

УДК 621.452.2.043+621.822

В.Н. ШНЯКИН, В.А. ШУЛЬГА, В.И. КОНОХ, А.И. ЖИВОТОВ, А.В. ДИБРИВНЫЙ*Государственное предприятие КБ "Южное" им. М.К. Янгеля, Днепропетровск, Украина***ОПТИМИЗАЦИЯ ТИПА СИСТЕМЫ ПОДАЧИ ЖДУ КОСМИЧЕСКОГО БУКСИРА ПО КРИТЕРИЮ СУММАРНОГО ИМПУЛЬСА ТЯГИ**

ГП КБЮ разработало оригинальную технологию – пневмонасосную подачу компонентов топлива. Эта технология была применена в двигательной установке ДУ-802 автономного космического буксира «Кречет», который разработан ГП КБЮ для конверсионной РН «Днепр». Учитывая повышенный интерес к ДУ802 было проведено исследование области применения пневмонасосной системы подачи топлива с учетом ее энергомассовой эффективности. Исследования проводились по критерию суммарного импульса тяги ДУ. Для сравнения были рассмотрены двигательные установки с турбонасосной, вытеснительной и пневмонасосными системами подачи топлива. В статье приведены результаты данных исследований.

Ключевые слова: *двигательная установка ДУ-802, пневмонасосная подача топлива, автономный космический буксир "Кречет", ракета-носитель "Днепр".*

Введение

В докладах, сделанных в 2007 и 2008 годах на XII и XIII Международных конгрессах двигателестроителей, были представлены результаты проектирования и испытаний двигательной установки ДУ802 автономного космического буксира «Кречет» для конверсионной РН «Днепр» [1, 2]. В составе указанной двигательной установки используется принципиально новая пневмонасосная система подачи компонентов топлива. На рис. 1 представлен внешний вид двигательной установки ДУ802.

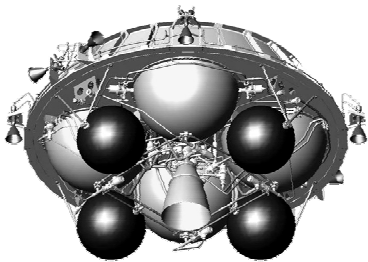


Рис. 1. Двигательная установка ДУ802

В указанных докладах отмечались два основных преимущества двигательной установки с пневмонасосной системой подачи по сравнению с известными, ставшими классическими, вытеснительной и турбонасосной. Баки в ДУ с ПНА находятся под низким давлением как в ДУ с турбонасосной системой. Для подачи компонентов топлива необходимо газа в ~1,5 раза меньше чем для вытеснительной системы подачи за счет его подогрева от работающей камеры двигателя перед подаче в ПНА. Точность поддержания соотношения компонентов топлива < 0,5% с учетом разности температур ком-

понентов топлива 2 – 3 °С (это не обеспечивается ни одной из известных систем регулирования).

Учитывая повышенный интерес к ДУ802, было проведено исследование области применения пневмонасосной системы подачи топлива с учетом ее энергомассовой эффективности.

1. Постановка задачи

Выбор того или иного способа подачи компонентов топлива проводится обычно путем сравнения их энергомассовых характеристик, основой которых являются суммарный импульс тяги и масса ДУ. Целью проведенных исследований являлось получение следующей зависимости:

$$M_{\text{ду}} = f(I_{\Sigma}), \quad (1)$$

где $M_{\text{ду}}$ – масса двигательной установки; I_{Σ} – суммарный импульс тяги ДУ.

Выполнено сравнение пневмонасосной системы подачи топлива с классическими турбонасосной и вытеснительной подачами топлива.

Масса ДУ определялась по зависимости [3]:

$$M_{\text{ду}} = \sum M_i, \quad (2)$$

где M_i – масса элемента, входящего в ДУ.

Массы составных частей ДУ можно условно разделить на две группы:

1. Элементы, массы которых зависят от принятой схемы ДУ (не зависят от суммарного импульса) – камера двигателя, агрегаты автоматики, детали общей сборки, агрегаты подачи. Масса указанных элементов принималась на основании обобщения имеющихся конструкций.

Рассмотренные принципиальные схемы ДУ приведены на рис. 2.

