

УДК 621.454.2.043

А.Н. ШЕМЕНТОВ, Л.Ф. ИВЧЕНКО

Государственное предприятие "Конструкторское бюро "Южное" им. М.К. Янгеля",
Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШНЕКОЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА ОКИСЛИТЕЛЯ ДВИГАТЕЛЯ РД861К

В статье изложены результаты экспериментальной отработки и геометрические особенности вариантов проточной части предвключенного шнека шнекоцентробежного насоса окислителя двигателя РД861К, а также его прототипа. Согласно представленным работам был получен насос с высокими антикавитационными показателями - кавитационный коэффициент быстроходности Руднева S_{KR} для проектируемого насоса составил ~ 5500 . Представлены конструктивные изменения, позволившие значительно улучшить энергетические характеристики насоса и повысить удельный импульс двигателя РД861К.

Ключевые слова: агрегаты системы питания ЖРД, кавитация, прототип, антикавитационные свойства.

Введение

Современный рынок ракетносителей формирует следующие требования к жидкотопливным ракетным двигателям (ЖРД):

- высокая надежность согласно требуемым условиям эксплуатации;
- высокие энергомассовые показатели, позволяющие увеличить массу полезной нагрузки;
- высокий ресурс и обеспечение многократности запусков;
- низкая стоимость изготовления и отработки.

С учетом представленных требований в "Конструкторское бюро "Южное" был разработан двигатель РД861К открытой схемы с насосной системой подачи ракетносителя «Циклон-4».

Выделим некоторые основные аспекты, которые были рассмотрены при проектировании агрегатов системы подачи двигателя:

- надежность ЖРД напрямую связана с антикавитационными свойствами насосов, поэтому современные насосы ЖРД должны обладать высокими антикавитационными свойствами;
- экономические показатели насосов влияют на расход газа через турбину, что определяет удельный импульс двигателя. Насосы двигателя РД861К должны обладать высокими энергетическими показателями, что позволяет обеспечить высокое значение удельного импульса двигателя открытой схемы. Изменение КПД насоса окислителя двигателя РД861К на 1% приводит к изменению удельного импульса на $\sim 0,04$ сек;

- для обеспечения низкой стоимости изготовления и отработки при проектировании современного ЖРД наиболее эффективным путем является заимствование отработанных высоконадежных узлов и агрегатов.

Выбор прототипа обуславливает конфигурацию, характеристики, время и стоимость отработки будущего ЖРД.

Постановка задачи исследования

На начальном этапе конструкция насоса окислителя двигателя РД861К ракетносителя «Циклон-4» была полностью заимствована из высоконадежного шнекоцентробежного насоса окислителя двигателя РД861. Проточная часть насоса - прототипа имеет следующую особенность - в ущерб экономическим показателям проточная часть центробежного колеса базового насоса имеет перерасширенный вход, что улучшает кавитационные характеристики насоса окислителя и повышает надежность агрегата.

Номинальное значение режимного параметра (Q/n) насоса - прототипа, характеризующее режим работы насоса и обусловленное режимом работы двигателя, выше значения (Q/n) для насоса РД861К, что приводит к трудностям обеспечения, предъявляемых к насосу требований.

Согласно гидравлическим характеристикам, полученным при отработке насоса - прототипа, снижение режимного параметра (Q/n) приводит:

- к снижению экономического показателя насоса (КПД) – более чем на 5% ниже минимального

требуемого значения для проектируемого насоса;

- к значительному росту значения приведенного напора (H/n^2) - более чем на 15% выше требуемого значения для разрабатываемого насоса. Для получения требуемого значения (H/n^2) необходимо значительно обтачивать центробежное колесо по наружному диаметру лопаток, что также приводит к снижению полного КПД насоса.

Представленные обстоятельства носят отрицательный характер, особенно если учитывать, что рассматриваемый двигатель выполнен по открытой схеме.

