СибАК
www.sibac.info

ISSN 2310-4066

CVII СТУДЕНЧЕСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

№11(106)

НАУЧНОЕ СООБЩЕСТВО СТУДЕНТОВ XXI СТОЛЕТИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

г. НОВОСИБИРСК, 2021

СибАК
www.sibac.info

НАУЧНОЕ СООБЩЕСТВО СТУДЕНТОВ XXI СТОЛЕТИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Электронный сборник статей по материалам CVII студенческой международной научно-практической конференции

№ 11 (106)
Ноябрь 2021 г.

Издается с Октября 2012 года

Новосибирск
2021

УДК 62
ББК 30
Н34

Председатель редколлегии:
Дмитриева Наталья Витальевна – д-р психол. наук, канд. мед. наук, проф., академик Международной академии наук педагогического образования, врач-психотерапевт, член профессиональной психотерапевтической лиги.

Редакционная коллегия:
Ахмеднабиев Расул Магомедович – канд. техн. наук, доц. Полтавского национального технического университета им. Ю. Кондратюка;
Ахметов Сайранбек Махсутович – д-р техн. наук, проф., академик Национальной инженерной академии РК и РАЕН, профессор кафедры «Механика» Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, руководитель Казахского отделения (г. Астана) международной научной школы устойчивого развития им. ак. П.Г. Кузнецова;
Елисеев Дмитрий Викторович – канд. техн. наук, доцент, бизнес-консультант Академии менеджмента и рынка, ведущий консультант по стратегии и бизнес-процессам, «Консалтинговая фирма «Партнеры и Боровков».

Н34 **«Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки»:** Электронный сборник статей по материалам CVII студенческой международной научно-практической конференции. – Новосибирск: Изд. ООО «СибАК». – 2021. – № 11(106) / [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: https://sibac.info/archive/technic/11(106).pdf

Электронный сборник статей по материалам CVII студенческой международной научно-практической конференции «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки» отражает результаты научных исследований, проведенных представителями различных школ и направлений современной науки.

Данное издание будет полезно магистрам, студентам, исследователям и всем интересующимся актуальным состоянием и тенденциями развития современной науки.

Статьи сборника «Научное сообщество студентов. Технические науки» размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ББК 30

ISSN 2310-4066
© ООО «СибАК», 2021 г.

Оглавление

Секция «Архитектура, строительство» **4**

УСИЛЕНИЕ ОПОР МОСТА КОМПОЗИЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ В ГОРОДЕ РОСТОВ-НА-ДОНУ 4
Репин Александр Александрович
Белан Максим Юрьевич
Ящук Максим Олегович

Секция «Космос, авиация» **9**

ПРОБЛЕМА БАЛАНСА ОСЕВЫХ СИЛ В ТУРБОНАСОСНОМ АГРЕГАТЕ (ТНА) 9
Каушан Николай Владимирович

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЖИДКОГО КИСЛОРОДА В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ НАУКИ И ТЕХНИКИ 15
Каушан Николай Владимирович

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 19
Каушан Николай Владимирович

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВНУТРЕННИХ ПОЛОСТЕЙ ТУРБОНАСОСНОГО АГРЕГАТА ЖРД 23
Каушан Николай Владимирович

СИСТЕМА НАДДУВА БАКА РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ ЖРД 28
Каушан Николай Владимирович

СИСТЕМА ПОДАЧИ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА ЖРД 33
Каушан Николай Владимирович

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОДАЧИ ТОПЛИВА ЖРД 38
Каушан Николай Владимирович

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ РАКЕТ СВЕРХЛЕГКОГО КЛАССА С ЖРД 43
Каушан Николай Владимирович

УДЕЛЬНЫЙ ИМПУЛЬС ЖРД, ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ПОВЫШЕНИЯ 48
Каушан Николай Владимирович

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЖРД 53
Каушан Николай Владимирович

Секция «Технологии» **59**

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БУМАГООБРАЗУЮЩИХ СВОЙСТВ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ РАЗЛИЧНОГО МАКУЛАТУРНОГО СЫРЬЯ 59
Слизикова Елена Александровна
Шуркина Валентина Ивановна

СЕКЦИЯ

«АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО»

