

УДК 621.454.2

А.В. ДЕГТЯРЕВ, В.А. ШУЛЬГА, **А.И. ЖИВОТОВ**, А.В. ДИБРИВНЫЙ*Государственное предприятия «КБ «Южное», Украина*

СОЗДАНИЕ СЕМЕЙСТВА КИСЛОРОДНО-КЕРОСИНОВЫХ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА БАЗЕ ОТРАБОТАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ ГП «КБ «ЮЖНОЕ»

Обеспечение независимости в вопросах доступа в космическое пространство сегодня является приоритетной задачей всех экономически развитых стран. Важнейшей составляющей при решении этой задачи является обеспечение возможности национальной экономике разрабатывать и создавать собственными силами ракетные двигатели. Украинская экономика обладает необходимым научно-техническим потенциалом для разработки и производства самых современных ракетных двигателей. В представленном обзоре работ, выполненных ГП «КБ «Южное», показано, что обеспечение разработок перспективных РН ракетными двигателями собственной разработки, а также сокращение затрат на их создание является самой актуальной задачей сегодняшнего дня для предприятий космической отрасли Украины

Ключевые слова: кислородно-керосиновый ЖРД, замкнутая схема, удельный импульс тяги, тяга.

Введение

В современных условиях развития космической отрасли Украины для обеспечения независимости от внешних поставок при создании перспективных РН актуальной задачей является создание парка собственных ракетных двигателей требуемых размерностей.

1. Постановка задачи

Для решения этой задачи специалистами ГП «КБ «Южное» разрабатывается семейство кислородно-керосиновых ЖРД, характеристики которых представлены в табл. 1.

На всех ЖРД, приведенных в табл. 1, реализована замкнутая схема - с дожиганием окислительного генераторного газа. Диапазон тяг – от 2 до 194 тс. При разработке семейства ЖРД, приведенного в табл. 1, использовался опыт разработки, отработки и эксплуатации двигателей ракеты-носителя «Зенит», которая и на сегодняшний день, после эксплуатации в течение более 20 лет, остается в мире одной из самых современных РН, во многом благодаря своему двигательному парку. Двигатели всех ступеней РН «Зенит» работают на топливной паре керосин + жидкий кислород по схеме с дожиганием окислительного генераторного газа.

Таблица 1

Характеристики кислородно-керосиновых ЖРД, разрабатываемых ГП «КБ «Южное»

Наименование параметра	Индекс двигателя					
	РД805	РД809М	РД809К	РД801	РД801В	РД810
Тяга двигателя, тс:						
- на Земле	-	-	-	123,1	-	194,2
- в пустоте	2,0	9,0(10,0)	10	135,2	142,2	211,3
Удельный импульс двигателя, с:						
- на Земле	-	-	-	302,9	-	303,6
- в пустоте	344	345	352	332,7	350	330,3
Давление в камере, кгс/см ²	78	87,4 (96,3)	100	183,5	183,5	192,7
Коэффициент соотношения компонентов топлива	2,5	2,5	2,62	2,65	2,65	2,65
Температура генераторного газа, °С	392	453,8	434,0	478,0	478,0	476
Сухая масса, кг	120	330	270	1530	1800	2450

Требования к этим двигателям еще на этапе их разработки сформированы специалистами ГП «КБ «Южное».

Маршевый двигатель первой ступени РД171М, тяга 740 тс на Земле, разработан и поставляется предприятием НПО «Энергомаш» (Российская Федерация). Вторая ступень РН «Зенит» комплектуется двумя двигателями:

- маршевым РД120, тяга 85 - 93 тс в пустоте;
- рулевым РД8, тяга 8 тс в пустоте.

Рулевой двигатель РД8 разработан специалистами ГП «КБ «Южное» и отработан на стендах НИИХимМаш, ныне Российская Федерация.

Маршевый двигатель второй ступени РД120 разработан специалистами НПО «Энергомаш», но изготавливается в Украине, на Южном машиностроительном заводе.

В процессе эксплуатации РН «Зенит», для повышения энергетических возможностей РН, совместными усилиями специалистов НПО «Энергомаш» и ГП «КБ «Южное» реализовано форсирование РД120 от 85 до 93 тс, после серии испытаний на стенде ГП «Южмаш».

