

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ВСАСЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НАСОСОВ ЖРД

КБ химического машиностроения им. А.М. Исаева - филиал ФГУП "ГКНПЦ им. М.В. Хруничева":
Валерий Юрьевич Пиунов, заместитель генерального конструктора
Юрий Иванович Константинов, начальник сектора
Алексей Леонидович Кузнецов, инженер-конструктор
Юрий Николаевич Фабрин, начальник бюро, к.т.н.
Ирина Юрьевна Холопова, инженер-конструктор

Рассматриваются вопросы нового направления в проектировании насосов со сверхвысокими антикавитационными качествами и минимальными энергетическими затратами на обеспечение их необходимой всасывающей способности. Questions of the new direction in design of pumps with ultrahigh anti-cavitation qualities and the minimum power costs of ensuring their necessary soaking-up ability are considered.

Ключевые слова: кавитация в насосах ЖРД, насосы с высокими антикавитационными свойствами, ТНА, бустерные агрегаты.

Keywords: cavitation in pumps (Rocket Engines), pumps with high anti-cavitation properties, turbopump unit, busterly units.

Введение

Основными требованиями, предъявляемыми к жидкостным ракетным двигателям, являются показатели: надежность, экономичность и минимальные массогабаритные характеристики.

Одной из основных систем двигателя, влияющих на перечисленные показатели, является турбонасосная система подачи топлива (ТСПТ).

В современных двигателях ТСПТ должна обеспечивать давления в напорных магистралях двигателей, выполненных по "открытой" энергетической схеме, 200 атм и более, по "замкнутой" энергетической схеме - 450 атм и более.

Для обеспечения таких высоких давлений в напорных магистралях насосов с минимальными массогабаритными и экономичными характеристиками ТНА необходимы условия бескавитационной работы насосов при высоких оборотах ротора.

Неоценимый вклад в изучение процессов создания методик расчета и проектирования высокооборотных насосов внесли: В.Ф. Чебаевский, В.И. Петров, А.С. Шапиро, Б.В. Овсянников, А.П. Васильев, В.И. Мелашенко и др.

В настоящее время, для обеспечения бескавитационной работы насосов при минимальных давлениях в баках двигательной установки, применяются малонапорные насосные агрегаты, обеспечивающие необходимые давления на входах в основные насосы. К таким насосным агрегатам относятся:

- а) струйные насосы (эжекторы). Их основными недостатками являются значительные осевые размеры и низкий к.п.д.;
- б) бустерные ТНА. Основными недостатками применения этих агрегатов являются:

- значительное усложнение пневмогидравлической схемы двигателя из-за введения дополнительных агрегатов с сопутствующими системами управления и регистрации параметров;

- при запуске двигателя от автономного питания турбины основного ТНА бустерные насосы работают в турбинном режиме, т.е. являются сопротивлением на входах в основные насосы, так как рабочим телом турбин бустерных ТНА являются компоненты насосов, взятые из напорных магистралей основных насосов. Это при определенных условиях работы двигателя снижает его надежность.

В настоящей статье представлены новые направления в проектировании насосов со сверхвысокими антикавитационными качествами.

Авторы статьи выражают признательность академику РАК, д.т.н., профессору В.И. Петрову и инженеру И.В. Баньковской за научно-техническую помощь в написании статьи.

Новые направления развития ТСПТ разработки КБхиммаш им. А.М. Исаева

В середине 80-х годов в КБхиммаш им. А.М. Исаева было разработано новое направление повышения антикавитационных качеств шнекоцентробежных насосов для ЖРД.

Теоретической базой разработки нового направления послужили результаты научно-исследовательских работ, проводимых ранее предприятием в тесном сотрудничестве с соответствующими кафедрами МВТУ им. Н.Э. Баумана, его филиала в г. Калуга и МАИ им. Орджоникидзе.

Целью научно-исследовательских работ, подтвержденных экспериментами, было изучение гидродинамических процессов в проточной части высокооборотных насосов, где особое внимание уделялось вопросам кавитации.

Новое направление отличалось простотой конструктивного решения и качественно повышало всасывающую способность насоса. Кавитационный показатель, характеризующий всасывающую способность насосов Скр, был увеличен с 4000...5000 ед. до 8000 ед.