Однако, снижение режимного параметра, для данного насоса, также приводит и к улучшению кавитационных характеристик. Согласно кавитацион-

ной характеристике насоса – прототипа, представленной на рис. 1, снижение режимного параметра приводит к снижению значения приведенного критического кавитационного запаса ($\Delta h/n^2$) на входе в насос и соответствующему росту значения кавитационного коэффициента быстроходности Руднева (C_{KR}). Значение C_{KR} при номинальном режимном параметре составляет ~ 4900 , что достаточно высоко для данной размерности насоса. Согласно кавитационной характеристике насоса – прототипа ожидаемое значение C_{KR} , получаемое за счет уменьшения режимного параметра (Q/n), составляет ~ 5900 , что значительно превышает требования технической документации.

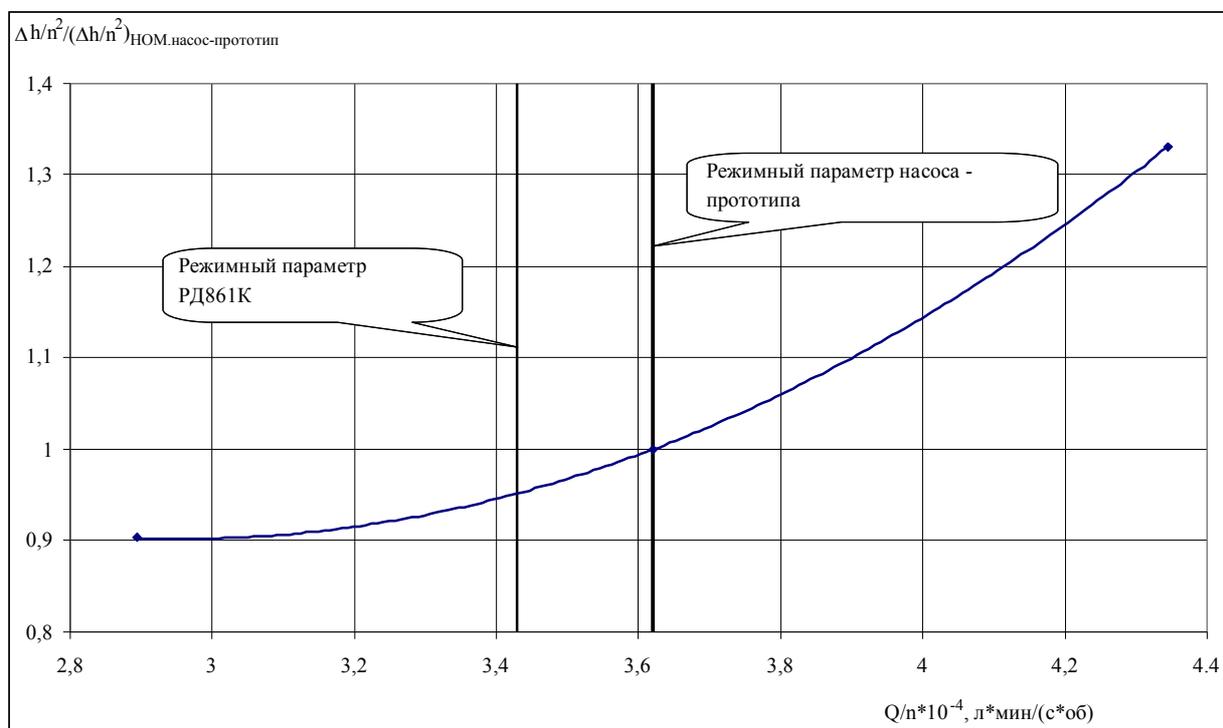


Рис. 1. Зависимость изменения кавитационного запаса на входе в насос от режимного параметра (Q/n) для насоса - прототипа

Результаты экспериментальных исследований

В результате экспериментальной отработки насоса прототипа при новом значении режимного параметра (Q/n), как и предполагалось, были получены неудовлетворительные энергетические и хорошие кавитационные показатели. Доработки элементов проточной части и вспомогательных трактов насоса - прототипа, не приводящие к дорогостоящему изменению технологического процесса изготовления, не обеспечили требуемое значение КПД, поэтому было принято решение изменить проточную часть

насоса.

Изменения проточной части разрабатываемого насоса были направлены на улучшение экономических показателей за счет допустимых ухудшений антикавитационных свойств насоса, которые не должны отразиться на надежности двигателя. Для обеспечения необходимых требований к экономичности насоса был уменьшен диаметр на входе в центробежное колесо и наружный диаметр шнека, что, как известно, приводит к ухудшению антикавитационных показателей центробежного колеса и насоса в целом.