История создания двигателей РН «Зенит» свидетельствует, что освоение новой технологии разработки и доводки двигателей по схеме с дожиганием окислительного генераторного газа потребовало огромных затрат материальных ресурсов и времени. Каждый из трех наименований двигателей РН «Зенит» отработывался более 10 лет без учета этапа НИР продолжительностью ~ 4 года. При этом для

отработки потребовалось до 100 и более экземпляров двигателей.

2. Результаты исследований

Что дало применение замкнутой схемы ЖРД?

В табл. 2 приведены характеристики двигателей первых ступеней РН «Союз», которая используется и поныне, РН «Сатурн-V», РН «Зенит», РН «Атлас -5», РН «Ангара» и перспективной РН «Маяк».

Все приведенные в табл. 2 двигатели работают на топливной паре керосин + жидкий кислород. Двигатели РД107 РН «Союз» и F-1 РН «Сатурн-V» выполнены по открытой схеме – с выбросом генераторного газа, двигатели РН «Зенит», «Атлас -5», «Ангара» и «Маяк» - по замкнутой – с дожиганием окислительного генераторного газа. Из приведенного в табл. 2 видно, что за счет применения замкнутой схемы, существенно, возрос удельный импульс тяги двигателей. В процессе отработки двигателей, работающих по замкнутой схеме, пришлось решать целый ряд проблем по запуску двигателя, процессам поджига топлива, стойкости материалов в среде окислительного газа.

Это и вызвало большие затраты на отработку двигателей РН «Зенит», работающих по замкнутой схеме. Последующие двигатели РД180 и РД191, разработанные специалистами НПО «Энергомаш» на базе двигателя первой ступени РН «Зенит» РД170, потребовали гораздо меньших затрат [1].

Таблица 2

Характеристики двигателей первых ступеней ракет-носителей

Наименование параметра	Индекс двигателя и наименование РН						
	РД107 Союз	F-1 Сатурн	РД171 Зенит	РД180 Атлас-5	РД191 Ангара	РД801 Маяк	РД810 Маяк
Тяга двигателя, тс:							
- на Земле	83,7	691	740	390	196	123,1	194,2
- в пустоте	102	793	806	423	212	135,2	211,3
Удельный импульс двигателя, с							
- на Земле	257	265	309	311	309	302,9	303,6
- в пустоте	314	304	337	338	337	332,7	330,3
Давление в камере, кгс/см ²	59,6	68,7	250	272	263	183,5	192,7
Соотношение компонентов топлива	2,47	2,27	2,6	2,72	2,75	2,65	2,65
Температура генераторного газа, °С	~600*	~800**	499	520	573	478,0	476
Масса двигателя, кг	1190	8400	9300	5480	2200	1530	2450
Удельная масса двигателя (K _м =m _{дв} /R _п), $\frac{\text{масса_кг}}{\text{тяга_тс}}$	14,22	12,15	12,57	14,05	11,22	12,43	12,62

*) Продукты разложения H₂O₂

**) Восстановительный генераторный газ

Анализ вышеприведенных данных, а также опыта разработки других типов двигателей, показывает, что затраты на разработку новых двигателей можно многократно сократить, если использовать при их разработке освоенные технологии.

За время разработки и эксплуатации РН «Зенит» специалистами ГП «КБ «Южное» накоплен большой опыт по вопросам разработки, изготовления, испытаний и эксплуатации двигателей, который в настоящее время используется при создании новых образцов ЖРД.

В настоящее время наиболее востребованными для первых ступеней РН являются двигатели на топливе жидкий кислород + керосин, которые, обладая достаточно высокими энергетическими возможностями, позволяют минимизировать ущерб окружающей среде.

Что касается схемы двигателя – предпочтение отдается замкнутому циклу с дожиганием в камере сгорания окислительного генераторного газа. Такая схема позволяет по максимуму использовать энергетические возможности выбранной топливной пары. Одним из определяющих факторов для получения более высоких энергетических характеристик двигателя является повышение давления в камере сгорания. На отработанных образцах двигателей номинальное давление в камере сгорания достигает $\sim 270 \text{ кгс/см}^2$ (РД180). При этом температура окислительного генераторного газа с учетом разбросов за счет отклонения внутридвигательных и внешних факторов превышает 600°C .