Принципиальная схема технического решения показана на рис. 1. Как видно из схемы технического решения, перед лопастью системой шнекоцентробежного насоса установлен дополнительно малоразмерный бустерный шнек, функция которого - повышение давления перед предвключенным шнеком. При этом наружный диаметр бустерного шнека выбран таким, чтобы скорость обтекания его входной кромки не превышала допустимого порога скорости для заданного давления компонента на входе в насос. Внедрение этого технического решения позволило создать в КБхиммаш им. А.М. Исаева двигатель тягой 10 тс по "замкнутой" схеме с энерго-массовыми характеристиками, не превзойденными до настоящего времени.

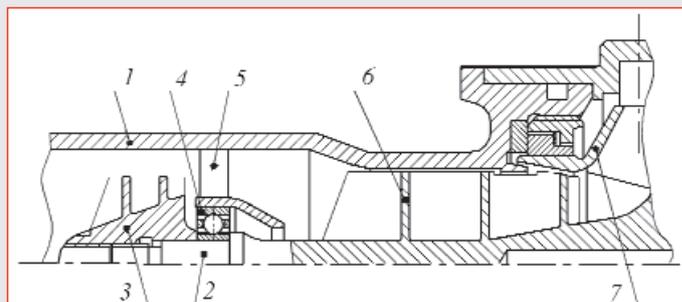


Рис. 1: 1 - корпус насоса, 2 - вал, 3 - бустерный шнек, 4 - подшипник, 5 - пилоны, 6 - предвключенный шнек, 7 - центробежное колесо

Так, например, масса ТНА, при давлениях компонентов за насосами 450 атм., составляет 14 кг (вместе с автономной пусковой турбиной).

Разработанное в КБхиммаш им. А.М. Исаева направление создания насосов со сверхвысокими кавитационными качествами получило признание как в нашей стране, так и за рубежом. Предприятие обладает авторскими свидетельствами СССР и зарубежными патентами США, Великобритании, Германии, Финляндии и др. стран.

За разработку и внедрение нового направления группа сотрудников предприятия и МГТУ им. Н.Э. Баумана была удостоена звания лауреатов премии Совета министров СССР в области энергетики.

Далее в развитие направления создания насосов со сверхвысокими антикавитационными качествами показаны конструктивные решения, направленные не только на повышение критического коэффициента быстроходности (Скр), но и на сокращение габаритов насоса и энергетических затрат, на повышение антикавитационных свойств насоса.

На рис. 2 показана конструкция насоса с радиальным входным патрубком, в котором установлена подшипниковая опора.

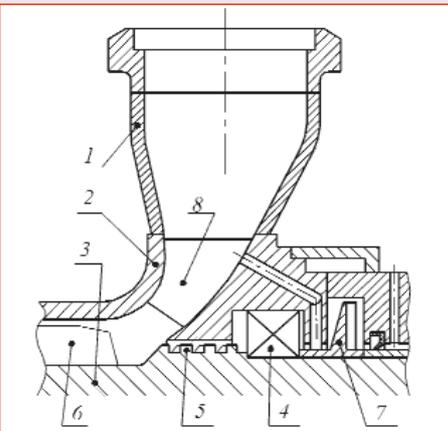


Рис. 2: 1 - входной патрубок, 2 - корпус, 3 - вал, 4 - подшипник, 5 - винтовой насос, 6 - предвключенный шнек, 7 - импеллер, 8 - пилоны

В разработанной конструкции в зазоре между корпусом-обтекателем подшипника и валом, проходящем через входной патрубок, установлен винтовой насос. Функциональное назначение винтового насоса - обеспечить дозированный расход охлаждающей жидкости через подшипник и повышение давления жидкости на входе в предвключенный шнек шнеко-центробежного насоса, выполняя функцию бустерного шнека. Техническое решение позволяет сократить осевые габариты насоса, а учитывая то, что винтовые насосы при малых расходах создают высокие напоры, повышается эффективность влияния его на антикавитационные качества насоса.

В 2011 г. патент по этому техническому решению удостоен диплома в номинации "100 лучших изобретений России".

