

УДК 621.454.2.043:531.41

В. И. КОНОХ, И. И. КАЛИНИЧЕНКО, И. Н. ГОРДИЕЦ, В. В. МИКОЛАЕВСКИЙ*Государственное предприятие “Конструкторское бюро “Южное” им. М. К. Янгеля”*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ПНЕВМОНАСОСНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Проведены исследования поршневого пневмонасосного агрегата (ПНА) двухстороннего действия для системы подачи топлива космического аппарата, работающего на компонентах топлива АТ и ММГ (НДМГ). Диапазон изменения суммарных расходов компонентов топлива через ПНА определяется режимами работы маршевого двигателя и рулевых двигателей малой тяги и составляет 100...240 г/с. Проанализированы факторы, влияющие на коэффициент полезного действия (КПД). Теоретически и экспериментально определены КПД двухкомпонентного ПНА на разных режимах работы. Максимальная несходимость расчетного и экспериментального значений КПД не превышает 4 %.

Ключевые слова: *двигательная установка, пневмонасосная система подачи, пневмонасос, КПД.*

Введение

В последнее время в жидкостных двигательных установках космических аппаратов широко применяется вытеснительная система подачи топлива. Она является наиболее простой и надежной, но обладает двумя принципиальными недостатками – топливные баки работают при относительно высоких давлениях и ЖРД имеет значительный разброс соотношения компонентов топлива. Высокое давление в баках приводит к их переутяжелению, большие разбросы соотношения компонентов к увеличению гарантийных запасов топлива.

Известна новая система подачи топлива [1] – пневмонасосная. Она занимает свою отдельную нишу (в зависимости от тяги двигательной установки) на стыке между вытеснительной и турбонасосной системами подачи компонентов топлива и однозначно превосходит их по массовому совершенству.

1. Обзор публикаций и выделение нерешённых задач

В ГП “КБ”Южное” ведутся работы по созданию орбитальной ЖДУ, работающей на компонентах топлива АТ и ММГ (НДМГ) и состоящей из маршевого двигателя тягой 40 кгс и рулевых двигателей малой тяги. Исходя из тенденции улучшения характеристик спутниковых платформ, в качестве системы топливоподачи применена пневмонасосная. Типичная схема ЖДУ с пневмонасосной системой подачи приведена на рис. 1. В состав ДУ входят топ-

ливные баки окислителя и горючего, пневмоблок, камера маршевого двигателя, РДМТ, ПНА, газовый редуктор для наддува топливных баков и управляющая автоматика.

Были проведены исследования по определению оптимальных параметров и границ работоспособности двухкомпонентного ПНА [2] и определения коэффициента полезного действия ПНА.

Фото разработанного ПНА представлено на рис. 2, а пневмогидравлическая схема – на рис. 3 [3]. По принципу действия ПНА относится к объемным насосам.

Конструктивно ПНА состоит из двух насосных блоков 1(1) и 1(2), составляющими элементами которых являются пневмоприводы 8, работающие на редуцированном гелии высокого давления. К каждому пневмоприводу жестко прикреплены гидравлические насосы окислителя 6 и горючего 7; циклический режим работы каждого из насосных блоков обеспечивается газовыми пневмораспределителями 10, взаимодействующими с концевыми клапанами 9 нажимного действия, которые размещались в газовых полостях пневмопривода.

Работает ПНА следующим образом. В любой момент поршни пневмоприводов с насосами окислителя «Ох» и горючего «Fu» могут занимать произвольное положение относительно концевых клапанов. На запуск ПНА это начальное положение влияния не оказывает. Штоки всех концевых клапанов имеют одинаковое выступание относительно днища. Полости гидравлических насосов 6(1), 6(2) заполнены окислителем, полости 7(1), 7(2) – горючим.