Для двигателей первых ступеней более приоритетным является обеспечение высокой надежности, в том числе за счет ограничения температуры окислительного генераторного газа.

Мы считаем, что для повышения надежности параметры двигателя следует балансировать из условия ограничения максимальной температуры окислительного генераторного газа уровнем $\sim 500^\circ\text{C}$. Это условие ограничивает давление в камере сгорания в пределах $180\text{--}200 \text{ кгс/см}^2$.

Проведенные специалистами центра им. Келдыша экспериментальные работы по изучению зажигания конструкционных материалов металлическими и органическими частицами, переносимыми потоком генераторного газа, а также трением в потоке жидкого кислорода позволяют оптимизировать выбор материалов для элементов газового тракта двигателя и тракта жидкого кислорода. Результаты этих работ также однозначно показывают, что снижение температуры генераторного газа затрудняет процесс зажигания конструкционных материалов газового тракта. Поэтому в своей практике проектирования новых ЖРД мы стремимся, ограничить верхний порог температуры генераторного газа

уровнем 500°C . Такой подход к выбору определяющих параметров позволяет обеспечить не только достаточно высокие удельные параметры двигателя, но и более высокую его надежность. Как показывает практика, предельно высокая энергетика двигателей первой ступени не является обязательной для получения высокой энергетической эффективности первой ступени.

3. Решение задачи

На базе рулевого двигателя РД8 нами разработаны проекты ЖРД, приведенных на рис. 1, которые могут найти применение в качестве маршевых для верхних ступеней РН.

Проект двигателя РД809М [2] разрабатывался для использования в качестве маршевого на второй ступени РН «Таурус-2». Схемные решения для этого двигателя, состав агрегатов полностью заимствованы из РД8. Под новые задачи потребовалось изменение компоновки двигателя для обеспечения минимальных габаритов по диаметру. По нашим оценкам отработка и сертификация такого двигателя могут быть проведены на 5 - 7 экземплярах. Все агрегаты двигателя находятся в производстве.

Разрабатывается также проект однокамерного двигателя РД809К [3, 6], который может быть использован в качестве маршевого для верхних ступеней РН, в том числе и для РН «Зенит». Весь комплект агрегатов автоматики, агрегаты системы подачи топлива в камеру и газогенератор заимствованы из двигателя-прототипа РД8. Потребовалось лишь разработать новую камеру сгорания. Можно прогнозировать, что для доводки и сертификации этого двигателя потребуется 8 – 10 экземпляров.

На базе камеры двигателя РД8 создается проект маршевого двигателя РД805 для верхних ступеней РН тягой 2 тс.

Разрабатываемые нами на базе двигателя РД8 три новых современных ЖРД могут быть с минимальными затратами отработаны и применены в качестве маршевых для верхних ступеней РН.

Для первых ступеней перспективных РН специалистами ГП «КБ «Южное» разработаны проекты двух новых ЖРД РД801 и РД810. Маршевый двигатель первой ступени РД801 [4] в перспективе может быть применен для семейства РН «Маяк». Двигатель спроектирован по схеме с дожиганием окислительного генераторного газа. Общий вид двух вариантов двигателя РД801 приведен на рис. 2, а характеристики представлены в табл. 1 и 2.

Управление агрегатами автоматики проводится подачей газа с помощью электропневмоклапанов, а РН в полете – отклонением двигателя в одной (исполнение 0) или двух плоскостях (исполнение 01).

Воспламенение топлива при запуске обеспечивается пусковым горючим. Оработка может быть проведена на 10 - 12 экземплярах двигателей.

Нами также разрабатывается вариант высотного двигателя РД801, которому присвоен индекс

РД801В. Сохраняются полностью схемные решения и состав агрегатов двигателя РД801. Модификации подвергается сопловая часть камеры для обеспечения более высокой степени расширения.

