

В данной работе получены и проанализированы целевые функции скорости частицы для данной модели.

Список литературы

1. Стернин Л.Е., Шрайбер А.А. Многофазные течения газа с частицами. - М.: Машиностроение, 1994.- 320 с.
2. Брусройд Р. Течение газа со взвешенными частицами.- М.: «Мир», 1975.- 384 с.

КАМЕРА СГОРАНИЯ ПОСТОЯННОГО ОБЪЕМА С САМОПРОВОДЯЩИМСЯ ЗОЛОТНИКОМ ДЛЯ НОВЫХ РЕАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Богданов В.И., Кувтырев Д.В., Кудрин О.И., Сергиенко А.А.
ОАО «НПО «Сатурн», г. Рыбинск,
МАИ, г. Москва

Создана камера сгорания $V=\text{const}$ с самоприводящимся золотником для перспективных пульсирующих энергодвигательных установок. Проведены расчетно-теоретические и экспериментальные исследования камеры, показавшие высокий уровень ее характеристик. Камера может найти применение в основном:

- в дозвуковых и сверхзвуковых ПуВРД;
- в приводных ГТД;
- в ГДЛ и МГД- генераторах;
- в пульсирующих ракетных двигателях;

При исследованиях обнаружены газодинамические явления, происходящие при взаимодействии газовой струи ПуВРД с окружающей средой, которые могут быть использованы для повышения тяговой эффективности пульсирующих реактивных двигателей с соответственно сформированной концепцией.

Замедление прогресса в развитии традиционных реактивных двигателей со сгоранием топлива при постоянном давлении заставило проявить интерес к пульсирующему, детонационному рабочему процессу, термодинамически более эффективному. Возросшие возможности математического моделирования нестационарных газодинамических процессов на современных ЭВМ позволяют надеяться на успешное решение известных проблем пульсирующих реактивных двигателей: ухудшенные габаритно-массовые характеристики, невысокий КПД процесса расшире-

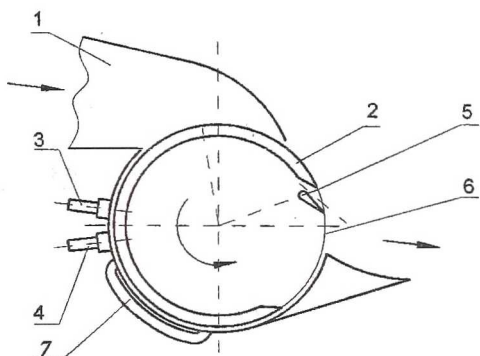


Рис.1. Камера сгорания $V=\text{const}$ с самоприводящимся золотником

1- входное устройство; 2-золотник; 3- топливная форсунка; 4- воспламенитель; 5- сопло; 6- выходное устройство (сопло с центральным телом)

($V=\text{const}$), истечение газов и продувка. Часть газов истекает через сопло 5 в золотнике, создавая на нем вращающий момент.

Повышение частоты рабочих пульсаций может быть получено увеличением числа рабочих полостей в золотнике и топливных форсунок. Для повышения скорости и полноты сгорания возможно применение в корпусе канала для переброса пламени между рабочими полостями золотника.

Выполнены расчетно–теоретические исследования в МАИ, ЦИАМ и испытания камеры сгорания (рис. 2) в ОАО «НПО «Сатурн».

Расчетно–теоретические исследования показали:

- для объемов камеры сгорания более 200см^3 (частота пульсаций– 200Гц , зазор менее $0,1\%$ от диаметра) потери давления из-за утечек в лабиринтных уплотнениях между корпусом и золотником составят менее 5% (рис. 3);
- максимальная частота рабочих пульсаций f может достигать высокого значения $\sim 200\text{ Гц}$, что должно значительно улучшить габаритно-массовые характеристики (рис. 4);
- скорость падения температуры вытекающих газов T_g может составить 10^6 К/с (в двое выше чем в сопле со стационарным течением) (рис. 4);

ния. Эти проблемы в значительной степени должна позволить решить предлагаемая камера сгорания постоянного объема ($КС V=\text{const}$) с самоприводящимся золотником [1].

