

УДК 629.78.036.54-63.063.6:621.694

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВАРИАНТОВ КОНСТРУКЦИИ СТРУЙНОГО НАСОСА-КОНДЕНСАТОРА В СОСТАВЕ БУСТЕРНОГО ТУРБОНАСОСНОГО АГРЕГАТА ПОДАЧИ ЖИДКОГО КИСЛОРОДА

© 2017 г. Катков Р.Э., Киселева О.В., Стриженко П.П., Тупицын Н.Н.

Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва (РКК «Энергия»)
Ул. Ленина, 4А, г. Королёв, Московская обл., Российская Федерация, 141070, e-mail: post@rsce.ru

В работе представлены результаты отработки струйного насоса-конденсатора в составе бустерного турбонасосного агрегата подачи жидкого кислорода, разрабатываемого для жидкостного ракетного двигателя. Струйный насос-конденсатор предназначен для смешения газа, отработавшего на турбине бустерного турбонасосного агрегата, с основным потоком жидкого кислорода, что позволяет снизить потери рабочего тела при работе двигателя. Приведены результаты экспериментальных исследований различных вариантов конструкции струйного насоса-конденсатора при его работе на штатном компоненте (кислороде), во время которых проводились измерения давления, а также частоты и амплитуды пульсаций давления в магистрали до и после насоса-конденсатора. По результатам исследований выбрана оптимальная конструкция струйного насоса-конденсатора.

Ключевые слова: жидкостный ракетный двигатель, струйный насос-конденсатор, бустерный турбонасосный агрегат, жидкий кислород, газообразный кислород, пульсации давления.

EXPERIMENTAL STUDIES OF DESIGN OPTIONS FOR INJECTOR PUMP/CONDENSER WITHIN BOOSTER TURBOPUMP ASSEMBLY FOR LIQUID OXYGEN DELIVERY

Katkov R.E., Kiseleva O.V., Strizhenko P.P., Tupitsyn N.N.

S.P. Korolev Rocket and Space Public Corporation Energia (RSC Energia)
4A Lenin str., Korolev, Moscow region, 141070, Russian Federation, 141070, e-mail: post@rsce.ru

The paper provides results of developmental tests of an injector pump/condenser within a booster turbopump assembly for liquid oxygen delivery, which is being developed for a liquid-propellant engine. The injector pump/condenser is designed for mixing the exhaust gas of the booster turbopump assembly turbine with the main stream of liquid oxygen, thus reducing the loss of propellant during engine operation. The paper provides results of experimental studies of various design options for the injector pump/condenser operating using its nominal propellant component (oxygen), the studies during which measurements were taken of the pressure, as well as of the frequency and amplitude of pressure oscillations in the line both up- and downstream of the pump/condenser. Based on the results of the studies, the best design for the injector/pump was selected.

Key words: liquid-propellant engine, injector pump/condenser, booster turbopump assembly, liquid oxygen, gaseous oxygen, pressure oscillations.

КАТКОВ Руслан Эдуардович — главный специалист РКК «Энергия», e-mail: ruslan.katkov@rsce.ru
KATKOV Ruslan Eduardovich — Chief Specialist at RSC Energia, e-mail: ruslan.katkov@rsce.ru

КИСЕЛЕВА Ольга Валерьевна — ведущий инженер-конструктор РКК «Энергия»,
e-mail: olga.kiseleva@rsce.ru

KISELEVA Olga Valer'evna — Lead engineer-designer at RSC Energia, e-mail: olga.kiseleva@rsce.ru

СТРИЖЕНКО Павел Петрович — начальник отдела РКК «Энергия»,
e-mail: pavel.strizhenko@rsce.ru

STRIZHENKO Pavel Petrovich — Head of Department at RSC Energia, e-mail: pavel.strizhenko@rsce.ru

ТУПИЦЫН Николай Николаевич — заместитель начальника отделения РКК «Энергия»,
e-mail: post2@rsce.ru

TUPITSYN Nikolay Nikolaevich — Deputy Head of Division at RSC Energia, e-mail: post2@rsce.ru



КАТКОВ Р.Э.



КИСЕЛОВА О.В.



СТРИЖЕНКО П.П.



ТУПИЦЫН Н.Н.