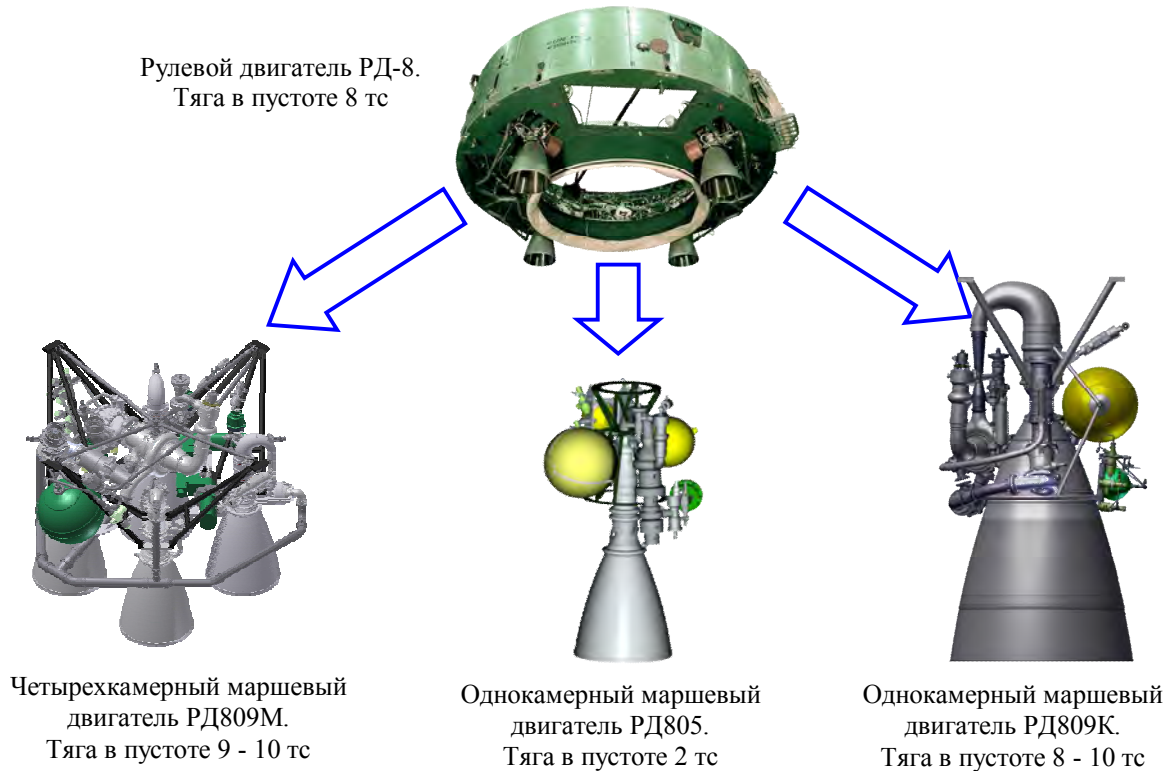


Рис. 1. Проекты маршевых двигателей на базе РД8

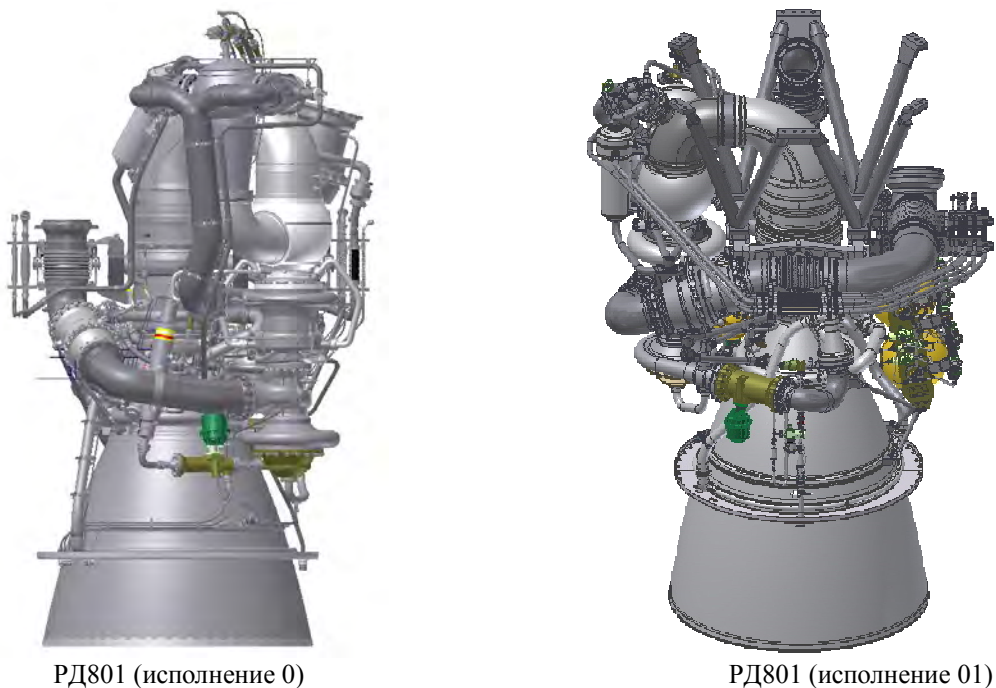


Рис. 2. Маршевый двигатель РД801

Высотный вариант двигателя РД801В планируется использовать в качестве маршевого для вторых ступеней перспективных РН, в том числе и для РН «Маяк».

Маршевый двигатель РД810 [5] (см. рис. 3) спроектирован с использованием таких же подходов, как и при проектировании РД801. Тяга двигателя в земных условиях 194,2 тс, а в пустоте 211,3 тс. Этот двигатель может быть использован в качестве маршевого и для первой ступени РН «Зенит» в случае возникновения трудностей с поставками двигателя РД171М.

Использование при его проектировании технологий, освоенных в процессе доводки и эксплуатации двигателей РД120 и РД8, существенно сократит затраты на его доводку.

В составе первых ступеней РН «Маяк» и других перспективных РН предусматривается использование кластерных двигательных установок, комплектуемых четырьмя автономными двигателями РД801 или РД810.

