

А. В. Новиков, Д. С. Ханталин, В. И. Богданов

ПУЛЬСИРУЮЩИЙ ГИДРОРЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Рассматриваются вопросы исследования пульсирующих процессов, применения новых – пульсирующих технологий, в качестве пути развития двигателестроения. Представлена гидрореактивная силовая установка нового типа, основанная на пульсирующем рабочем процессе. *Пульсирующий гидрореактивный двигатель; исследования; конкурентные преимущества*

Создание пульсирующих реактивных двигателей и изучение возможных областей их применения является новым направлением в двигателестроении.

Экспериментальными и расчетными исследованиями доказана возможность значительно улучшить тяговые характеристики пульсирующих воздушно-реактивных двигателей по сравнению с двигателями стационарного истечения. В работах [1–3] показано, что увеличение тяги происходит за счет присоединения в выходном устройстве дополнительной массы как внешней, так и собственной в колебательном процессе. Эффективность процесса в основном определяется параметрами рабочих пульсаций и выходного устройства. Изучению пульсирующих процессов с присоединением дополнительной массы уделяют большое внимание как в России (ОАО «НПО «Сатурн», НТЦ им. А. Люльки, Институт механики МГУ), так и за рубежом (Центр Гленна, НАСА). Установлено, что чем выше плотность окружающей среды, тем выше эффективность применения пульсирующего двигателя. Наиболее доступным рабочим телом с повышенной плотностью для изучения пульсирующих процессов является вода.

Исследования в условиях повышенной плотности окружающей среды открывают новые перспективы применения пульсирующих двигателей в судостроении в качестве силовых установок судов различного класса.

СИЛОВАЯ УСТАНОВКА НОВОГО ТИПА ДЛЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ СКОРОСТНЫХ СУДОВ

Исследования пульсирующих процессов проводятся в рамках проекта по созданию силовой установки для малоразмерных скоростных судов. Цель проекта – создание опытно-

промышленного образца и внедрение пульсирующего гидрореактивного двигателя (ПуГРД) в массовое производство. В результате коммерческого исследования выбрана мощность двигателя – 30 л.с. Такая мощность обусловлена, во-первых, коммерческой привлекательностью продукта для потребителя, а во-вторых, доступностью изучения пульсирующих процессов и отработки технологий на двигателе-демонстраторе малой тяги. Реализация этого проекта заложит основу для создания более мощных пульсирующих силовых установок.

Разрабатываемый двигатель представляет собой водометный пульсирующий гидрореактивный двигатель с прямым преобразованием тепловой энергии продуктов сгорания в кинетическую энергию водяной струи, выходящей из сопла, которая и создает тягу двигателя и является присоединенной массой для продуктов сгорания. Сопоставив ПуГРД с двигателем внутреннего сгорания (ДВС), который в настоящее время является наиболее распространенным, увидим ряд преимуществ новой разработки. За счет совмещения функций двигателя и движителя упрощается конструкция и предполагается повышение тяговых характеристик и, как следствие, улучшенный КПД двигателя. Рабочий процесс сопровождается полным расширением газа в рабочем цилиндре и сопле, что также способствует росту КПД. В такого рода гидравлических двигателях отсутствует механическая система кривошипно-шатунного механизма. Это исключает двойное преобразование энергии из возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение коленчатого вала, который связан с гребным винтом, и с дальнейшим поступательным движением водяной струи. Рассматриваемый двигатель обладает лучшими эксплуатационными и ресурсными свойствами, так как отсутствует механическое трение, на преодоление которого в обычных поршневых двигателях расходуется

до трети мощности. Для определения параметров рабочего процесса и характеристик двигателя ведется работа по совершенствованию физико-математической модели.

Применение новых конструктивных решений позволит улучшить габаритно-массовые характеристики силовой установки. В данном ПуГРД, схема которого представлена на рис. 1, применена конструкция с самовращающимся ротором с цилиндрическими рабочими полостями. Так как режимы впуска и выпуска воды занимают основную часть времени рабочего цикла, целесообразно было эти процессы организовать одновременно в нескольких рабочих полостях при работе одной камеры сгорания, это способствует повышению частоты пульсации и, следовательно, улучшает габаритно-массовые характеристики.