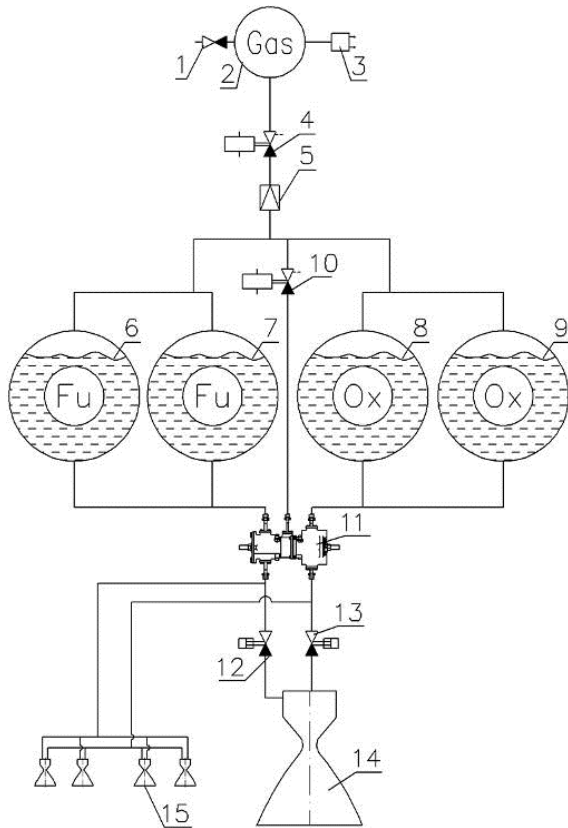


Рис. 1. ЖДУ с пневмонасосной системой подачи компонентов топлива:

- 1 - клапан заправки; 2 - баллон с гелием;
- 3 - сигнализатор давления;
- 4, 10 - электроэвмоклапан; 5 - газовый редуктор;
- 6, 7 - бак горючего; 8, 9 - бак окислителя;
- 11 - пневмонасосный агрегат;
- 12, 13 - электрогидроклапан; 14 - камера маршевого двигателя, 15 - рулевые двигатели малой тяги



Рис. 2. Фото поршневого ПНА

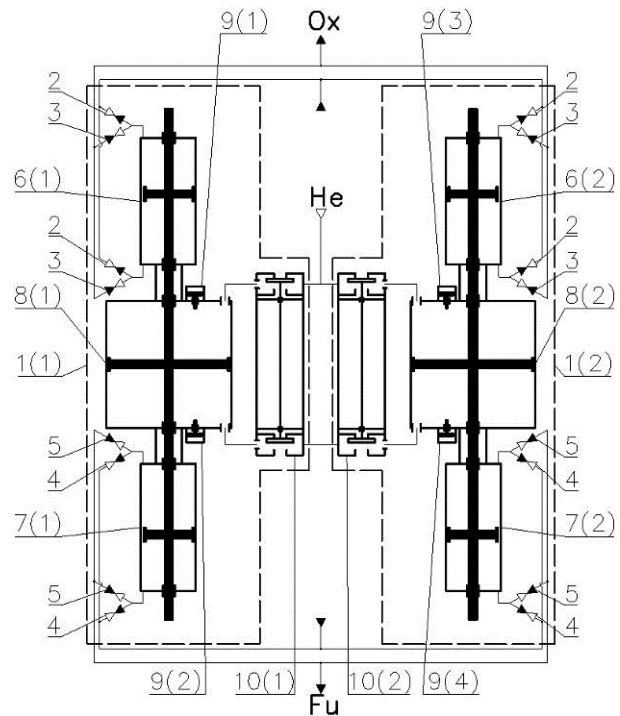


Рис. 3. Принципиальная схема поршневого ПНА двухстороннего действия:

- 1(1), 1(2) – насосный блок;
- 2 – обратный клапан по линии входа «Ox»;
- 3 – обратный клапан по линии выхода «Ox»;
- 4 – обратный клапан по линии входа «Fu»;
- 5 – обратный клапан по линии выхода «Fu»;
- 6(1), 6(2) – гидравлический насос «Ox»;
- 7(1), 7(2) – гидравлический насос «Fu»;
- 8(1), 8(2) – пневмопривод;
- 9(1)...9(4) – концевой клапан;
- 10(1), 10(2) – пневмораспределитель

Основные характеристики ПНА, приведены в таблице 1.

2. Постановка задачи данного исследования

Для определения необходимого запаса рабочего тела на борту спутниковой платформы, обеспечивающего длительную работу двухкомпонентного ПНА, необходимо определить КПД ПНА при различных режимах работы.

3. Изложение основного материала с обоснованием полученных научных результатов

Так как КПД ПНА слабо зависит от того на какой рабочей жидкости работают насосы, и, исходя из условий безопасности, были проведены испытания на гидравлическом стенде, где рабочим телом была вода. В качестве рабочего газа для ПНА ис-

Таблица 1

Характеристики ПНА при работе в составе орбитальной ЖДУ

1	Рабочее тело пневмопривода	Гелий
2	Окислитель	АТ
3	Горючее	ММГ (НДМГ)
4	Номинальное абсолютное давление гелия на входе, кгс/см ²	7
5	Диапазон температур гелия при различных режимах работы, К – при работе только РДМТ – при работе маршевого двигателя	273-323 323-373
6	Номинальное абсолютное давление топлива на входе, кгс/см ² : – по линии окислителя – по линии горючего	7 7
7	Номинальное абсолютное давление топлива на выходе из ПНА, кгс/см ² : – по линии окислителя – по линии горючего	17 17
8	Расходы компонентов топлива, г/с – окислителя – горючего	62-150 38-90
9	Соотношение объёмных расходов компонентов топлива	1
10	Частота колебаний выходного давления воды при работе на гелии, Гц	4,7

пользовали воздух и гелий. Воздух используют при настройке ПНА на стендах, а гелий является основным рабочим газом в полете. Были испытаны два экземпляра ПНА.