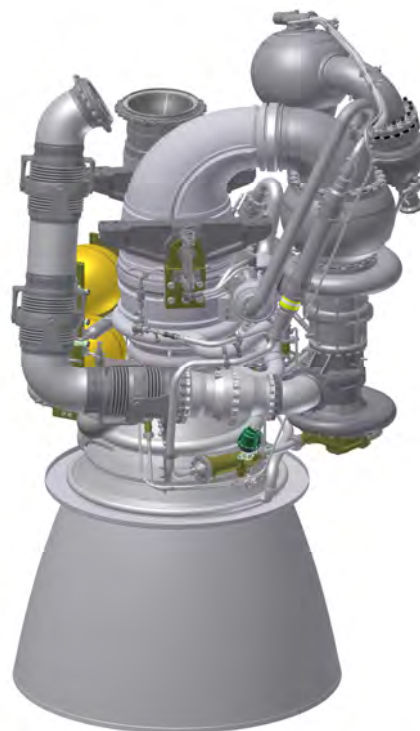


Рис. 3. Маршевый двигатель РД810

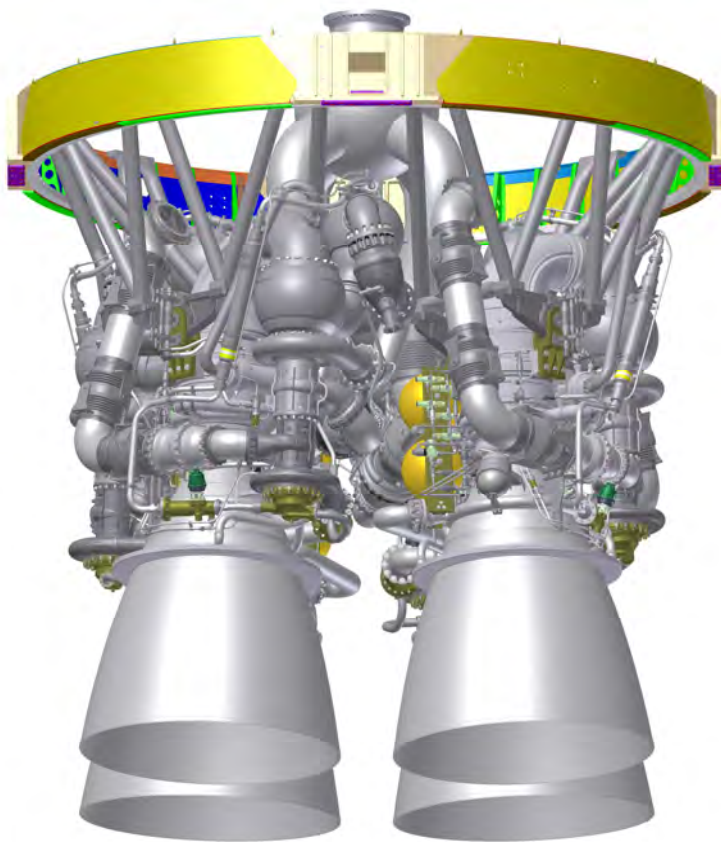


Рис. 4. Кластерный маршевый двигатель РД810М

Анализ показывает, что разработка и применение для первых ступеней РН двигателей большой размерности с тягой 600 - 800 тс и более сулит определенные выигрыши в массогабаритных характеристиках. Например, замена одного двигателя РД171М кластерной двигательной установкой из четырех двигателей РД810 (рис. 4) приведет к увеличению массы двигательной установки на ~ 0,5 - 0,8 т. Но в данном случае РД171М является четырехкамерным двигателем и габариты одной камеры соизмеримы с габаритами двигателя РД810. Сопоставление масс однокамерного двигателя с кластерным для тяги ~ 600 - 800 тс дает выигрыш в массе до 1- 1,5 т в пользу однокамерного.

Вместе с тем разработка и отработка однокамерного двигателя с тягой 600 - 800 тс требует решения целого ряда вопросов, связанных с изготовлением крупногабаритных агрегатов и, в частности, камеры сгорания. Требуется оснащение производства специальными станками для механической обработки крупногабаритных деталей и сборок, печами для пайки крупногабаритных секций сопла, модернизация проливочных испытательных стендов и т.д. Решение этих задач связано с большими затратами.

Применение кластерных двигательных установок на первых ступенях РН среднего и тяжелого классов позволяет избежать трудностей, связанных с созданием ЖРД большой размерности с тягами 600 - 800 тс и более.

Выводы