Введение

В создаваемом в настоящее время РКК «Энергия» многофункциональном жидкостном ракетном двигателе 11Д58МФ для разгонного блока типа ДМ [1, 2] для подачи жидкого кислорода из бака в турбонасосный агрегат (ТНА) используется бустерный турбонасосный агрегат (БТНА). Привод насоса БТНА осуществляется осевой турбиной, работающей на газообразном кислороде. Для повышения удельного импульса тяги двигателя 11Д58МФ предусматривается утилизация газа, отработавшего на турбине БТНА, с помощью конструкции, именуемой в дальнейшем «струйный насос-конденсатор» и установленной в расходной магистрали жидкого кислорода на выходе из насоса БТНА. Расход газообразного кислорода примерно в 60 раз меньше, чем жидкого, поэтому в струйном насосе-конденсаторе происходит конденсация газа при приемлемом повышении давления упругости пара основного потока (не более 0,15 МПа).

Вместе с тем, существует опасность возникновения низко- и высокочастотных пульсаций при вдуве газообразного кислорода, которые могут приводить к ухудшению работы БТНА и ТНА [3].

Целью экспериментальных исследований, результаты которых представлены в статье, являлся выбор варианта конструкции струйного насоса-конденсатора с приемлемыми значениями частоты и амплитуды пульсаций для дальнейшей его отработки в штатной схеме двигателя 11Д58МФ.

Эксперименты по исследованию конструкции струйного насоса-конденсатора проводились

совместно с обработкой опытного образца бустерного турбонасосного агрегата окислителя (БТНАО).

Конструкция струйного насоса-конденсатора

Для проведения экспериментальных исследований были спроектированы и изготовлены два варианта исполнения конструкции струйного насоса-конденсатора: в одном варианте исполнения в конструкции (рис. 1, 2) имелись четыре различных вставки (рис. 3), в другом вставок не было (рис. 4). Отличия вариантов исполнения приведены в табл. 1.

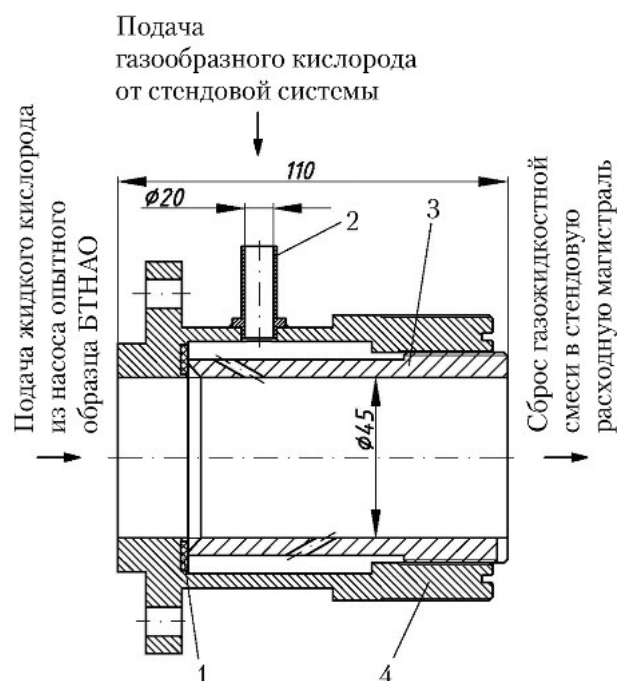


Рис. 1. Общий вид струйного насоса-конденсатора: 1 — уплотнительное кольцо; 2 — трубка; 3 — вставка; 4 — корпус