КПД определяется как отношение полезной работы A_C , выполненной ПНА, к затраченной работе газа A_E :

$$\eta = \frac{A_C}{A_E}.$$

Полезная работа ПНА определяется как сумма произведений напоров насосов «Ох» и «Фу» на перекачанные объёмы воды, соответственно, по формуле:

$$A_C = \left[M_{Ox} \cdot (\tilde{P}_{out}^{Ox} - P_{in}) + M_{Fu} \cdot (\tilde{P}_{out}^{Fu} - P_{in}) \right] \cdot \frac{98066,5}{\rho}$$

где M_{Ox} и M_{Fu} - масса воды, перекачанной ПНА за время работы по тракту «Ох» и «Фу», кг;

\tilde{P}_{out}^{Ox} , \tilde{P}_{out}^{Fu} – среднеинтегральное давление воды на выходе из насоса по тракту «Ох» и «Фу» за время пуска, кгс/см²;

P_{in} – давление воды на входе в ПНА, кгс/см²;

ρ – плотность воды, $\rho = 1000$ кг/м³;

$98066,5$ Н/м² = 1 кгс/см² – переводной коэффициент.

Затраченная работа A_E определяется как разница массы газа в шарбаллоне до пуска и массы газа израсходованного на работу ПНА:

$$A_E = R \cdot T_{mid} \cdot (M_{Pr} - M_{Fin}),$$

где R – газовая постоянная,

для воздуха $R_{Air} = 287$ Дж/(кг·К),

для гелия $R_{Air} = 2078,5$ Дж/(кг·К);

T_{mid} – средняя температура газа на входе в ПНА за время работы, К;

M_{Pr} – масса газа в шарбаллоне до работы, кг;

M_{Fin} – масса газа в шарбаллоне после работы, кг.

Основными факторами, снижающими КПД являются:

1. Потери газа на заполнение «паразитных» объёмов.

К «паразитным» объёмам относятся те объёмы, которые не участвуют в процессе вытеснения жидкости из гидравлических насосов (объёмы, связанные с неполным прилеганием пневмопоршня к днищам пневмоцилиндров, объёмы управляющих и подводящих каналов), но выбрасываются в окружающую среду при каждом срабатывании пневмораспределителя ПНА вместе с объёмом газа, выполнившим полезную работу.

Суммарный «паразитный» объём управляющих и подводящих каналов для исследуемых ПНА составляет $V_i = 31,4$ см³. При каждом срабатывании пневмораспределителя выбрасывается $\frac{1}{4}$ часть этого объёма, которая связана со своим пневмоприводом.

По отношению к единичному объёму пневмополости ($V_p = 68,88$ см³), ПНА, выполнившего полезную работу, «паразитные» объёмы составили 11,4 %.

2. Выбросы газа через дренажные седла в окружающую среду при переключении пневмораспределителей.

При переключении пневмораспределителей происходит соединение одних полостей с источником питания управляющим давлением, а других – с окружающей средой при помощи перемещения затворов от седла подачи к дренажному седлу. Время перемещения затворов при работе ПНА на воздухе составляет $\tau_{Air} \approx 0,004$ с, а при работе на гелии –

$\tau_{\text{He}} \approx 0,002$ с. Таким образом, масса выбрасываемого в окружающую среду газа составила:

для воздуха

$$M_4 = \frac{\mu_{\text{sp}} \cdot f_{\text{sp}} \cdot A_{\text{Air}} \cdot P_{\text{in_Air}} \cdot 98066,5}{2 \cdot \sqrt{R_{\text{Air}} \cdot T_{\text{mid}}}} \cdot \tau_{\text{Air}}$$

для гелия,

$$M_4 = \frac{\mu_{\text{sp}} \cdot f_{\text{sp}} \cdot A_{\text{He}} \cdot P_{\text{in_He}} \cdot 98066,5}{2 \cdot \sqrt{R_{\text{He}} \cdot T_{\text{mid}}}} \cdot \tau_{\text{He}}$$

где f_{sp} – площадь седла подачи

$$f_{\text{sp}} = \pi \cdot d_{\text{sp}} \cdot \frac{h}{2}, \text{ м}^2;$$

d_{sp} – диаметр седла подачи;

h – ход затворов;

μ_{sp} – коэффициент расхода, для затвора $\mu \approx 0,2$.