В настоящее время наиболее приоритетной задачей экономически развитых стран является обеспечение независимости в вопросах доступа в космическое пространство, решение которой затруднительно без освоения производства современных ЖРД. Специалисты ГП «КБ «Южное» ведут разработки ЖРД, которые могут найти применение в качестве маршевых как для первых, так и для верхних ступеней перспективных РН.

Разработки ведутся с использованием накопленного опыта и освоенных технологий, что позволяет многократно сократить затраты на их отработку и исключить негативное влияние на окружающую среду. Применение кластерных двигательных установок на первых ступенях РН среднего и тяжелого классов позволяет избежать трудностей, связанных с созданием ЖРД большой размерности с тягами 600 | 800 тс и более.

Литература

1. НПО «Энергомаш» им. Академика В.П. Глушко [Электронный ресурс] / Двигатели. – Режим доступа: <http://www.npoenergomash.ru/engines/> - 24.12.2012.

2. Маршевый двигатель РД809 второй ступени РН «Таурус-П»: Эскизный проект. Пояснительная записка 00.1506.0000.0000.09.0 ПЗ [Текст] / С.Н. Конюхов, В.Н. Шнякин, В.А. Шульга, А.И. Животов, А.В. Дибривный [и др.]. - Днепропетровск: ГП «КБ «Южное», 2010. – 148 с.

3. Маршевый двигатель РД809: Определение облика и основных характеристик маршевого двигателя РД809К для использования в составе II ступени РН «Таурус-П». Научно-технический отчет НТО №448-14/10 [Текст] / С.Н. Конюхов, В.Н. Шнякин, В.А. Шульга, А.И. Животов, А.В. Дибривный [и др.]. - Днепропетровск: ГП «КБ «Южное», 2010. – 50 с.