Устройство $КС V=\text{const}$ показано на рис.1. При работе камеры, при вращении золотника 2 последовательно происходят процессы: наполнение воздухом золотника, впрыск топлива, воспламенение и сгорание в закрытом объеме

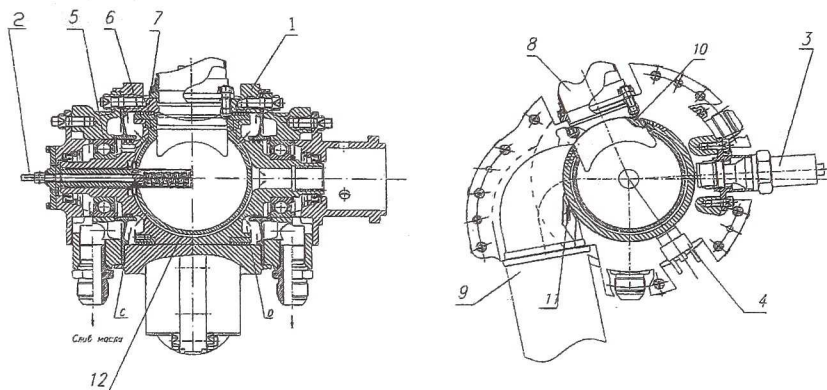


Рис. 2. Экспериментальная камера сгорания $V=\text{const}$

1– корпус; 2– свеча зажигания; 3– топливная форсунка; 4– датчик давления; 5– подшипники качения; 6– ротор-золотник; 7– лабиринтное уплотнение; 8– входной патрубок; 9– выхлопной патрубок; 10– сопло в золотнике; 11– решетка НА; 12– сферическая жаровая труба

- благодаря продувке и кратковременному воздействию высокой температуры конструкция может быть работоспособной при $T_Z=3000\text{K}$. При этом потери тепла в воздушную систему охлаждения составят $\approx 5\%$, а температура теплозащитного покрытия – 1400°C ;
- средняя энергетическая скорость истечения газов может достигать значения более 1200 м/с ;
- возможность полного расширения высоконапорной нестационарной газовой струи в сопле с центральным телом с приемлемым уровнем потери тяги, вызванной нерасчетностью режима его работы $\approx 5\%$ [2].

Созданная экспериментальная золотниковая камера сгорания $V=\text{const}$ (рис. 2) с объемом 310 см^3 при наличии входного и выходного устройства представляет собой ПуВРД. Максимальная рабочая частота пульсаций 100 Гц при экспериментах определялась возможностями топливной аппаратуры. Для создания вращающего момента на золотнике в нем устанавливалось сопло, а в выходном устройстве съемная решетка направляющих аппаратов (НА), обеспечивающих истечение газов в заданном направлении. Воспламенение топливной смеси производилось свечой накалывания. Система измерения обеспечила замер максимального давления сгорания P_Z , расхода воздуха на входе в камеру, частоту вращения золотника.

При испытаниях была продемонстрирована работоспособность камеры до уровня рабочих пульсаций в 100 Гц . Получен запуск при малом

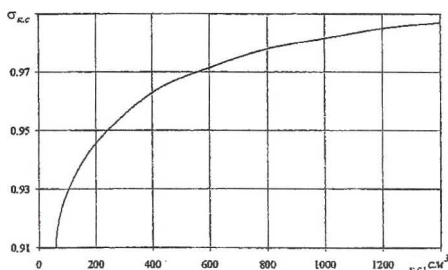


Рис. 3 Зависимость коэффициента сохранения давления в камере сгорания от её объёма

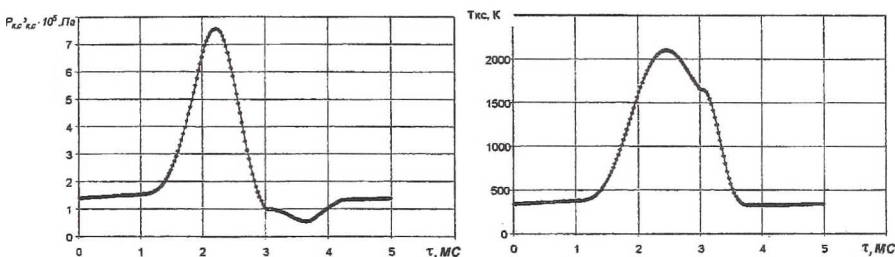


Рис. 4 Характер изменения давления и температуры газов в камере сгорания за один цикл при $f=200$ Гц, $\alpha=1.3$

перепаде давлений на камере $\Delta P=0,001$ МПа. После проведения конструктивных мероприятий по повышению температуры внутренней поверхности камеры (теплозащитное покрытие, стабилизаторы пламени) получено самовоспламенение топливовоздушной смеси (при отключенном зажигании) на основных режимах работы. Замеренные P_z были близки к расчетным для коэффициентов избытка воздуха $\alpha > 1,7$.