Долю непроизводительных потерь в дренажный тракт определяли как отношение массы газа, выбрасываемой в окружающую среду, к массе газа, заключённого в единичном объёме пневмополости при давлении настройки клапана редукционного $P_{\text{in_air}}$ ($P_{\text{in_He}}$) и температуре T_{mid} . Масса газа, заключённая в объёме пневмополости определялась по формулам:

$$\text{для воздуха: } M_{p_Air} = \frac{P_{\text{in_Air}} \cdot V_p \cdot 98066,5}{R_{\text{Air}} \cdot T_{\text{mid}}};$$

$$\text{для гелия: } M_{p_He} = \frac{P_{\text{in_He}} \cdot V_p \cdot 98066,5}{R_{\text{He}} \cdot T_{\text{mid}}}.$$

Таким образом, доля непроизводительных потерь в дренажный тракт составила:

- на воздухе 0,87 %;
- на гелии 1,25 %;

3. Сопротивление газовых трактов.

Потери входного давления воздуха (гелия) из-за сопротивления газовых трактов пневмораспределителей были определены по расчетной 3D-модели:

- на воздухе $\Delta P_{\text{Air}} = 0,3$ кгс/см², что относительно давления на входе в ПНА составило 4,3 %;
- на гелии $\Delta P_{\text{He}} = 0,14$ кгс/см² – 2 %.

4. Трения по уплотнению блоков поршней.

По методике [4] проведен расчет потерь давления газа на преодоление сил трения по уплотнениям блоков поршней при штатных давлениях, в результате расчетное значение вышло $\Delta P_{\text{пл}} \approx 0,73$ кгс/см²,

5. Сопротивление гидравлических трактов.

Потери напоров гидравлических насосов ПНА из-за гидросопротивления обратных клапанов и пу-

тевых потерь гидравлических трактов были определены по расчетным 3D-моделям. Так как конструкция обратных клапанов, размеры и конфигурация гидравлических трактов в корпусах насосов «Ох» и «Fu» одинаковы, то и доли потерь по всем трактам тоже одинаковы и зависят только от величины расхода через ПНА. На максимальном расходе суммарное гидросопротивление тракта ПНА (от входа до выхода) равно 1,15 кгс/см², а на минимальном расходе – 0,6 кгс/см². Доли этих потерь относительно выходного давления составили 11,5 % и 6 %, соответственно.

6. Уменьшение вытесняемого гидравлическими насосами объёма жидкости из-за негерметичности обратных клапанов, манжет поршней и штоков гидронасосов. В расчете данная величина принята равной 0, так как при испытании обратные клапаны на входе были герметичны.

Таким образом, в результате расчетов были определены следующие значения КПД для различных режимов работы ПНА:

- максимальный расход воды $Q_{\text{max}} = 103$ см³/с, при работе на гелии – 63,05 %;
- максимальный расход воды $Q_{\text{max}} = 103$ см³/с, при работе на воздухе – 61,13 %;
- минимальный расход воды $Q_{\text{min}} = 43$ см³/с, при работе на гелии – 70,55 %;
- минимальный расход воды $Q_{\text{min}} = 43$ см³/с, при работе на воздухе – 70,93 %.

Испытания ПНА по определению КПД на воздухе и на гелии проводили согласно схеме, представленной на рис. 4. Испытания проводились для максимальных и минимальных расходов воды по трактам «Ох» и «Fu» ($Q_{\text{max}} = 103$ см³/с, $Q_{\text{min}} = 43$ см³/с). Результаты испытаний ПНА приведены в таблице 2, характер изменения параметров представлен на рисунках 5-6.

После вакуумной заправки трубопроводов и жидкостных полостей ПНА водой в шаробаллон 8 при открытом вентиле 7(1) через вентиль 7(3) закачивался сжатый газ (воздух или гелий в зависимости от вида испытания). Затем вентили закрывали, шаробаллон вместе с вентилем 7(1) отстыковывали от схемы и взвешивали. После взвешивания шаробаллон с вентилем снова подстыковывали к схеме. Вес мерных емкостей 12(1) и 12(2) определялся с помощью весов 17(1) и 17(2), соответственно. Одновременным включением ЭПК 6(1) и 6(2) включали ПНА, а через время пуска τ_2 одновременным выключением ЭПК – останавливали. С помощью весов 17(1) и 17(2) определяли массу перекачанной за время работы воды. Шаробаллон 8 с вентилем 7(1) отстыковывался и взвешивался. В процессе работы проводилась регистрация температуры и давления

газа на входе в ПНА, а также давления воды на входе и выходе из ПНА.

При определении КПД учитывали непроизводительные потери массы газа, остающегося в подводящих газовых магистралях после отключения ПНА и массу газа, выбрасываемого в атмосферу в моменты включения и выключения ЭПК 6(1).