4. Маршевый двигатель РД801: Эскизный проект. Выбор параметров, конструкции двигателя и основных агрегатов, надежность, экономические показатели. Пояснительная записка. Ч.1.-РД801.94.4002.0000.0000.09.0 ПЗ1 [Текст] / А.В. Дегтярев, В.Н. Шнякин, В.А. Шульга, А.И. Животов [и др.]. – Днепропетровск: ГП «КБ «Южное», 2010. - 347 с.

5. Маршевый двигатель РД810: Дополнение к эскизному проекту. Пояснительная записка 94.4005.0000.0000.00.0 ДПЗ [Текст] / А.В. Дегтярев, В.Н. Шнякин, В.А. Шульга, А.В. Дибривный [и др.]. - Днепропетровск: ГП «КБ «Южное», 2011. – 255.

6. Маршевый двигатель РД809К: Эскизный проект. Выбор параметров, конструкции двигателя и основных агрегатов, надежность, экономические показатели. Пояснительная записка. Ч.1. РД809К 94.4006.0000.0000.00.0 ПЗ [Текст] / А.В. Дегтярев, В.А. Шульга, Л.М. Усатюк, А.В. Дибривный [и др.]. - Днепропетровск: ГП «КБ «Южное», 2012. - 179 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. теплотехники В.А. Габринец, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. Лазаряна, Днепропетровск.

**СТВОРЕННЯ СІМЕЙСТВА КИСНЕВО-ГАСОВИХ РІДИННО-РАКЕТНИХ ДВИГУНІВ
НА БАЗІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ РАКЕТ - НОСІЇВ
ДП "КБ "ПІВДЕННЕ"**

А.В. Дегтярьов, В.А. Шульга, О.І. Животов, О.В. Дібрівний

Забезпечення незалежності в питаннях доступу в космічний простір сьогодні є пріоритетним завданням всіх економічно розвинених країн. Найважливішою складовою при рішенні цього завдання є забезпечення можливості національній економіці розробляти й створювати власними силами ракетні двигуни. Українська економіка має необхідний науково-технічний потенціал для розробки й виробництва найсучасніших ракетних двигунів. У представленому огляді робіт, виконаних ДП "КБ "Південне", показано, що забезпечення розробок перспективних РН ракетними двигунами власної розробки, а також скорочення витрат на їхнє створення є самим актуальним завданням сьогоднішнього дня для підприємств космічної галузі України.

Ключові слова: киснево-гасовий ЖРД, замкнута схема, питомий імпульс тяги, тяга.

**THE DEVELOPMENT OF LOX-KEROSENE LIQUID ROCKET ENGINES
FAMILY FOR PERSPECTIVE LAUNCH VEHICLES OF YUZHNOYE SDO
BASED ON PROVEN TECHNOLOGIES**

A.V. Degtyarev, V.A. Shulga, A.I. Zhivotov, A.V. Dibrivny

Providing independent space access today is the prior task of all economically developed countries. The critical part of this goal is providing the national economics with the possibility to develop and create own rocket engines. Ukrainian economics has the necessary technical and scientific potential for developing and manufacturing the up-to-date rocket engines. The presented overview of Yuzhnoye SDO works shows that providing the perspective launch vehicles with rocket engines of own development and reducing the expenses for their development is the most topical current problem for Ukrainian space industry.

Key words: LOX-kerosene LRE, staged combustion, specific impulse, thrust/

Дегтярев Александр Викторович – кандидат экономических наук, генеральный конструктор - генеральный директор ГП «КБ «Южное», Днепропетровск, Украина, e-mail: info @ yuzhnoye.com.

Шульга Владимир Андреевич – кандидат технических наук, заместитель главного конструктора ГП «КБ «Южное» по разработке ракетных двигателей, Днепропетровск, Украина, e-mail: info @ yuzhnoye.com.

Животов Александр Иванович – начальник сектора отдела общей сборки ЖРД ГП «КБ «Южное», Днепропетровск, Украина.

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