Проверка герметичности лабиринтных уплотнений между золотником и корпусом показала, что при частотах рабочих пульсаций более 60 Гц падение давления в камере находится в пределах расчетных значений $\approx 5\%$.

Экспериментальная оценка вращающего момента на золотнике показала, что этот момент может создаваться одной решеткой (НА) в выходном устройстве, однако он меньше суммарного (с соплом в золотнике). Это позволяет сделать вывод о возможности управления частотой вращения золотника поворотом НА.

Таким образом, замеренные экспериментальные данные в основном совпали с данными, полученными при расчетно-теоретических исследованиях.

В настоящее время ведется отработка рабочего процесса для полу-

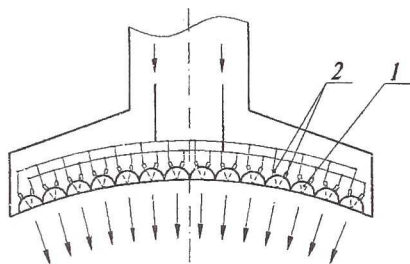


Рис. 5 Пульсирующий РД
1— детонационная камера сгорания
2— форсунки горючего и окислитель
с электронным управлением.

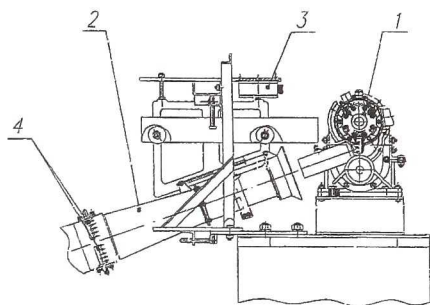


Рис. 6 ПуВРД с эжекторным усилителем тяги
1— ПуВРД; 2— эжекторный канал; 3— силоизмерительный датчик; 4— датчики измерения полного давления и температуры газа.

чения P_z , соответствующего $\alpha=1,3$.

Оценка тяги ПуВРД, выполненная разными способами на базе экспериментальных замеров показала, что она может быть значительно выше расчетной, определенной по аналитическим формулам, которые получены при допущении квазистационарности процесса истечения. Объяснение этого явления может быть следующим.

В окружающем воздухе перед прерывистой газовой струей образуется ударная волна, повышенное давление за которой приводит в движение воздух и одновременно снижает скорость истечения газовой струи (увеличивает время действия импульса). Т. е. здесь происходит присоединение дополнительной массы, повышающее тягу сопла без эжекторного канала. При этом, чем больше нестационарность истечения (сильнее ударная волна), тем выше эффект.

Анализ полученных результатов исследований позволяет сделать вывод о возможности использования этого явления в космических пульсирующих детонационных ракетных двигателях (ПуРД), в которых присоединенной массой, при определённых условиях, может стать отработанная выхлопная струя газа. При временном интервале между подачами газовых струй близком к нулю каждая последующая струя газа создаёт в предыдущей ударную волну (скорость газа в струе по мере истечения убывает), которая разгонит предыдущую отработанную струю газа. Значительная часть её становится присоединенной массой, повышающей тяговый КПД двигателя по аналогии с ПуВРД.

Схема такого ПуРД представлена на рис. 5. «Измельчение» ПуРД

на большее количество малоразмерных двигателей упрощает организацию процесса детонационного сгорания, повышает нестационарность истечения, делает отработанную струю газа более короткой, что должно уменьшить её растекание в стороны и тем самым эффективнее её использовать в качестве присоединенной массы.