Рассмотрим работу двигателя на примере одной рабочей полости. На запуске ротор с насосом раскручиваются электростартер-генератором. Заборная вода насосом под давлением подается в рабочую полость ротора, когда она снизу сообщена с входным устройством, а сверху перекрыта верхней крышкой корпуса. При этом вода заполняет рабочую полость и сжимает находящийся там воздух. При дальнейшем повороте ротора нижнее отверстие рабочей полости перекрывается нижней крышкой корпуса, а верхнее отверстие совмещается с топливной форсункой, свечой зажигания и выходом пламеперебрасывающего канала. Производится впрыск топлива, образовавшаяся топливовоздушная смесь воспламеняется свечой (на запуске) или дежурным факелом (на основных режимах) через пламеперебрасывающий канал от соседней рабочей полости со сгоревшей ТВС. При этом происходит сгорание в закрытом объеме с повышением давления. При дальнейшем вращении ротора нижнее отверстие рабочей полости совмещается с выходным устройством, через которое вода истекает, создавая реактивную тягу. При протекании воды через искривленный канал происходит изменение направления ее течения, реакция от которого передается на ротор, обеспечивая его вращение. При дальнейшем повороте ротора, после истечения воды происходит совмещение верхнего отверстия рабочей полости с выходом нагнетателя, который обеспечивает продувку рабочей полости и заполнение ее воздухом.

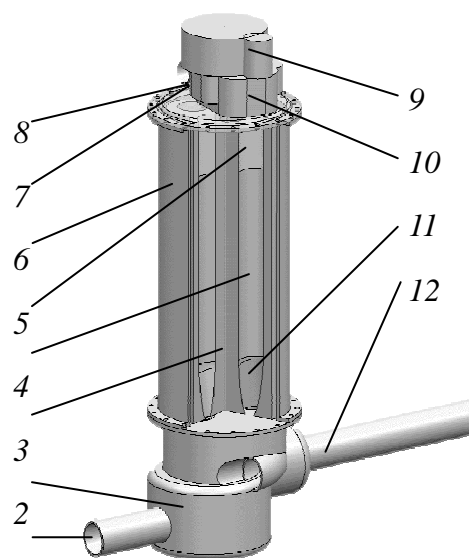


Рис. 1. Схема ПуГРД: 1 – входное устройство, 2 – насос, 3 – ротор с камерами сгорания и рабочими полостями, 4 – рабочая полость, 5 – термобарьерное покрытие, 6 – корпус, 7 – топливная форсунка, 8 – свеча зажигания, 9 – электростартер-генератор, 10 – нагнетатель, 11 – искривленный канал, 12 – выходное устройство

При термогазодинамическом и гидравлическом расчетах двигателя использована методика Московского авиационного института, апробированная при проектировании подобных двигателей, она создана на базе основных положений теории двигателей внутреннего сгорания (ДВС). По данной методике выполнено расчетное исследование, при расчете принято допущение о «квазистационарности» рабочих процессов, поэтому полученные результаты следует считать предварительными. Учитывая опыт МАИ и НПО «Сатурн» по пульсирующим двигателям, в которых при определенном сочетании параметров рабочих пульсаций возможно значительное увеличение тяги за счет присоединения внешней массы из окружающей среды, это допущение при расчетах позволяет иметь запас по тяге. На рис. 2 изображен расчетный цикл, по которому работает двигатель.

По результатам предварительного расчетного исследования можно выделить следующие основные конкурентные преимущества ПуГРД, по сравнению с ДВС, для конечного потребителя:

- меньший расход топлива (рис. 3, а);
- меньшая масса (рис. 3, б);

- возможность использования более дешевого топлива;
- пониженный уровень шума;
- меньший уровень выбросов вредных веществ в окружающую среду;
- увеличенный ресурс;
- меньшая цена двигателя.