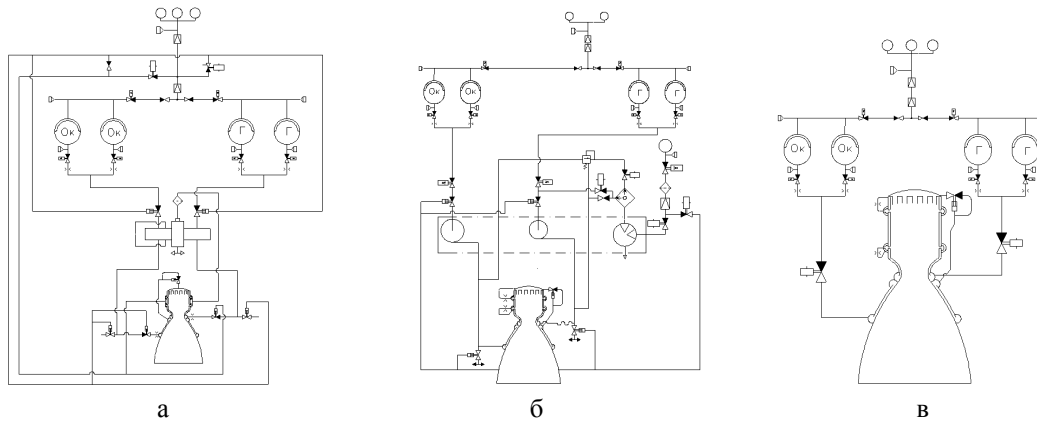


Рис. 2. – ПГС ЖДУ: а – с ПНА; б – с ТНА; в – с вытеснительной подачи

2. Элементы, масса которых изменяется при изменении суммарного импульса - топливные баки, шарбаллоны, бортовой запас газа наддува.

Масса элементов второй группы может быть определена по следующим зависимостям [4]:

- масса газа, необходимого для наддува топливных баков:

$$M_{\text{газ_над}} = \frac{P_{\text{бак}} \cdot V_{\text{бак}}}{R_{\text{газ}} \cdot T_{\text{газ}}}; \quad (3);$$

- масса газа, необходимого для привода ПНА:

$$M_{\text{газ_пна}} = \frac{\Delta P_{\text{max}} \cdot V_{\text{топ}}}{R_{\text{газ}} \cdot T_{\text{газ}} \cdot \eta}; \quad (4);$$

- масса топливных баков (для сфероцилиндрического бака):

$$M_{\text{тоб}} = n_{\text{тоб}} \cdot \left(\left(2 \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{r^3 \cdot P_{\text{бак}}}{2 \cdot \sigma_{\text{в}}} \cdot \gamma \right) + \left(2 \cdot \pi \cdot h \cdot \frac{r^2 \cdot P_{\text{бак}}}{\sigma_{\text{в}}} \cdot \gamma \right) \right) \cdot 1,2 \right) \cdot v, \quad (5)$$

где $P_{\text{бак}}$ – давление в баке; ΔP_{max} , η – максимальный напор и КПД ПНА; $V_{\text{бак}}$ и $V_{\text{топ}}$ – объем бака и топлива, проходящий через ПНА; $R_{\text{газ}}$ и $T_{\text{газ}}$ – параметры газа; r и h – радиус бака и высота цилиндрического сегмента топливного бака; γ и $\sigma_{\text{в}}$ – характеристики материала.

2. Результаты исследований

Результаты проведенных исследований показаны на ри. 3. Как видно из приведенной зависимости пневмонасосная подача топлива занимает промежуточное положение и однозначно превосходит по массовому совершенству вытеснительную.

Это достигается благодаря меньшей массе топливных баков, меньшему бортовому запасу газа и массе баллонов для его размещения.

Применение турбонасосной системы подачи топлива более рационально при больших импульсах

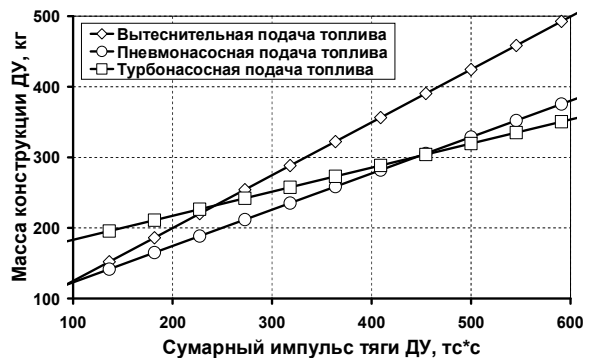


Рис. 3. Область применимости ПНА

тяги (более 500 тс с) так как в этом случае значительно возрастает масса газа, необходимого для привода ПНА и, как следствие, шарбаллонов необходимых для его размещения.

Дальнейшее совершенствование пневмонасосной подачи топлива возможно путем применения баллонов, изготовленных из современных конструкционных материалов и увеличения подогрева газа, идущего на привод ПНА.

При выборе принципиальной схемы двигательной установки учитываются также и следующие критерии:

1. *Состояние разработки и степень отработанности* – маршевый двигатель с ПНА для двигательной установки ДУ802 в настоящее время прошел практически полный цикл автономной отработки.