Рис. 2. Изготовленный струйный насос-конденсатор

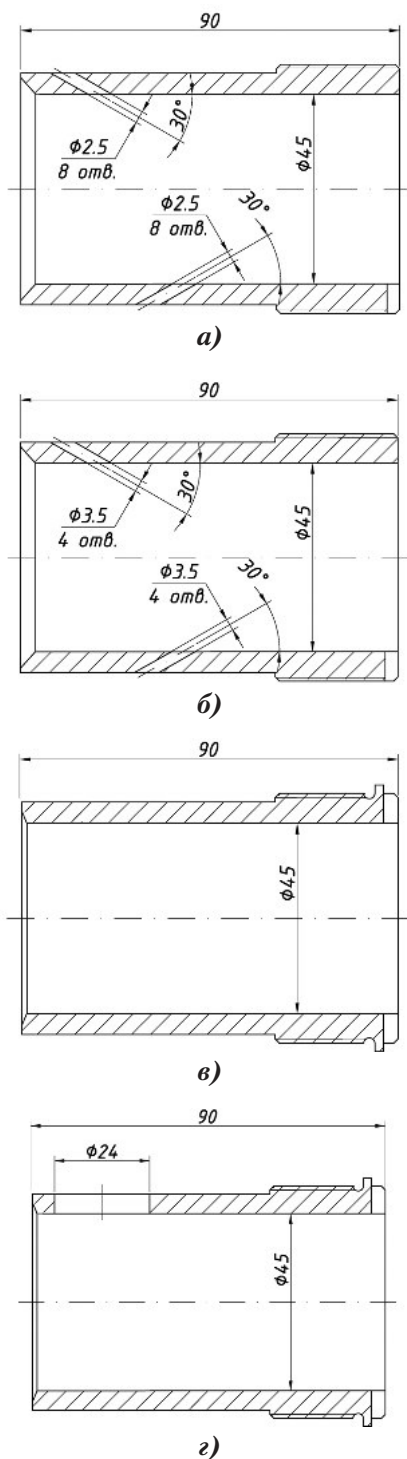


Рис. 3. Варианты испытанных вставок: а – вставка № 1; б – № 2; в – № 3; г – № 4

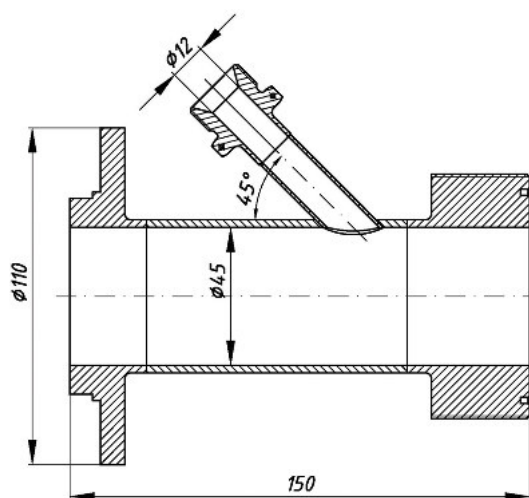


Рис. 4. Вариант конструкции струйного насоса-конденсатора

Таблица 1

Варианты исполнения конструкции струйного насоса-конденсатора

Варианты исполнения	Угол вдува газа относительно основного потока
Со вставкой № 1: 16 отверстий $\phi 2,5$ мм (2 ряда по 8 отверстий в шахматном порядке)	30°
Со вставкой № 2: 8 отверстий $\phi 3,5$ мм (2 ряда по 4 отверстия в шахматном порядке)	30°
Со вставкой № 3: щелевое отверстие	—
Со вставкой № 4: одно отверстие $\phi 24$ мм	90°
Одно отверстие $\phi 12$ мм (рис. 4)	45°

Схема стенда для проведения экспериментальных исследований конструкций струйного насоса-конденсатора, условия и циклограмма проведения

Схема стенда представлена на рис. 5. Струйный насос-конденсатор был установлен на расстоянии 0,5 м от выхода из насоса опытного образца БТНАО между двумя участками стендовой расходной магистрали. Поверхности опытного образца БТНАО и расходной магистрали за насосом БТНАО со струйным насосом-конденсатором были теплоизолированы.

Для измерения пульсаций давления кислорода были установлены три датчика (тип ЛХ604 [4, 5]): один располагался на входе в струйный насос-конденсатор (обозначение на схеме ПДДК), два других – на выходе, на расстоянии 0,3 м

друг от друга (обозначение на схеме ПДПК1, ПДПК2, соответственно). Такое расположение датчиков позволило проанализировать влияние пульсаций давления жидкого кислорода на работу струйного насоса-конденсатора, определить их частоту и амплитуду.

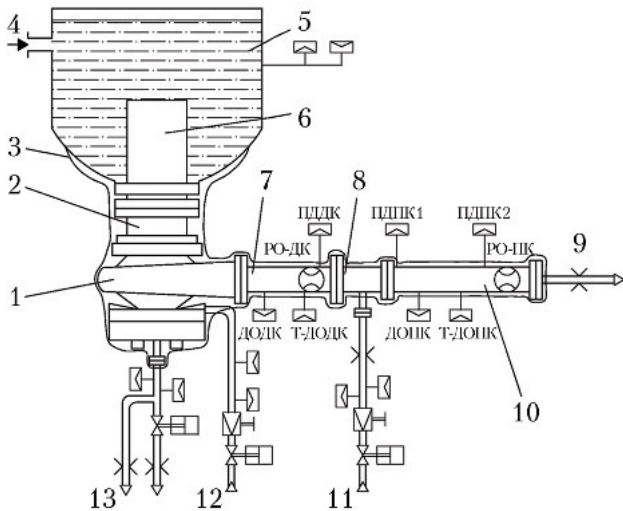


Рис. 5. Схема стенда: 1 – бустерный турбонасосный агрегат окислителя (опытный образец); 2 – переходник; 3 – теплоизоляция; 4 – подача жидкого кислорода; 5 – пусковая емкость окислителя; 6 – клапан разделительный окислителя; 7, 10 – стендовая расходная магистраль окислителя; 8 – струйный насос-конденсатор; 9 – слив жидкого кислорода; 11 – подача газообразного кислорода или гелия; 12 – подача газообразного азота; 13 – сброс газообразного азота за пределы бокса

