидкости и газа: уравнения Навье-Стокса (законы сохранения массы и импульса) и уравнение переноса энтальпии (закон сохранения энергии).

Результатами расчётов являются: картина распределения давлений и скоростей, а так же значение массового расхода твёрдых частиц через выходные отверстия камеры сгорания.

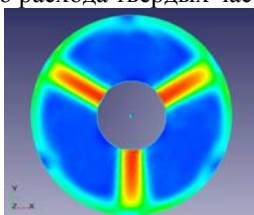


Рис. 4. Распределение скоростей в случае первой расчётной схемы

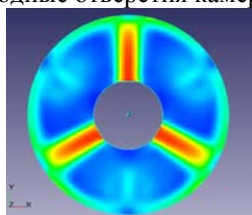


Рис. 5. Распределение скоростей в случае второй расчётной схемы

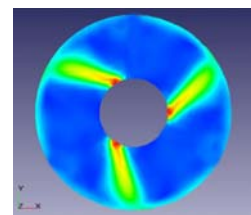


Рис. 6. Распределение скоростей в случае третьей расчётной схемы

Так же были получены процентные значения количества твёрдых частиц, вылетающих через отверстия в камере сгорания: 1 схема — 22%; 2 схема — 7%; 3 схема — 12%.

Частицы к-фазы имеют большую инерционность по сравнению с газовым потоком, тем самым они увлекаются в сторону стенки камеры. Наличие на пути частиц выходных отверстий КС приводит к их выходу из камеры в первом случае, чего не происходит во втором. Вихрь при этом создаётся в большей степени потоком газа и не содержит большого количества частиц, чем и объясняется их меньшая потеря во втором расчётном случае. Частицы при этом «размываются» по стенке камеры. В третьем случае происходит «закрутка» потока, поэтому частицы не так интенсивно увлекаются в сторону стенки, по сравнению со вторым случаем, и выбрасываются через расходные отверстия. Таким образом, наиболее рациональной схемой взаимного расположения расходных отверстий ФВУ и выходных отверстий камеры сгорания является вторая расчётная схема.