Согласно предварительной расчетной оценке

напор, создаваемый шнеком насоса - прототипа, оказался недостаточным для безкавитационной работы центробежного колеса с уменьшенным диаметром входа. Поэтому была изменена вся входная часть насоса, в том числе и проточная часть шнека. Вместо вставного шнека постоянного шага и постоянного наружного диаметра были спрофилированы и изготовлены два варианта вставных шнеков переменного шага и диаметра. Отличительной особенностью проточной части каждого из вариантов шнеков является значение шага на выходе. Шнеки в новых вариантах исполнения шага на выходе были также и с меньшими наружными диаметрами на входе и выходе, а также большим шагом на входе, чем у прототипа. Особенности конструкций рассматриваемых вариантов шнеков и шнека прототипа представлены в табл. 1.

Ожидаемое некоторое ухудшение антикавитационных качеств центробежного колеса было компенсировано оптимизацией напорной и кавитационной характеристики предвключенного шнека. При

этом ожидаемое расчетное значение кавитационного коэффициента Руднева для комплектации насоса вариантным шнеком №1, при номинальном значении режимного параметра (Q/n) для двигателя РД861К, составило ~4000, для комплектации насоса вариантным шнеком №2- ~5100.

В результате автономных гидравлических испытаний насосов было установлено, что в обоих вариантах исполнения проточной части шнека обеспечиваются требуемые, согласно технической документации, кавитационные свойства. При этом шнек, как это видно из рис. 2, в варианте исполнения с меньшим шагом на выходе (вариант №1) обладал очень высокими антикавитационными показателями в сравнении с другим вариантом исполнения и шнеком прототипа. Также, в результате отработки насоса на модельной жидкости, было установлено, что кавитационный коэффициент быстроходности Руднева для шнека с первым вариантом исполнения проточной части был увеличен до ~5500 при номинальном значении режимного параметра (Q/n).

Таблица 1

Особенности проточной части шнеков

№ варианта	Шаг на входе в шнек, м	Шаг на выходе из шнека, м	Наружный диаметр на входе в шнек, м	Наружный диаметр на выходе из шнека, м
Прототип	0,024		0,0502	
Вариант №1	0,0253	0,0359	0,049	0,0433
Вариант №2		0,049		