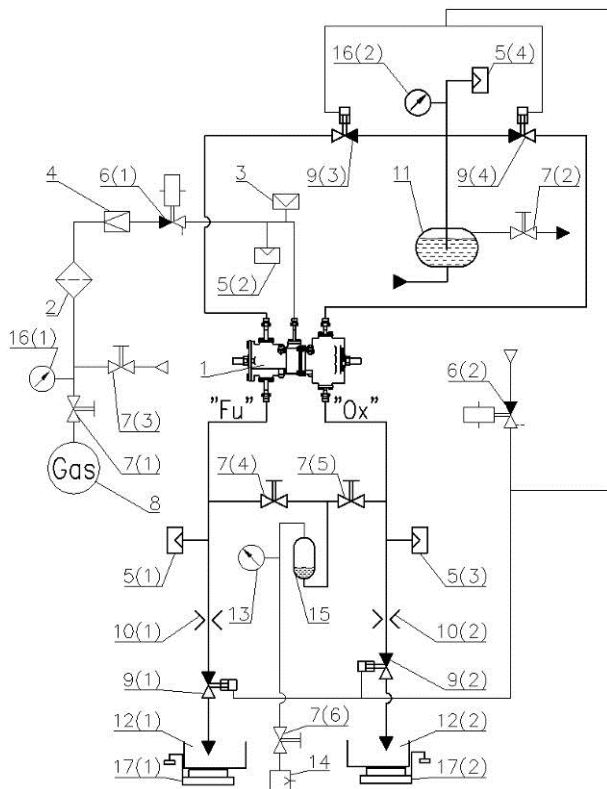


Рис. 4. Схема испытаний ПНА на гидравлическом стенде:

- 1 – ПНА; 2 – фильтр с ячейкой 20 мкм;
- 3 – преобразователь первичный температуры;
- 4 – клапан редукционный; 5(1)...5(4) – преобразователь первичный давления, кл. 1.0;
- 6(1), 6(2) - ЭПК; 7(1)...7(6) – вентиль;
- 8 – шаробаллон 6 л; 9(1)...9(4) – пневмоуправляемый клапан; 10(1), 10(2) – жиклёр; 11 – ёмкость;
- 12(1), 12(2) - мерная ёмкость; 13 – вакуумметр;
- 14 – вакуум-насос; 15 – разделительная ёмкость;
- 16(1), 16(2) – манометр; 17 (1), 17(2) – весы

Сопоставляя теоретически рассчитанный КПД и КПД, полученный в результате испытаний видно, что разница между ними не более 4%. Этот разброс может быть связан с такими факторами как:

- негерметичность манжет во время движения;
- повышенными, по сравнению с расчетными,

силами трения уплотнительных элементов, сопротивлениями газовых и гидравлических трактов.

Таблица 2

КПД ПНА по результатам экспериментов

Рабочий газ – Воздух Расход воды – $Q_{max}=103 \text{ см}^3/\text{с}$		
№ испытания	КПД ПНА №1, %	КПД ПНА №2, %
1	59,7	60,2
2	60,1	59,5
3	59,9	59,1
Среднее экспериментальное значение	59,9	59,6
Расчетное значение	61,13	
Рабочий газ – Воздух Расход воды – $Q_{max}=43 \text{ см}^3/\text{с}$		
№ испытания	КПД ПНА №1, %	КПД ПНА №2, %
1	67,1	66,4
2	66,0	66,9
3	66,9	66,7
Среднее экспериментальное значение	66,7	66,7
Расчетное значение	70,93	
Рабочий газ – Гелий Расход воды – $Q_{max}=103 \text{ см}^3/\text{с}$		
№ испытания	КПД ПНА №1, %	КПД ПНА №2, %
1	60,0	61,5
2	60,5	61,4
3	61,2	60,8
Среднее экспериментальное значение	60,6	61,2
Расчетное значение	63,05	
Рабочий газ – Гелий Расход воды – $Q_{max}=43 \text{ см}^3/\text{с}$		
№ испытания	КПД ПНА №1, %	КПД ПНА №2, %
1	66,1	66,6
2	67,0	66,3
3	66,0	68,7
Среднее экспериментальное значение	66,4	67,2
Расчетное значение	70,55	