На рис. 3 представлена конструкция насоса повышающая эффективность винтового насоса.

В представленной конструкции для повышения давления жидкости, идущей в винтовой насос, используется, через систему диффузоров и конфузоров, энергия жидкости, закрученная импеллером,

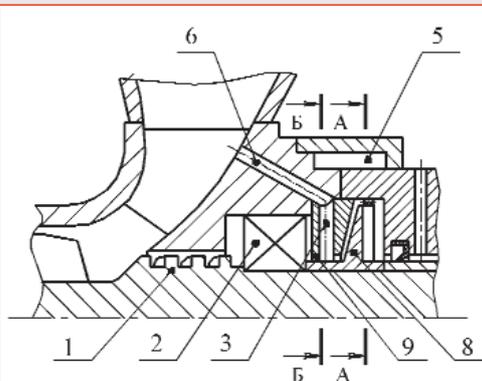


Рис. 3: 1 - винтовой насос, 2 - корпус, 3 - камера смешения, 4 - конфузторы, 5 - камера высокого давления, 6 - отверстия подвода жидкости в камеру смешения, 7 - диффузоры, 8 - импеллер, 9 - отверстия подвода жидкости

являющимся элементом системы уплотнения насоса по валу. Таким образом, повышается давление и за винтовым насосом.

Как известно, кавитационная каверна в шнеко-центробежных насосах образуется на наружном диаметре входной кромки шнека, и зависит, как от величины давления на входе в насос, так и от скорости её обтекания. Чем выше скорость обтекания кромки, тем ниже статическое давление жидкости в зоне её обтекания.

На рис. 4 показана конструкция насоса с осевым входом, в которой пилон, крепящие втулку подшипника установленного между бустерным и предвключенным шнеками, выполнены в виде спрямляющего аппарата.

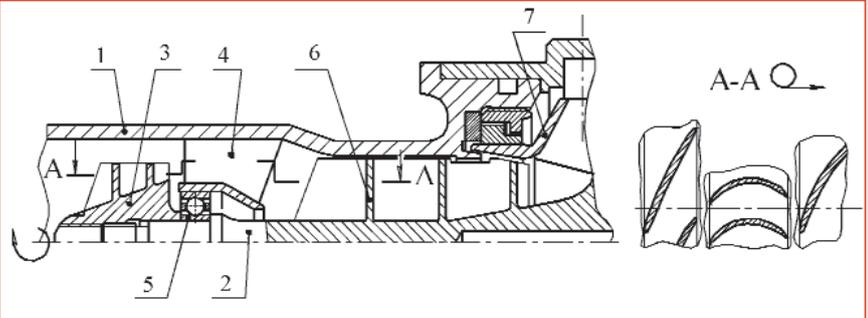


Рис. 4: 1 - корпус насоса, 2 - вал, 3 - бустерный шнек, 4 - пилон, 5 - подшипник, 6 - предвключенный шнек, 7 - центробежное колесо

Пилон представляет собой лопатки, входные и выходные концы которых загнуты по направлению вращения ротора насоса.

Угол установки входной части лопатки соответствует направлению абсолютной скорости потока жидкости после бустерного шнека. Угол установки выходной части лопатки согласован с расходной скоростью потока.

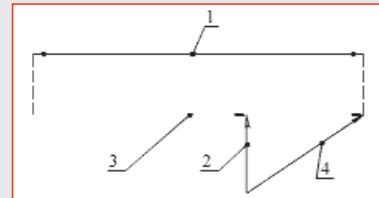


Рис. 5: 1 - окружная скорость входной кромки лопатки шнека, 2 - расходная скорость потока, 3 - относительная скорость обтекания входной кромки шнека, 4 - абсолютная скорость потока

План скоростей на входе в предвключенный шнек показан на рис. 5.

В представленной конструкции насоса энергия жидкости, полученная бустерным шнеком, с минимальными потерями переводится к предвключенному шнеку, тем самым повышает антикавитационные качества и к.п.д. насоса.