Примечание. РО–ДК – расход окислителя до струйного насоса-конденсатора (СНК); РО–ПК – расход окислителя после СНК; ПДДК – пульсации давления до СНК; ПДПК 1, 2 – пульсации давления после СНК; ДОДК – давление окислителя до СНК; ДОПК – давление окислителя после СНК; Т–ДОДК – температура окислителя до СНК; Т–ДОПК – температура окислителя после СНК.

Стеновые системы обеспечивали:

- частоту вращения вала опытного образца БТНАО от 3 500 до 4 000 об/мин;
- подачу жидкого кислорода на вход в насос опытного образца БТНАО давлением 0,4 МПа, расходом 9...10 кг/с, температурой –184...–183 °С;
- подачу газообразного азота на привод турбины опытного образца БТНАО давлением 22,5 МПа, расходом 0,128...0,140 кг/с, температурой 20...30 °С;
- подачу газообразного кислорода на вход в струйный насос-конденсатор давлением 4 МПа, расходом 0,1 кг/с, температурой 15...25 °С или газообразного гелия давлением 0,7 МПа, расходом 0,02 кг/с, температурой 15...25 °С.

Подача газообразного кислорода или газообразного гелия на вход в струйный насос-конденсатор осуществлялась автономно от стеновой системы.

Перед проведением исследований конструкция БТНАО и расходная магистраль за насосом

БТНАО предварительно захлаживались до температуры –50 °С.

Управление работой стенда, прием и регистрацию измерительной информации осуществляла измерительно-управляющая система в автоматическом режиме по заранее разработанной циклограмме.

Методика проведения экспериментальных исследований

Методика проведения экспериментальных исследований заключалась в следующем:

- Устанавливали в расходную магистраль за насосом БТНАО конструкцию одного из струйных насосов-конденсаторов.
- Теплоизолировали поверхности опытного образца БТНАО и расходной магистрали.
- Захлаживали конструкцию опытного образца БТНАО и расходную магистраль.
- По команде одновременно открывали клапаны подачи жидкого кислорода в насос опытного образца БТНАО и подачи газообразного азота на привод турбины опытного образца БТНАО. Через 5 с подавали команду на открытие клапана подачи газа (либо газообразный кислород, либо гелий) в струйный насос-конденсатор.
- Длительность подачи газа составляла 10 с, длительность всего испытания – 20 с.
- После окончания эксперимента подавалась команда на закрытие всех клапанов.
- Снимали конструкцию струйного насоса-конденсатора, устанавливали следующую и повторяли эксперимент.

Испытания проводились как с вдувом, так и без вдува газа в струйный насос-конденсатор.

Результаты экспериментальных исследований конструкций струйного насоса-конденсатора. Анализ полученных результатов

Эффективность конденсации газообразного кислорода, вдуваемого в поток жидкого кислорода, выходящего со стороны насоса опытного образца БТНАО, при различных конструкциях струйного насоса-конденсатора была оценена по значениям амплитуды и частоты пульсаций, обработанным по показаниям датчиков пульсаций.

Для подтверждения полноты конденсации струйного насоса-конденсатора было проведено сравнительное исследование, при котором в основной поток жидкого кислорода, выходящего со стороны насоса опытного образца БТНАО, производился сначала вдув газообразного гелия, затем – газообразного кислорода (момент начала вдува газа – на восьмой

секунде, окончание вдува — на 18-ой). Исследования проводились при отработке конструкции струйного насоса-конденсатора с вставкой с восемью отверстиями $\varnothing 3,5$ мм каждое при максимальном давлении жидкого кислорода 0,4 МПа на вход в насос опытного образца БТНАО. Основным критерием оценки были показания датчиков расходов [6], установленных до и после струйного насоса-конденсатора (параметры РО–ДК и РО–ПК, соответственно): они должны были существенно различаться. Результаты представлены на рис. 6 и в табл. 2.