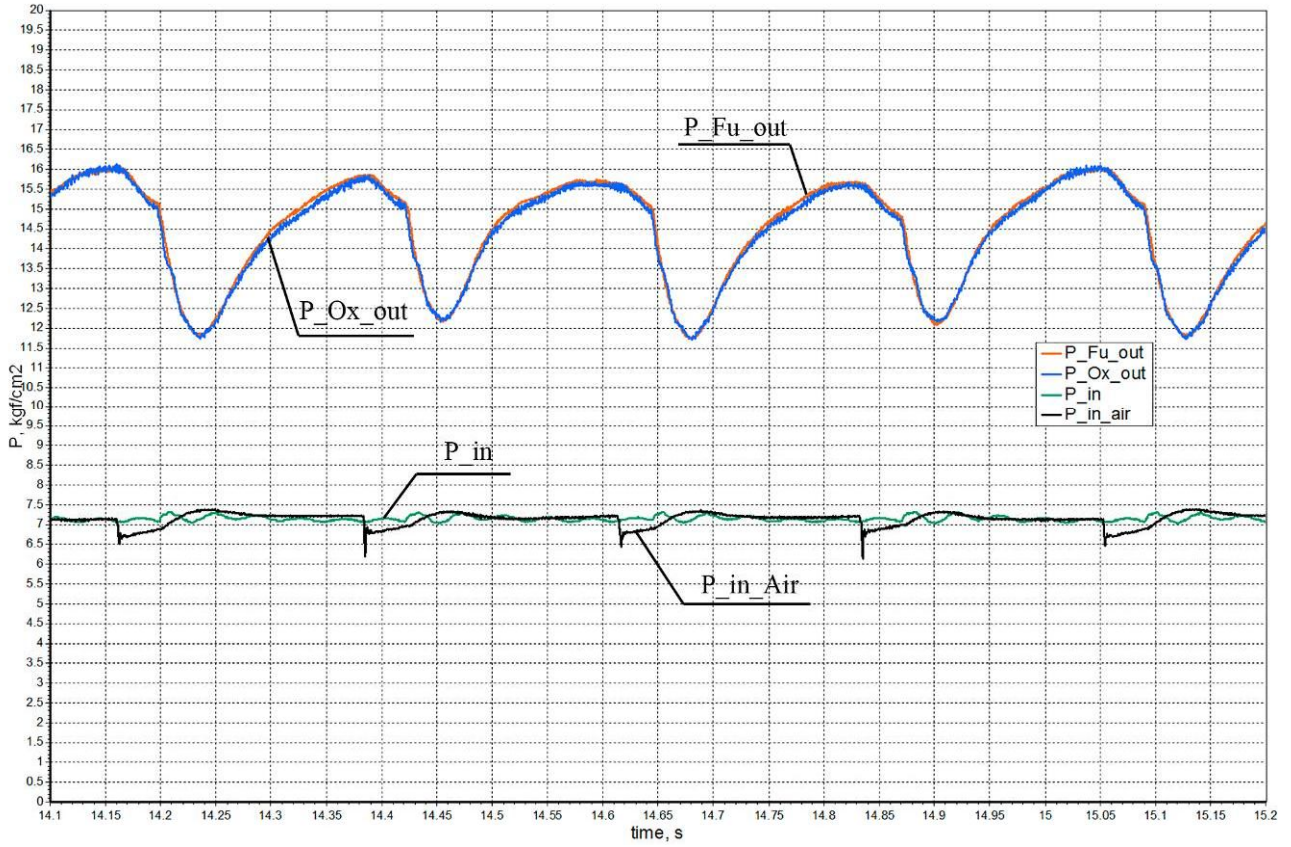


Рис. 5. Параметры ПНА на воздухе при максимальном расходе

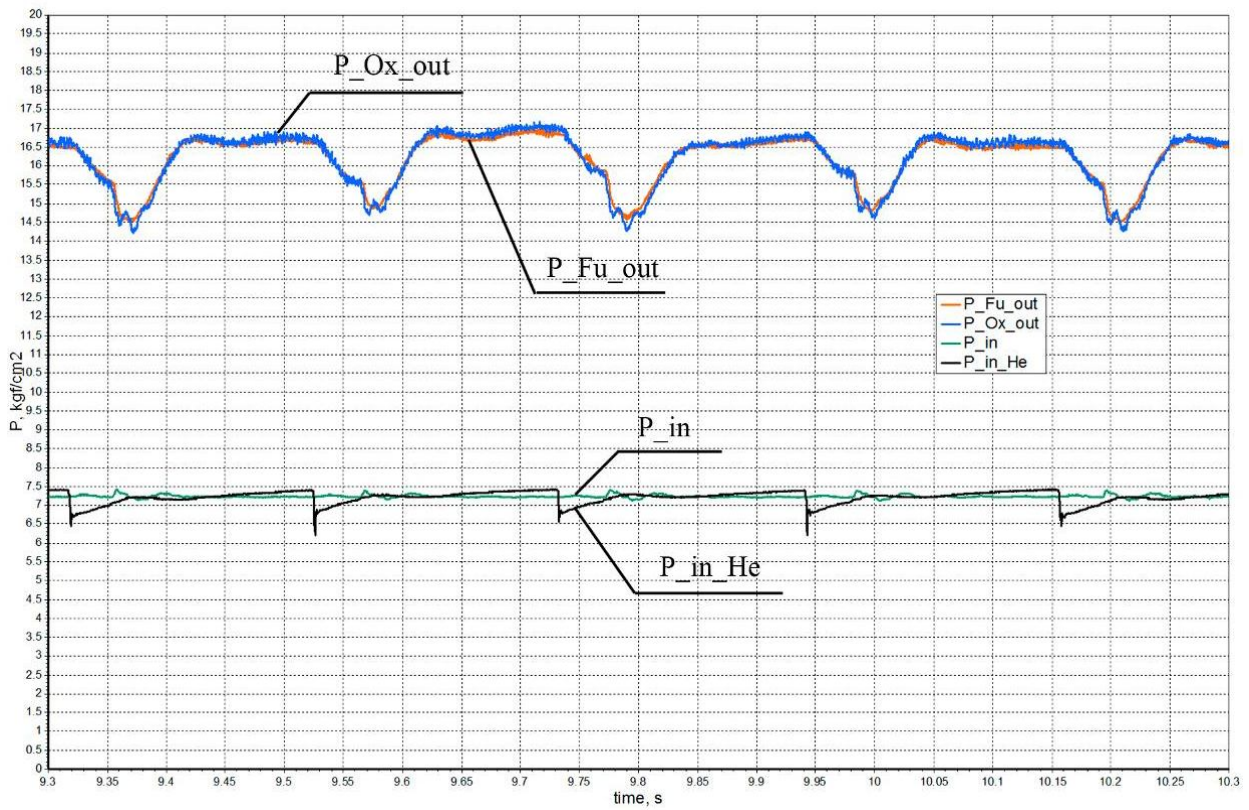


Рис. 6. Параметры ПНА на гелии при максимальном расходе

Выводы

В результате проведенных исследований определены КПД ПНА и основные факторы, влияющие на его величину. Расчетное значение КПД достаточно хорошо подтверждается экспериментами. Несходимость не превышает 4 %. Результаты данного исследования позволят в дальнейшем уже на этапе проектировочных работ определять необходимые запасы рабочего газа на борту космического аппарата.

Литература

1. Двухкомпонентная жидкостная двигательная установка космического аппарата с пневмонасосной системой подачи [Текст] / В. Н. Шнякин, В. А. Шульга, В. И. Конох, А. И. Животов, И. И. Калининченко, А. В. Дибривный, И. Ю. Кукса // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2010. – № 9 (76). – С. 159-163.
2. Оптимизация параметров и определение границ работоспособности двухкомпонентного пневмонасосного агрегата для космического аппарата [Текст] / В. И. Конох, И. И. Калининченко, И. Н. Гордиец, А. В. Шпак // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2017. – № 9 (144). – С. 36-46.
3. Пат. 116172 Украина, МПК⁸ F04B 9/12. Пневмонасос [Текст] / ГП"КБ"Южное" им. М. К. Янгеля ; 21.07.2016 ; 12.02.2018, Бюл. № 3. – 5 с.
4. Разработка уплотнительных элементов для обеспечения ресурсных характеристик пневмонасосного агрегата [Текст] / В. И. Конох, И. И. Ка-

