

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В СТЕНДЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ИМИТАЦИЕЙ ВЫСОТНЫХ УСЛОВИЙ

А.Н. Ефремов, А.Г. Тимаров

Научный руководитель: профессор, д.т.н. М.И. Соколовский

Научно-производственное объединение «Искра»

Россия, г. Пермь, ул. Академика Веденеева, 28, 614038

E-mail: ean703@iskra.perm.ru

Для имитации высотных условий при испытании ракетных двигателей, в том числе ракетных двигателей на твердом топливе (РДТТ), широко применяются газодинамические трубы (ГДТ), состоящие из барокамеры и герметично присоединенного к ней выхлопного диффузора [1, 2]. Из-за сложного характера течения в такой установке (торможение сверхзвукового высокотемпературного потока продуктов сгорания (ПС), истекающих со среза сопла) конструкция испытательного стенда находится под значительным силовым и тепловым воздействием, а при испытании РДТТ последнее существенно возрастает за счет выпадения на стенки конструкции частиц конденсированной фазы ПС. Типичная конструкция ГДТ представлена на рисунке 1.

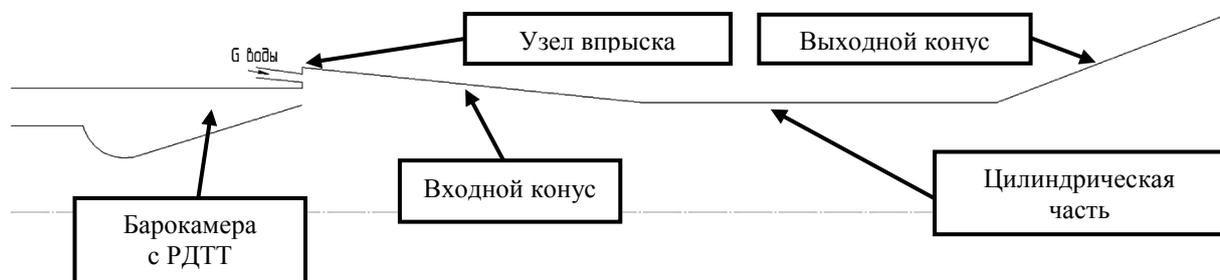


Рис. 1. Схематичный пример конструкции ГДТ

Для обеспечения температурного режима при работе выхлопного диффузора разработки НПО «Искра» применяется комбинированная система охлаждения проточного тракта:

- внутренняя система охлаждения входного конуса, которая реализуется за счет создания водяной завесы с помощью впрыска воды через распылительные форсунки;
- рубашечная система охлаждения цилиндрического канала и выходного конуса, которая обеспечивает автономное охлаждение ГДТ.

По результатам первого огневого стендового испытания (ОСИ) перспективного РДТТ, тепловой режим, реализовавшийся на стенках диффузора, оказался более тяжелым по сравнению с ожидаемым. Дополнительно на входном конусе был зафиксирован значительный унос материала с частичным переходом на конический участок ГДТ. Это потребовало замены входного элемента конструкции для проведения последующих ОСИ, несмотря на то, что изначально ГДТ проектировалась для многоразового применения.

В ходе анализа результатов ОСИ было выдвинуто предположение, что наиболее вероятной причиной реализовавшегося температурного состояния является недостаточно эффективная работа узла впрыска воды. Из-за недостатка информации в руководящих документах по оценке эффективности работы узла впрыска для организации внутреннего охлаждения при проектировании ГДТ, а также несовершенства существующих подходов с использованием численного моделирования, где вся вода рассматривается изначально сразу в парообразном виде [3], была разработана собственная методика численного моделирования в одном из коммерческих пакетов вычислительной гидродинамики (ВГД) по определению параметров течения в ГДТ с учетом внутреннего охлаждения от впрыска струй воды, их распада и испарения.

Для проведения численного эксперимента была создана расчетная геометрия, сектор которой составил 9° . В качестве исходных данных для газодинамического расчета используются давление в камере сгорания РД, термодинамические и теплофизические свойства ПС твердого топлива, расход воды на узле впрыска, свойства воды и водяного пара.

Серия расчетов, выполненных по созданной расчетной методике, позволила найти решение по доработке конструкции диффузора путем изменения угла впрыска воды внутрь тракта [4]. Данное решение обеспечило проникновение 95...100% охлаждающей жидкости от общего расхода, подаваемого на впрыск, в поток, что привело к заметному снижению температуры стенок ГДТ (см. рис. 2).

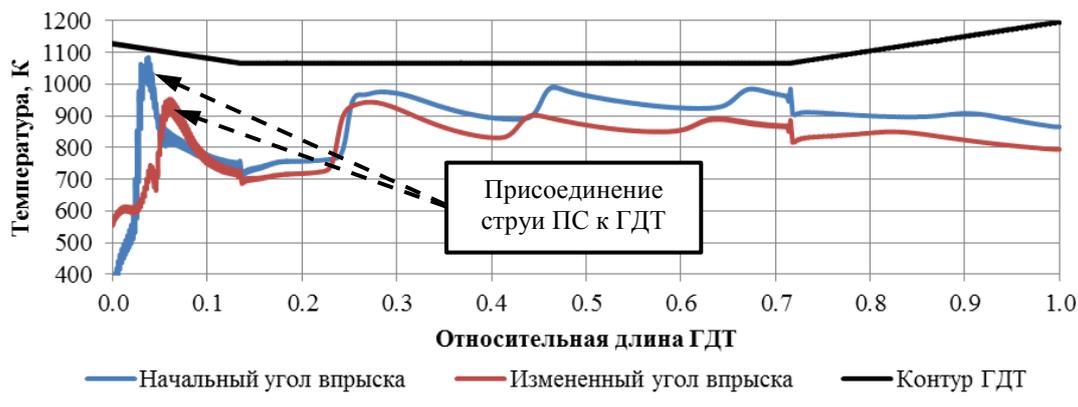


Рис. 2. Температурное состояние стенок ГДТ

Из рисунка 2 также следует, что зона присоединения струи ПС сместилась вглубь проточного тракта, т.к. измененный угол впрыска обеспечил дополнительное поджатие потока. В результате, после ОСИ РДТТ в ГДТ с доработанным узлом впрыска, максимальная глубина уноса материала входного конуса уменьшилась на 70...80%, а длина канавок сократилась более чем на 30%. Данные результаты, в отличие от первого испытания, позволили допустить входной конус для повторного использования.

Предложенный подход к численному моделированию позволяет детально рассматривать течение в тракте ГДТ с внутренним охлаждением, более точно оценивать нагрузки, действующие на ГДТ, оптимизировать ее конструкцию. В целом это приводит к снижению технических рисков при разработке и эксплуатации высотных стендов, что в свою очередь обеспечивает экономический эффект за счет уменьшения количества доработок и повышения ресурса элементов конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веницкий А.М. [и др.] Конструкция и отработка РДТТ – М.: Машиностроение, 1980. – 230 с.
2. Шишков А.А. Высотные испытания реактивных двигателей – М.: Машиностроение, 1985. – 208 с.
3. Волчков Э.П. [и др.] О влиянии сжимаемости и неизотермичности газа на эффективность заградительного охлаждения при турбулентном пограничном слое // Журнал прикладной механики и технической физики. – 1966. – №4. – С. 126-129.
4. Пат. 2618986 РФ МПК F02K 9/96, G01M 15/14. Стенд для высотных испытаний ракетных двигателей твердого топлива / А.Н. Ефремов, А.Г. Тимаров. Заявлено 24.02.2016; Опубл. 11.05.2017, Бюл. № 14. – 9 с.