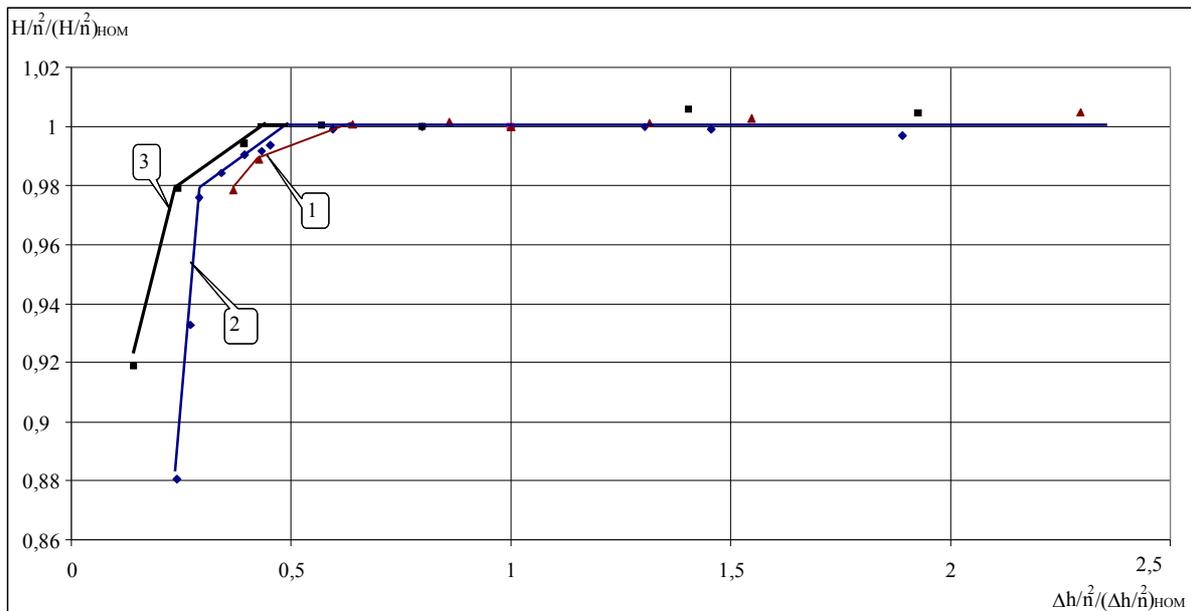


Рис. 2. Кавитационные характеристики насосов прототипа и новых вариантов исполнения проточной части, полученные при гидравлических испытаниях:
 1 – насос укомплектован вариантным шнеком №2; 2 – характеристика насоса – прототипа;
 3 – насос укомплектован вариантным шнеком №1

Представленное значение кавитационного коэффициента быстроходности Руднева было подтверждено в результате огневых испытаний в составе двигателя. Расчетное значение кавитационного коэффициента Руднева для комплектации насоса вариантным шнеком №2 было подтверждено гидравлическими испытаниями.

Заключение

Отработка насоса показала, что насос – прототип обладает лучшими антикавитационными качествами, чем разрабатываемый насос, при значениях (Q/n) отличных от номинального. Как видно из рис. 3 кавитационная характеристика насоса в комплектации шнеком варианта исполнения №1 имеет меньший кавитационный запас, чем прототип в диапазоне изменения режимного параметра $(3 - 3,54) \cdot 10^{-4} \text{ л} \cdot \text{мин}^2 / \text{об}^2 \cdot \text{с}$, однако его антикавитационные свойства более «чувствительны» к изменению режимного параметра по сравнению с насосом – прототипом. Согласно приведенному диапазону изменения режимного параметра разрабатываемого насоса, он обладает лучшими антикавитационными качествами, чем насос – прототип на всех режимах работы двигателя РД861К предусмотренных технической документацией.