линиченко, И. Н. Гордиец, А. В. Шпак // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2015. – № 7 (124). – С. 131-136.

References

1. Shnyakin, V. N., Shul'ga, V. A., Konokh, V. I., Zhivotov, A. I., Kalinichenko, I. I., Dibrivnyi, A. V., Kuxa, I. Yu. Dvuhkomponentnaja zhidkostnaja dvigatel'naja ustanovka kosmicheskogo apparata s pnevmonasosnoj sistemoj podachi [Bipropellant liquid propulsion system of spacecraft with pneumo-pump supply system]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia - Aerospace technic and technology*, 2010, no. 9 (76), pp. 159-163.
2. Konokh, V. I., Kalinichenko, I. I., Gordiets, I. N., Shpak, A. V. Optimizacija parametrov i opredelenie granic rabotosposobnosti dvuhkomponentnogo pnevmonasosnogo agregata dlja kosmicheskogo apparata [Parameters optimization and operability limits determination of the bipropellant pneumo-pump unit of a spacecraft]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia - Aerospace technic and technology*, 2017, no. 9 (144), pp. 36-46.
3. Konokh, V. I., Kalinichenko, I. I., Gordiets, I. N., Mikolaevskiy, V. V. Pnevmonasos [Pneumo-pump]. Patent UA, № 116172, 2018.
4. Konokh, V. I., Kalinichenko, I. I., Gordiets, I. N., Shpak, A. V. Razrabotka uplotnitel'nyh jelementov dlja obespechenija resursnyh harakteristik pnevmonasosnogo agregata [Development of sealing elements for ensuring of pneumo-pump unit service life characteristics]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia - Aerospace technic and technology*, 2015, no. 7 (124), pp. 131-136.