Проводятся испытания ПуВРД с эжекторным усилителем тяги (рис. 6), без подачи топлива в двигатель. «Холодный» режим работы

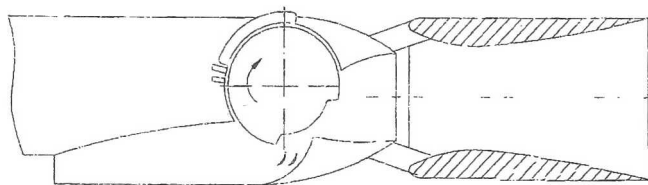


Рис. 7 Схема ПуВРД с эжекторным усилителем тяги

ПуВРД с давлением наддува на входе в камеру сгорания до уровня 0,28 МПа позволил увеличить максимальную частоту рабочих пульсаций со 100 Гц до 230 Гц. Максимальное значение коэффициента усиления тяги $K=2.6$ получено на частоте ≈ 140 Гц, при замеренном коэффициенте эжекции равном ≈ 6.5 . Уменьшение длины эжекторного канала на 30% даже несколько увеличило K .

Полученные результаты экспериментальных исследований следует считать предварительными. Окончательные выводы могут быть сделаны после завершения испытаний.

По результатам исследований и расчетно-конструкторских проработок камера сгорания может найти применение в энергодвигательных установках:

- пульсирующих ВРД для скоростей полета, соответствующих числам $M_p=0..3,0$;
- дозвуковых пульсирующих ВРД с эжекторным усилителем тяги (рис. 7);
- МГД- генераторах и газодинамических лазерах, в которых может быть значительно повышена эффективность за счет высоких значений T_z T_g ;
- в качестве инициатора детонации в пульсирующих детонационных двигателях и средства стабилизации сверхзвукового горения в гиперзвуковых прямоточных ВРД ;
- турбовальных ГТД $V=\text{const}$ (рис. 8), в которых в качестве турбины высокого давления используется роторно-поршневая машина, обеспе-

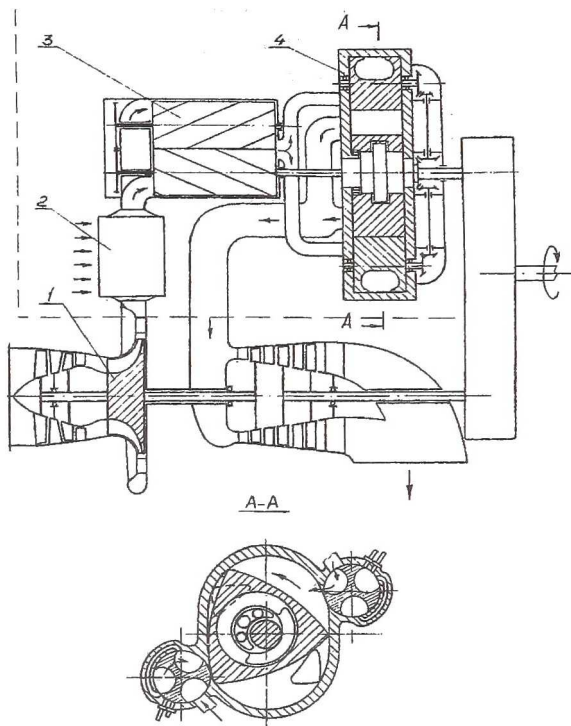


Рис. 8 ГТУ $V=\text{const}$ с винтовым компрессором и роторно-поршневой расширительной машиной в качестве турбины высокого давления

1– турбокомпрессор; 2– охладитель воздуха; 3– винтовой компрессор; 4– роторно-поршневая машина с КС $V=\text{const}$

чивающая малый уровень потерь при совместной работе с КС $V=\text{const}$ и температуру сгорания на уровне 2500К;

- пульсирующих ракетных двигателей с баллонной или насосной системой подачи топлива.

Список литературы

1. Богданов В.И. Камера сгорания $V=\text{const}$ с газораспределительным устройством золотникового типа и её применение в перспективных энергодвигательных установках: Автореферат дисс... степени канд. техн. наук. - М., МАИ, 1997г.
2. Богданов В.И. и др. Профилирование несимметричного сопла при изменяющихся по времени параметрах торможения истекающего газа и размере минимального сечения // Аэромеханика и газовая динамика. 2002. №3 С. 51-59.