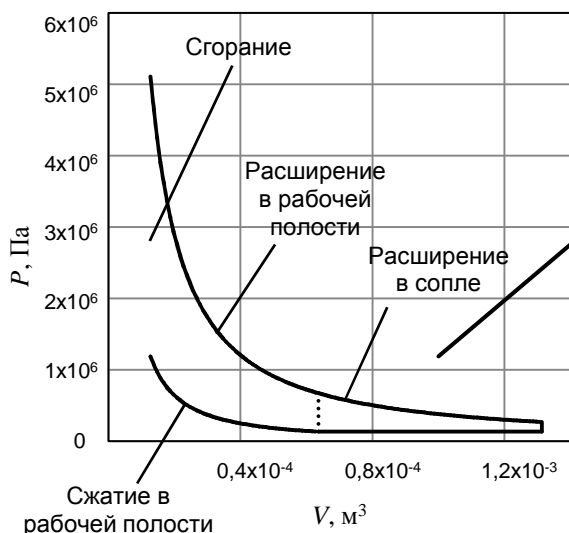


Рис. 2. Цикл ПуГРД

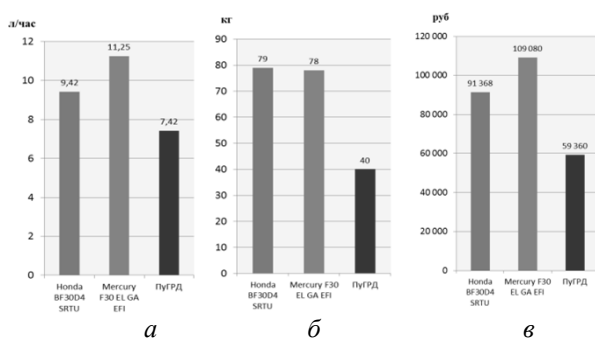


Рис. 3. Сравнение характеристик ДВС и ПуГРД: а – часовой расход топлива; б – сухая масса; в – годовая стоимость топлива и масла при интенсивном использовании

Создаваемый ПуГРД по предварительной оценке превосходит применяемые сегодня двигатели, что позволяет сделать оптимистичный прогноз относительно его конкурентоспособности. Следует отметить, что существующий уровень численного моделирования позволяет проводить комплексные исследования и оптимизацию рабочих процессов пульсирующих двигателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные опытные данные и теоретические расчеты, а также проведенные схемно-конструкторские проработки дают основание рассчитывать на существенное улучшение тягово-экономических и габаритно-массовых показателей, упрощение конструкции и снижение стоимости пульсирующих двигателей в сравнении с применяемыми на данный момент двигателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов В. И. Об освоении пульсирующего детонационного рабочего процесса в энергодвигательных установках // Известия РАН. Энергетика. 2007. № 2. С. 76–82.
2. Богданов В. И., Буракова Л. И. Оценка эффектов взаимодействия масс в пульсирующих реактивных двигателях по результатам экспериментальных исследований // Вестник РГАТА им. П. А. Соловьева. 2010. № 2. С. 89–94.
3. Богданов В. И., Ханталин Д. С. Расчетное исследование влияния ударно-волновых эффектов взаимодействия масс газа на тяговую эффективность пульсирующих реактивных двигателей // Вестник РГАТА им. П. А. Соловьева. 2010. № 2. С. 89–94.

ОБ АВТОРАХ

Новиков Андрей Вячеславович, асп. каф. авиац. двигателей РГАТУ. Дипл. инженер по авиац. двигателям и энергетическ. установкам (МАИ, 2010). Иссл. в обл. повышения эффективности реактивн. двигателей за счет присоединения массы повышен. плотн. в пульс. раб. процессе.

Ханталин Дмитрий Сергеевич, асп. той же каф. Дипл. инженер по авиац. двигателям и энергетическ. установкам (РГАТА, 2008). Иссл. в обл. явления присоединения масс газа в пульс. реакт. двиг. с исп. CFD технологий.

Богданов Василий Иванович, проф. той же каф. Дипл. инженер по самолетостроению (Новосибирск. ГТУ, 1972). Д-р техн. наук по тепловым, электроракетн. двигателям и энергоустановкам летательн. аппаратов (МАИ, 2004). Иссл. в обл. раб. процессов (вкл. пульсирующие) в авиац. ГТД.