Поступила в редакцию 1.06.2018, рассмотрена на редколлегии 25.07.2018

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЕНТУ КОРИСНОЇ ДІЇ ДВОКОМПОНЕНТНОГО ПНЕВМОНАСОСНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ КОСМІЧНОГО АПАРАТА

В. І. Конох, І. І. Калініченко, І. М. Гордієць, В. В. Миколаєвський

Проведено випробовування поршневого пневмонасосного агрегату (ПНА) двосторонньої дії для системи живлення паливом космічного апарата, що працює на компонентах палива АТ та ММГ (НДМГ). Діапазон зміни сумарних витрат компонентів палива через ПНА визначається режимами роботи маршового двигуна і рульових двигунів малої тяги та складає 100...240 г/с. Проаналізовано фактори, що впливають на коефіцієнт корисної дії (ККД). Теоретично та експериментально визначено КПД двокомпонентного ПНА на різних режимах роботи. Максимальна різниця між розрахунковим та експериментальним значенням ККД не перевищує 4 %.

Ключові слова: двигунна установка, пневмонасосна система подачі, пневмонасос, ККД.

DETERMINATION OF THE EFFICIENCY OF TWO-COMPONENT PNEUMO-PUMP UNIT FOR A SPACECRAFT

V. I. Konokh, I. I. Kalinichenko, I. N. Gordiets, V. V. Mikolaevskiy

Research has been carried out to determine the efficiency of the piston pneumatic pump unit (PPU) of two-way action for the fuel supply system of a spacecraft operating on propellants of AT and MMH (UDMH). The PPU relates to volumetric pumps, therefore, the efficiency is defined as the ratio of effective work performed by the PPU to

the expended gas work. The range of total propellants flow rates from 100 to 240 g/s through the PPU is determined by the operating modes of main engine and steering thrusters. As a result of performed researches, the PPU efficiency and main factors influencing on its value were theoretically determined, namely: gas losses for filling "parasitic" volumes including the volumes that do not participate in the process of fluid displacement from hydraulic pumps (volumes associated with incomplete fit of the pneumatic pistons to the bottoms of the pneumatic cylinders, the volume of control and supply channels), but are ejected into the environment at each operation of the PPU pneumatic distributor together with the volume of gas that performed effective work; gas ejections through the drainage seats into the environment at pneumatic distributors switchings, since at pneumatic distributors switchings some cavities are connected with the power supply source by control pressure, and other ones - with environment by poppet moving from the feed seat to the drainage seat; inlet air (helium) pressure losses due to the resistance of gas channels of the pneumatic distributors; friction of seals with fluoroplastic collars of the piston blocks; resistance of the hydraulic channels which components are: pressure losses of non-return valves and hydraulic channels; displaced fluid volume decreasing by hydraulic pumps due to leakage of non-return valves, piston collars and hydraulic pumps rods. The bipropellant PPU efficiency was theoretically and experimentally determined at different operating modes. The calculated value of the efficiency is well confirmed by experiments at that the divergence does not exceed 4%. The results of this research will allow us to determine the necessary gas reserves on board of spacecraft at the stage of designing.

Key words: propulsion system, pneumo-pump feed system, pneumo-pump unit, coefficient of efficiency.

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

Калиниченко Игорь Иванович – начальник сектора отдела агрегатов автоматики ЖРД ГП"КБ "Южное", Днепропетровск, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.

Гордиец Иван Николаевич – начальник группы отдела агрегатов автоматики ЖРД ГП"КБ "Южное", Днепропетровск, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.

Николаевский Василий Васильевич – инженер-конструктор 2 категории отдела агрегатов автоматики ЖРД ГП"КБ "Южное", Днепропетровск, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.

Konokh Vladimir Ivanovich - Candidate of Technical Science, Head of LRE Control Units Department, Yuzhnoye SDO, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: info@yuzhnoye.com.

Kalinichenko Igor Ivanovich – Chief of LRE Control Units Sector, Control Units Department, Yuzhnoye SDO, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: info@yuzhnoye.com.

Gordiets Ivan Nikolaevich – Chief of LRE Control Units Group, Control Units Department, Yuzhnoye SDO, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: info@yuzhnoye.com.

Mikolaevskiy Vasilii Vasilyevich – second category Design Engineer, Control Units Department, Yuzhnoye SDO, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: info@yuzhnoye.com.