На рис. 6 показана конструкция шнекоцентробежного насоса, в которой для повышения антикавитационных качеств центробежного колеса и его КПД, используются утечки через щелевое уплотнение заднего бурта центробежного колеса, а в ТНА для замкнутых схем двигателя, через щель из полости гидрозатвора, разделяющего полости турбины и прилегающего насоса.

Жидкость из щелевых уплотнений через отверстия в ступице колеса поступает в приемную камеру, а затем в лопастную систему.

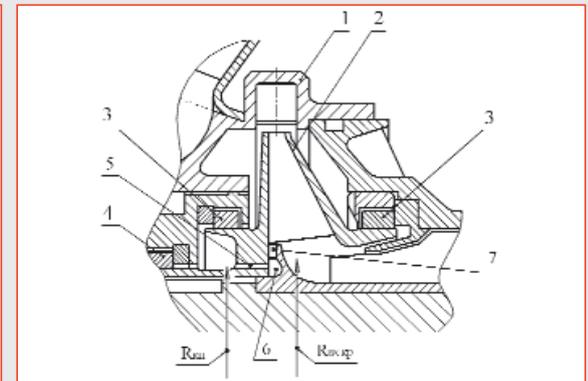


Рис. 6: 1 - корпус насоса, 2 - центробежное колесо, 3 - щелевые уплотнения заднего бурта, 4 - щелевое уплотнение полости гидрозатвора, 5 - отверстия перепуска, 6 - приемная камера, 7 - лопастная система обтекателя

Особый интерес представляет насос с комбинированной системой технических решений, направленных на повышение всасывающей способности. В насосе кроме бустерного шнека и спрямляющего аппарата применен щелевой эжектор с "точной" подачей активной жидкости.

На рис. 7 показана конструкция такого насоса с радиальным входным патрубком.

В разработанной конструкции лопатки спрямляющего аппарата выполнены пустотелыми с разгонными участками и щелевыми критическими сечениями. Жидкость из напорной магистрали насоса поступает в пустотелые полости лопаток, разгоняется, а за тем, через критические сечения с нужным направлением поступает на вход в предвключенный шнек.

Представленная конструкция простая в исполнении, экономичная и позволяет практически обеспечить любую всасывающую способность насоса.

Выводы

3.1 Представленные в статье конструкции насосов разработкой КБхиммаш им. А.М. Исаева являются новым направлением в проектировании насосов со сверхвысокими антикавитационными качествами и на данный момент определяют мировой технический уровень развития ракетного насосостроения.

3.2 Использование технических решений нового направления позволяет проектировать малогабаритные насосы со сверхвысокими антикавитационными качествами и с минимальными энергетическими затратами на обеспечение их необходимой всасывающей способности. Эти насосы значительно повышают надежность двигателя благодаря исключению из его пневмогидравлической схемы бустерных агрегатов с их системами управления и регистрации.

3.3 Технические решения позволяют модернизировать серийно изготовленные двигатели с минимальными материальными затратами, так как затрагиваются только входные устройства насосов.

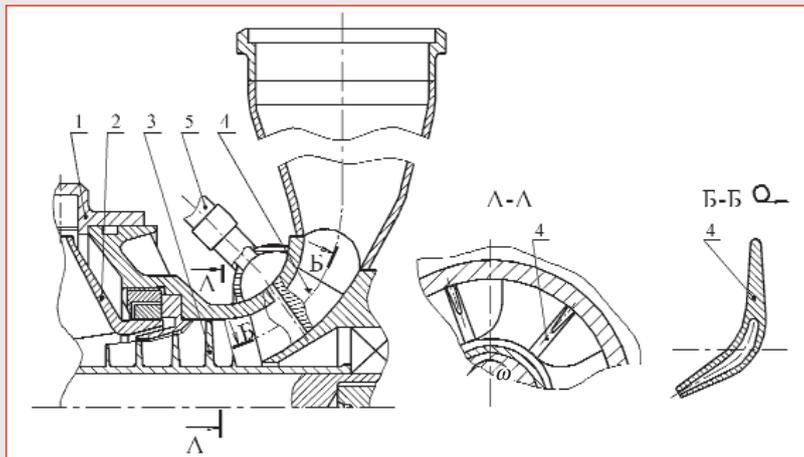


Рис. 7: 1 - корпус насоса, 2 - центробежное колесо, 3 - шнек, 4 - лопатки спрямляющего аппарата, 5 - трубопровод подвода активной жидкости