Как видно из рис. 6 и табл. 2, разница в показаниях датчиков расхода при вдуве в струйный насос-конденсатор газообразного гелия суще-

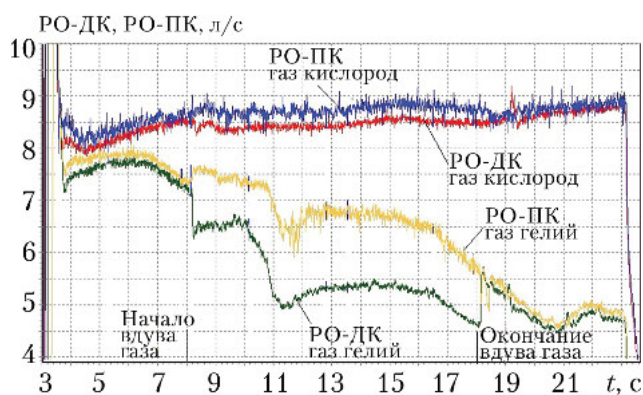


Рис. 6. Изменения параметров РО–ДК, РО–ПК при вдуве в струйный насос-конденсатор газообразного кислорода и газообразного гелия

Таблица 2

Значения параметров при отработке конструкции струйного насоса-конденсатора с вставкой с восемью отверстиями $\varnothing 3,5$ мм каждое при максимальном давлении жидкого кислорода 0,4 МПа на вход в насос опытного образца БТНАО

Параметры (обозначения в соответствии с рис. 5 и 6)	Вдвух газа	
	Газообразный гелий	Газообразный кислород
Частота вращения вала опытного образца БТНАО, об/мин	3 575	3 600
РО-ДК, л/с	5,2	8,5
РО-ПК, л/с	6,6	8,7
ДОДК, МПа	0,68	0,63
ДОПК, МПа	0,69	0,62
Т-ДОДК, °С	–182	–182
Т-ДОПК, °С	–182	–179

ственная. Снижение расхода связано с работой стендовых систем.

При вдуве газообразного кислорода разница в показаниях датчиков расходов практически отсутствует, т. е. газообразный кислород эффективно конденсировался. Тем самым была подтверждена полнота конденсации разработанной конструкции струйного насоса-конденсатора.

По результатам этих испытаний установлено, что из-за малых скоростей вдува газа повышения давления за струйным насосом-конденсатором не происходило, т. е. он не работал как струйный насос (табл. 2): разница в показаниях давления до и после струйного насоса-конденсатора (параметры ДОДК и ДОПК, соответственно) практически равна нулю. Для обеспечения его работы в режиме струйного насоса требуются мероприятия по повышению давления на входе в турбину бустера, что, однако, приведет к увеличению температуры и давления упругости пара на входе в ТНА.

Значения параметров, полученные в результате отработки — частота вращения вала опытного образца БТНАО, температура в момент времени 6 с от начала вдува газа — приведены для сведения в табл. 2.

В табл. 3 и 4 представлены значения частот и амплитуд низко- и высокочастотных пульсаций, полученные в результате проведения экспериментальных исследований конструкции струйного насоса-конденсатора с различными вариантами вставок № 1, 2, 3 (табл. 1) при максимальном давлении жидкого кислорода 0,4 МПа на вход в насос опытного образца БТНАО без вдува и с вдувом газообразного кислорода. Значения частот и амплитуд высокочастотных пульсаций приведены в скобках.

Как видно из табл. 3, при вдуве и последующей конденсации газообразного кислорода из-за наличия в струйном насосе-конденсаторе газовых включений частота пульсаций

Таблица 3

Частоты пульсации при максимальном давлении жидкого кислорода на вход в насос опытного образца БТНАО

Вид испытаний	Частоты низкочастотной (высокочастотной) пульсации, Гц	
	Обработка показаний с датчика ПДДК	Обработка показаний с датчика ПДПК2
Испытание без вдува	500 (5 500)	286 (8 600)
Испытание с вдувом:		
– вставка № 1	400 (4 800)	400 (5 000)
– вставка № 2	400 (2 000)	400 (4 000)
– вставка № 3	133 (5 320)	400 (8 000)

Таблица 4

Амплитуды пульсаций при максимальном давлении жидкого кислорода на вход в насос опытного образца БТНАО

Вид испытаний	Амплитуды низкочастотной (высокочастотной) пульсации, МПа	
	Обработка показаний с датчика ПДДК	Обработка показаний с датчика ПДПК2
Испытание без вдува	$\pm 0,0040 (\pm 0,0010)$	$\pm 0,0040 (\pm 0,0025)$
Испытание с вдувом:		
– вставка № 1	$\pm 0,0350 (\pm 0,0025)$	$\pm 0,0350 (\pm 0,0050)$
– вставка № 2	$\pm 0,0425 (\pm 0,0050)$	$\pm 0,0225 (\pm 0,0050)$
– вставка № 3	$\pm 0,0225 (\pm 0,0040)$	$\pm 0,0175 (\pm 0,0050)$