2. *Надежность* – наиболее надежными являются вытеснительная и пневмонасосные системы подачи в виду их конструктивной простоты.

3. *Стоимость разработки и изготовления* – по сравнению с вытеснительной подачей стоимость ДУ с ПНА будет незначительно выше (сказывается наличие в ее составе дополнительного агрегата – ПНА), однако стоимость ДУ с ТНА при прочих равных условиях будет значительно выше. Кроме того, по сравнению с турбонасосной подачей могут быть

существенно сокращены сроки проведения отработки двигателя.

Заключение

Применение оригинальной технологии, разработанной ГП КБЮ – пневмонасосной подачи компонентов топлива целесообразно при суммарном импульсе тяги до 500 тс с.

Применение турбонасосной системы подачи топлива более рационально при больших импульсах тяги (более 500 тс с).

Пневмонасосную подачу топлива рационально применять в космических проектах, которые строятся по принципу минимальных затрат.

Литература

1. Дібрівний О.В. Конструктивні особливості двигунної установки що забезпечують керуваність АКБ «Кречет» / О.В. Дібрівний і др. // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2007. – № 7/43. – С. 211-214.

2. Дібрівний О.В. Результати відпрацювання системи забезпечення синхронізації витрати палива з баків двигунної установки ДУ-802 космічного буксиру / О.В. Дібрівний // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2008. – № 10/57. – С. 88-92.

3. Добровольский В.М.. *Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования* / В.М. Добровольский – М.: Машиностроение, 1968. – 256 с.

4. Беляев Н.М. *Пневмогидравлические системы. Расчет и проектирование* / Н.М. Беляев - М. Высшая школа, 1988. – 110 с.

Поступила в редакцию 1.06.2010

Рецензент: д-р техн. наук В.А. Габриец, Национальная академия государственного управления при Президенте Украины. Днепропетровск.

ОПТИМІЗАЦІЯ ТИПУ СИСТЕМИ ПОДАЧІ РДУ КОСМІЧНОГО БУКСИРА ЗА КРИТЕРІЄМ СУМАРНОГО ІМПУЛЬСУ ТЯГИ

В.М. Шнякін, В.А. Шульга, В.І. Конох, О.І. Животов, О.В. Дібрівний

ДП КБП розробило оригінальну технологію – пневмонасосну подачу компонентів палива. Ця технологія була застосована в двигунній установці ДУ-802 автономного космічного буксира «Кречет», що розроблений ДП КБП для конверсійної РН «Дніпро». З огляду на підвищений інтерес до ДУ-802 було проведено дослідження області застосування пневмонасосної системи подачі палива з обліком її енергомасової ефективності. Дослідження проводилися за критерієм сумарного імпульсу тяги ДУ. Для порівняння були розглянуті рухові установки з турбонасосною, витіснювальною і пневмонасосними системами подачі палива. У статті наведені результати даних досліджень.

Ключові слова: двигунна установка ДУ-802, пневмонасосна подача палива, автономний космічний буксир "Кречет", ракета-носій "Дніпро".

FEED SYSTEM TYPE OPTIMIZATION OF THE LIQUID PROPULSION SYSTEM OF A SPACE TUG BY SUM PROPULSIVE BURN CRITERION

V.N. Shnykin, V.A. Shulga, V.I. Konokh, A.I. Zhyvotov, A.V. Dybrivny

YSDO has developed an original technology – a pneumatic pump fuel feed. This technology was used in the propulsion system DU-802 of an Autonomous Space Tug Krechet, which was designed by YSDO for the Dnepr conversion launcher. Considering increased interest in DU-802 a research in field of using a pneumatic pump fuel feed subject to power-mass effectiveness was conducted. Research was carried out by the summary propulsive burn criterion of the propulsion system. Propulsion systems using turbopump, pressurized and pneumatic pump fuel feed systems have been compared. The results of these researches are shown in the article.

Key words: propulsion system, DU-802, pneumatic pump fuel feed, Autonomous Space Tug Krechet, DneprLV.

Шнякин Владимир Николаевич - канд. техн. наук, заместитель Генерального конструктора ГП «КБ «Южное» – Главный конструктор КБ ракетных двигателей, Днепропетровск, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.

Шульга Владимир Андреевич - канд. техн. наук, начальник отдела общей сборки ГП «КБ «Южное», Днепропетровск, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.

Конох Владимир Иванович - канд. техн. наук, начальник отдела агрегатов автоматики ЖРД ГП «КБ «Южное», Днепропетровск, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.

Животов Александр Иванович – начальник сектора отдела общей сборки ГП «КБ «Южное», Днепропетровск, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.

Дибривный Александр Валериевич – начальник группы отдела общей сборки ГП «КБ «Южное», Днепропетровск, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.