Литература

1. А.С. 693734 (СССР). Шнекоцентробежный насос / Л.Ф. Калашников, Р.И. Константинов, В.В. Николаев, А.С. Шапиро // - 1979.
2. Патент 2412378 (РФ). Лопастной насос / Р.И. Константинов, В.Ю. Пиунов, Ю.Н. Фабрин, И.Ю. Холопова и др. // БИ.-2011-№5.
3. Патент 2462621 (РФ). Лопастной насос / Р.И. Константинов, И.Ю. Холопова и др. // БИ.-2012-№27.
4. Шнекоцентробежный насос / А.И. Каширин, Р.И. Константинов, А.Л. Кузнецов, Ю.Н. Фабрин, И.Ю. Холопова // Заявлено 12.03.2013 № 2013111270.
5. Центробежный насос / Р.И. Константинов, А.Л. Кузнецов, В.Ю. Пиунов, Ю.Н. Фабрин, И.Ю. Холопова // Заявлено 18.10.2011 № 2011142121.
6. Лопастной насос / Р.И. Константинов, В.Ю. Пиунов, М.И. Позняк, Ю.Н. Фабрин, И.Ю. Холопова // Заявлено 15.06.2012 № 2012125018.

Связь с автором: kbhimmash@korolev-net.ru

ИНФОРМАЦИЯ: Интерактивная фотореалистичная визуализация 3D-моделей

Компания "Топ Системы" сообщает о создании собственного модуля интерактивной генерации фотореалистичных изображений в готовящейся к выходу 14-й версии флагманского продукта T-FLEX CAD. Уникальная российская разработка основана на программном движке NVIDIA OptiX, обеспечивающем интерактивную трассировку лучей на графических процессорах NVIDIA.

Возможность создания фотореалистичных моделей становится все более и более востребована в промышленном дизайне. Работа с цифровыми моделями позволяет снизить стоимость разработки прототипов, повысить качество проектов и ускорить выход готовых продуктов на рынок. Между тем, большинство российских и зарубежных приложений для проектирования не располагают подобной функцией. В рамках подготовки к выпуску новой версии параметрической системы автоматизированного проектирования и черчения T-FLEX CAD разработчики компании особое внимание уделили подсистеме визуализации трёхмерных моделей и разработали собственный модуль генерации фотореалистичных изображений.

Новый модуль основан на технологии

NVIDIA OptiX, использующей вычислительные ресурсы графических процессоров с поддержкой архитектуры NVIDIA CUDA. Он предназначен для генерации качественных фотореалистичных изображений с учётом таких свойств материала, как прозрачность, коэффициент преломления, свойства поверхности и т.д. Ультрабыстрая трассировка лучей на процессорах NVIDIA позволяет сделать процесс создания изображений по-настоящему интерактивным.

Модуль генерации фотореалистичных изображений полностью интегрирован в систему T-FLEX CAD. Он позволяет мгновенно оценивать внесённые изменения, как в модель, так и в свойства сцены - освещение, окружение и т.д. В комбинации с мощнейшими параметрическими возможностями системы, данный модуль должен стать эффективным пользовательским инструментом для подготовки технических иллюстраций и маркетинговых материалов на разрабатываемые изделия.

При работе с системой генерируемое фотореалистичное изображение выводится в специальное окно системы, в которое картинка выводится в реальном времени, без каких-ли-

бо задержек. При изменении модели можно обновить картинку нажатием одной кнопки, увидев изменения с теми же настройками сцены. В этом окне доступны все элементы пользовательского интерфейса T-FLEX CAD - главное меню, панели кнопок, главная панель. Модель в окне можно вращать мышью, как это делается в обычном 3D окне. В то время как, постепенно улучшаясь, генерируется изображение, в другом окне модель можно дорабатывать или редактировать.

Новый механизм фотореалистичной визуализации, выполненный с применением технологий NVIDIA, будет доступен пользователям в 14-й версии системы T-FLEX CAD в конце текущего года.