снижалась по сравнению с испытаниями без вдува. Это особенно хорошо прослеживалось при эксперименте со вставкой № 3 (частота низкочастотной пульсации снижалась до 133 Гц). При сравнении результатов исследований без вдува и со вставкой № 3 было обнаружено, что высокочастотная пульсация определяется схлопыванием кислородных газовых пузырьков, которые образовывались также при проведении испытаний с неработающим струйным насосом-конденсатором за счет теплообмена жидкого кислорода со стенками расходной магистральной, состыкованной с диффузором насоса опытного образца БТНАО. Совпадение частот высокочастотных пульсаций при испытаниях без вдува и со вставкой № 3 может свидетельствовать о том, что механизм возбуждения пульсаций в обоих случаях одинаков.

При этом необходимо отметить, что в струйном насосе-конденсаторе со вставкой № 1 частота высокочастотной пульсации была близка к частоте мерцания лопаток насоса окислителя основного ТНА, что недопустимо, так как делает возможным резонанс бустера и насоса окислителя основного ТНА. В то же время, при отработке струйного насоса-конденсатора со вставкой № 2 наблюдалась минимальная частота высокочастотной пульсации по сравнению с другими конструкциями вставок.

Таким образом, влияние высокочастотных пульсаций струйного насоса-конденсатора со вставкой № 2 на работоспособность бустера и насоса окислителя основного ТНА будет наименьшим.

Как видно из табл. 4, амплитуда высокочастотных пульсаций давления при обработке показаний с датчика ПДПК2 при испытании струйного насоса-конденсатора со всеми тремя вставками была одинаково низкой ($\pm 0,005$ МПа). Такая величина представляется

малой для существенного влияния на работоспособность бустера и насоса окислителя основного ТНА.

При работе струйного насоса-конденсатора со вставками № 1 и 2 струйки газообразного кислорода глубоко внедрялись в поток жидкого кислорода, и их конденсация происходила вне пристеночной области. В результате амплитуда пульсаций снижалась за счет их демпфирования газовыми включениями.

Во вставке № 3 амплитуда высокочастотных пульсаций давления при работе струйного насоса-конденсатора оказалась существенно выше. По показаниям с датчика ПДПК2 при испытаниях без вдува и со вставкой № 3 амплитуда составила $\pm 0,0025$ и $\pm 0,005$ МПа, соответственно. Таким образом, струйный насос-конденсатор со вставкой № 3 преимуществ перед другими вставками не имел.

На основании анализа результатов, полученных при максимальном давлении жидкого кислорода 0,4 МПа на вход в насос опытного образца БТНАО, было выявлено, что на работоспособность бустера влияние частот и амплитуд пульсаций струйного насоса-конденсатора со вставкой № 2 (8 отверстий, $d_{отв} = 3,5$ мм), по сравнению со вставками № 1 (16 отверстий, $d_{отв} = 2,5$ мм) и № 3 (щелевое отверстие), будет несущественным, а на работоспособность насоса окислителя основного ТНА — наименьшим.

Сравнительные экспериментальные исследования работы струйного насоса-конденсатора различных конструкций были продолжены с выбранной конструкцией со вставкой № 2, со вставкой № 4 (одно отверстие $\varnothing 24$ мм) и конструкцией струйного насоса-конденсатора, представленной на рис. 4 (одно отверстие $\varnothing 12$ мм с вдувом газа относительно основного потока под углом 45°) при номинальном давлении жидкого кислорода 0,15 МПа и максимальном давлении 0,4 МПа на вход в насос опытного образца БТНАО. Значения амплитуд пульсаций для указанных трех вариантов исполнения конструкции струйного насоса-конденсатора представлены в табл. 5. Значения амплитуд пульсаций при максимальном давлении 0,4 МПа на вход в насос опытного образца БТНАО приведены в скобках.

Изменения амплитуды пульсаций по времени при номинальном давлении жидкого кислорода 0,15 МПа на вход в насос опытного образца БТНАО, полученные при исследованиях с вдувом газообразного кислорода через одно отверстие $\varnothing 24$ мм и через восемь отверстий $\varnothing 3,5$ мм каждое, представлены на рис. 7 и 8, соответственно. Момент начала вдува газа — на восьмой, окончание вдува — на 18-ой секунде.

Обработка результатов проводилась с датчика ПДПК1.