Представленные изменения проточной части

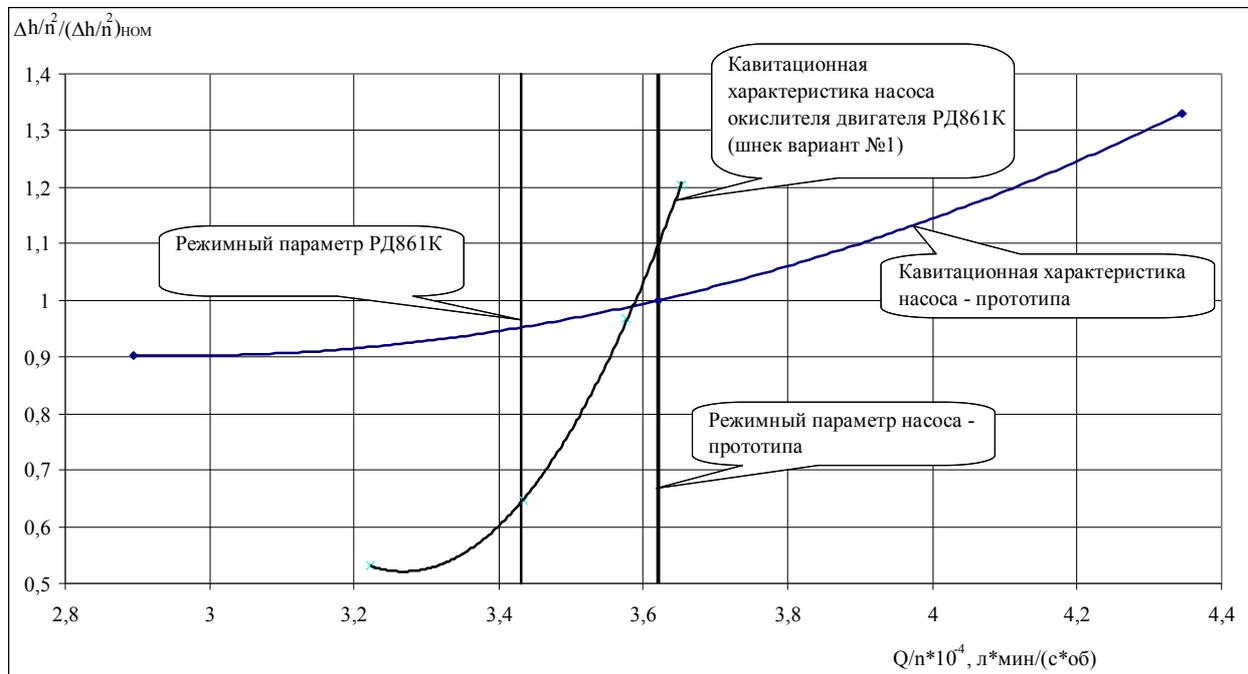


Рис. 3. Зависимость изменения кавитационного запаса на входе в насос от режимного параметра (Q/n) для прототипа и первого варианта исполнения проточной части шнека

шнекоцентробежного насоса привели к существенному улучшению как энергетических, так и кавитационных показателей, что расширяет границы эксплуатации рассматриваемого насоса. Изменения проточной части центробежного колеса насоса окислителя привели к росту удельного импульса двигателя РД861К на 0,25 сек. Полученный, в результате экспериментальной отработки, опыт может быть использован при разработке шнекоцентробежных насосов ТНА ЖРД с высокими экономическими и антикавитационными качествами.

Литература

1. Боровский, Б.И. Энергетические параметры и характеристики высокооборотных лопастных насосов [Текст] / Б.И. Боровский. - М.: Машиностроение, 1989. - 184 с.
2. Овсяников, Б.В. Теория и расчет агрегатов питания жидкостных ракетных двигателей [Текст] / Б.В. Овсяников, Б.И. Боровский. - М.: Машиностроение, 1986. - 376 с.
3. Высокооборотные лопаточные насосы [Текст] / Б.И. Боровский, Н.С. Ершов, Б.В. Овсяников, В.И. Петров и др. - М.: Машиностроение, 1975. - 336 с.

Поступила в редакцию: 25.06.2012, рассмотрена на редколлегии 16.01.2013

Рецензент: д-р техн. наук, начальник сектора В.С. Хорошилов, Государственное предприятие "Конструкторское бюро "Южное" им. М.К. Янгеля", Украина.

ДОСЛІДЖЕННЯ КАВІТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШНЕКОВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ ОКИСЛЮВАЧА ДВИГУНА РД861К

А.М. Шементов, Л.Ф. Івченко

В статті розглянуто результати експериментальної відробки та геометричні особливості варіантів проточної частини предвключеного шнеку шнековідцентрового насоса окислювача двигуна РД861К, а також його прототипу. Згідно приведеним роботам було отримано насос з високими антикавітаційними показниками – кавітаційний коефіцієнт Руднева проектуємого насоса складає $S_{кр}=5500$. Зображено конструктивні зміни, які дозволили значно покращити енергетичні характеристики насоса та підняти питомий імпульс двигуна РД861К в цілому.

Ключові слова: агрегати системи живлення, кавітація, прототип, антикавітаційні показники.

CAVITATION PERFORMANCE ANALYZE OF THE INDUCER-CENTRIFUGAL OXIDIZER PUMP OF THE RD861K ENGINE

A.N. Shementov, L.F. Ivchenko

Results of experimental development and geometrical features of inducer passage variants for the inducer-centrifugal oxidizer pump of the RD861K engine and its prototype are presented. According to presented works pump with a high anti-cavitation properties (Rudnev's cavitation characteristic for this pump is $S_{кр}=5500$) was obtained. There are described a structural changes, which allows to improve pump's power characteristics and to raise specific impulse of RD861K engine in whole.

Key words: LPRE pump, Cavitation, main construction, anti-cavitation properties.

Шементов Андрей Николаевич – ведущий инженер-конструктор отдела турбонасосных агрегатов, Государственное конструкторское бюро «Южное», Украина.

Івченко Леонид Федорович – начальник отдела турбонасосных агрегатов, Государственное конструкторское бюро «Южное», Украина.