Таблица 5

Амплитуда пульсаций при номинальном (максимальном) давлении жидкого кислорода

Варианты исполнения	Амплитуды пульсаций при номинальном (максимальном) давлении, МПа
Вставка № 4: одно отверстие Ø24 мм	$\pm 0,08 (\pm 0,30)$
Одно отверстие Ø12 мм	$\pm 0,15 (\pm 0,13)$
Вставка № 2: 8 отверстий Ø3,5 мм (2 ряда по 4 отверстия в шахматном порядке)	$\pm 0,03 (\pm 0,05)$

Из рис. 7 и 8 (момент времени 13 с) и табл. 5 видно, что амплитуда пульсаций при номинальном давлении 0,15 МПа увеличилась в 5 раз (до $\pm 0,15$ МПа) при вдуве через одно отверстие диаметром 12 мм и в 2,7 раза (до $\pm 0,08$ МПа) — при вдуве через одно отверстие диаметром 24 мм относительно амплитуды пульсаций при вдуве через восемь отверстий диаметром 3,5 мм каждое. При максимальном давлении 0,4 МПа амплитуда пульсаций увеличилась в 2,5 раза (до $\pm 0,13$ МПа) при вдуве через одно отверстие диаметром 12 мм и в 6 раз (до $\pm 0,30$ МПа) — при вдуве через одно отверстие диаметром 24 мм относительно амплитуды пульсаций при вдуве через восемь отверстий диаметром 3,5 мм каждое.

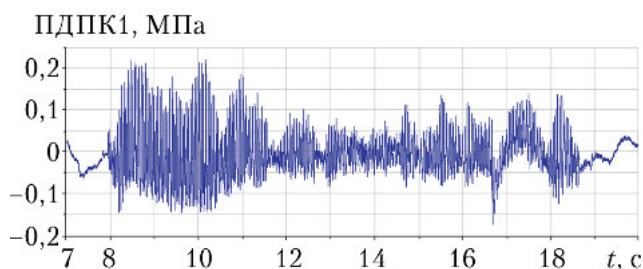


Рис. 7. Изменение амплитуды пульсаций по времени при номинальном давлении жидкого кислорода 0,15 МПа на вход в насос опытного образца БТНАО при вдуве газообразного кислорода в струйный насос-конденсатор через одно отверстие диаметром 24 мм

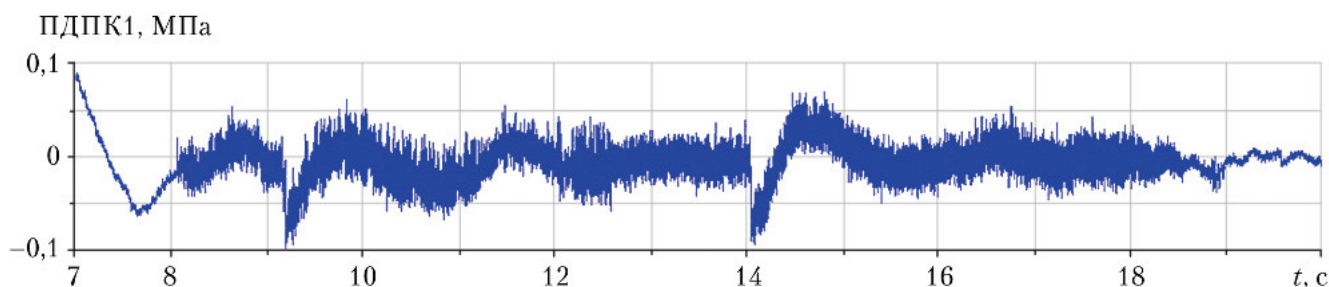


Рис. 8. Изменение амплитуды пульсаций по времени при номинальном давлении жидкого кислорода 0,15 МПа на вход в насос опытного образца БТНАО при вдуве газообразного кислорода в струйный насос-конденсатор через восемь отверстий диаметром 3,5 мм каждое

Такое увеличение амплитуды пульсаций нежелательно для работы насоса окислителя основного ТНА.

На основании результатов проведенных экспериментальных исследований различных конструкций струйных насосов-конденсаторов для штатной конструкции был выбран вариант с восемью отверстиями диаметром 3,5 мм каждое (два пояса по четыре отверстия, расположенных в шахматном порядке) с вдувом газа относительно основного потока под углом 30°, при котором частота и амплитуда пульсаций имели минимальное значение, что благоприятно для совместной работы бустера с насосом окислителя основного ТНА.

Заключение

Результаты проведенных экспериментальных исследований:

- Подтверждена полнота конденсации разработанной конструкции струйного насоса-конденсатора — вдув газообразного гелия в поток жидкого кислорода на выходе из насоса опытного образца БТНАО приводил к существенной разнице в показаниях датчиков расхода до и после струйного насоса-конденсатора.
- Выбран оптимальный вариант конструкции струйного насоса-конденсатора: восемь отверстий диаметром 3,5 мм каждое (два пояса по четыре отверстия, расположенных в шахматном порядке) с вдувом газа относительно основного потока под углом 30°. Данная конструкция имела минимальное значение частоты и амплитуды пульсаций, что благоприятно как для работы бустера, так и для его совместной работы с насосом окислителя основного ТНА.
- Установлено, что повышения давления в струйном насосе-конденсаторе ввиду малых скоростей вдува газа не происходит, а для обеспечения его работы в режиме струйного насоса требуются мероприятия по повышению давления на входе в турбину бустера, что, однако, приведет к увеличению температуры и давления упругости пара на входе в ТНА.

Список литературы

1. Аверин И.Н., Егоров А.М., Тупицын Н.Н. Особенности построения, экспериментальной отработки и эксплуатации двигательной установки разгонного блока ДМ SL комплекса «Морской старт» и пути ее дальнейшего совершенствования // Космическая техника и технологии. 2014. № 2(5). С. 62–73.

2. Катков Р.Э., Лозино-Лозинская И.Г., Мосолов С.В., Скоромнов В.И., Смоленцев А.А., Соколов Б.А., Стриженко П.П., Тупицын Н.Н. Экспериментальная отработка камеры сгорания многофункционального жидкостного ракетного двигателя с кислородным охлаждением камеры: результаты 2009–2014 гг. // Космическая техника и технологии. 2015. № 4(11). С. 12–24.

3. Кошелев И.М., Мартиросов Д.С., Колбасенков А.И. Влияние конденсации высокотемпературного окислительного газа в зоне криогенного кислорода на низкочастотную устойчивость ЖРД // Двигатель. 2012. № 6. С. 24–27.

4. Каталог: Датчики, преобразователи, системы. АО «НИИФИ». Режим доступа: http://niifi.client.runetsoft.ru/upload/iblock/datchiki/sensors_catalog.pdf (дата обращения 24.05.2016 г.).

5. Датчик пульсаций пьезометрический. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ЛХ604ТО. 2009. 19 с.

6. Преобразователь расхода турбинный ТПР. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 4Е2.833.031ТО. 1987. 36 с.

Статья поступила в редакцию 22.09.2016 г.

Reference

1. Averin I.N., Egorov A.M., Tupitsyn N.N. Osobennosti postroeniya, eksperimental'noy otrabotki i ekspluatatsii dvigatel'noy ustanovki razgonnogo bloka DM-SL kompleksa «Morskoy start» i puti eyo dal'neyshego sovershenstvovaniya [Special features of architecture, developmental testing and operation of the propulsion system for the upper stage block DM-SL used in the Sea Launch complex and avenues to its further improvement] // *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii*, 2014, no. 2(5), pp. 62–73.

2. Katkov R.E., Lozino-Lozinskaya I.G., Mosolov S.V., Skoromnov V.I., Smolentsev A.A., Sokolov B.A., Strizhenko P.P., Tupitsyn N.N. Eksperimental'naya otrabotka kamery sgoraniya mnogofunktsional'nogo zhidkostnogo raketnogo dvigatelya s kislorodnym okhlazhdeniem kamery: rezul'taty 2009-2014 gg. [Experimental development of a multifunctional liquid rocket engine with oxygen-cooled combustion chamber: results of 2009–2014] // *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii*, 2015, no. 4(11), pp. 12–24.

3. Koshelev I.M., Martirosov D.S., Kolbasenkov A.I. Vliyaniye kondensatsii vysokotemperaturnogo okislitel'nogo gaza v zone kriogenno kislороda na nizkочastotnyuyu ustoychivost' ZhRD [Influence of condensing of high temperature oxidizing gas in liquid oxygen region on LRE low frequency stability] // *Ingenerny journal*, 2012, no. 6, pp. 24–27.

4. Katalog: datchiki, preobrazovateli, sistemy [Catalog: sensor, transducers, measuring systems]. JSC «NIIFI». Available at: http://niifi.client.runetsoft.ru/upload/iblock/datchiki/sensors_catalog.pdf (accessed 24.05.2016).

5. Datchik pul'satsiy p'ezometricheskij. Tekhnicheskoe opisanie i instruktsiya po ekspluatatsii. LKh604TO. [Piezoelectric pulsation sensor. Technical description and user manual]. 2009, 19 p.

6. Preobrazovatel' rashoda turbinnij TPR. Tekhnicheskoe opisanie i instruktsiya po ekspluatatsii. 4E2.833.031TO. [Turbine flow rate transducer TPR. Technical description and user manual]. 1987, 36 p.