УСИЛЕНИЕ ОПОР МОСТА КОМПОЗИЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ В ГОРОДЕ РОСТОВ-НА-ДОНУ

Репин Александр Александрович
студент,
кафедра ИПС,
Ростовский государственный
университет путей сообщения,
РФ, г. Ростов-на-Дону
E-mail: repin.alex.16@mail.ru

Белан Максим Юрьевич
студент,
кафедра ППХ,
Ростовский государственный
университет путей сообщения,
РФ, г. Ростов-на-Дону
E-mail: wot1909@gmail.ru

Ящук Максим Олегович
научный руководитель,
старший преподаватель, кафедра ИПС,
Ростовский государственный
университет путей сообщения,
РФ, г. Ростов-на-Дону

REINFORCEMENT OF BRIDGE SUPPORTS WITH COMPOSITE MATERIALS IN THE CITY OF ROSTOV-ON-DON

Alexandr Repin
Student,
Department of SDC,
Rostov State Transport University,
Russia, Rostov-on-Don

Maxim Belan
Student,
Department of PTF,
Rostov State Transport University,
Russia, Rostov-on-Don

Maxim Yashchuk
Scientific supervisor,
senior lecturer, Department of SDC,
Rostov State Transport University,
Russia, Rostov-on-Don

АННОТАЦИЯ

Представлены данные о различных материалах усиления, основанных на углеродном волокне. В качестве материала усиления были выбраны полимерные композиционные материалы (ПКМ) – пластины и холсты. Дана информация о преимуществах ПКМ с точки зрения снижения трудоемкости по усилению и относительно низкой стоимости производства работ. Кроме того, перечислены свойства ПКМ, положительно влияющие на дальнейший процесс эксплуатации мостовых балок после усиления. Приведены основные дефекты эксплуатируемого моста и последующий анализ проведения ремонтных работ с выводом.

ABSTRACT

Data on various reinforcement materials based on carbon fiber are presented. Polymer composite materials (PCM) – plates and canvases were chosen as the reinforcement material. Information is given about the advantages of PCM in terms of reducing the complexity of reinforcement and relatively low cost of work. In addition, the properties of PCM that positively affect the further operation of bridge beams after reinforcement are listed. The main defects of the operated bridge and the subsequent technical and economic comparison of repair work options with subsequent conclusion are given.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, усиление мостов, углеродное волокно, опоры моста, ПКМ, дефекты, неисправности.

Keywords: polymer composite materials, reinforcement of bridges, carbon fiber, bridge supports, PCM, defects, malfunctions.

Неразрезные композиционные материалы (композиты) с полимерной матрицей, армированные волокном, широко применяются для усиления объектов

гражданского строительства. Использование композитов обеспечивает множество преимуществ: малый вес, хорошие механические свойства, коррозионная стойкость и другие. Композиционные материалы состоят из двух и более различных компонентов: непрерывной фазы (матрицы) и армирующей фазы (наполнителя), роль которой заключается в изменении в нужном для практических целей направлении свойств матрицы.

При проектировании необходимо учитывать и целый ряд других физических свойств, оказывающих в дальнейшем влияние на эксплуатацию отремонтированного сооружения: стойкость к химическим воздействиям и ударным нагрузкам, длительную прочность, деформирование при сжатии, температурные воздействия, огнестойкость и электропроводимость, соответствие санитарно-гигиеническим требованиям.

При осмотре моста в городе Ростов-на-Дону, расположенного в створе улицы Армянской и пересекающего несудоходную реку Темерник, стало известно, что мост введен в эксплуатацию в 1980 году, конструкция промежуточных опор, выполненных из железобетона, имеет круглое сечение. Количество стоек на одной опоре составляет 8 штук. Пролетные строения запроектированы под нагрузку Н-30 и НК-80.

Рисунок 1. Общий вид моста

При визуальном осмотре опор моста обнаружены многочисленные дефекты, такие как: трещины в вертикальном направлении с шириной максимального

раскрытия до 2,5 мм, следы морозного разрушения ригеля в результате обводнения конструкции, имеются также следы выщелачивания на стойках опоры (до 15% от общего количества). Дефекты и неисправности приведены на рисунке 2.

Вышеприведенные дефекты стали следствием плохого отвода воды и неудовлетворительной гидроизоляции, что привело к разрушению защитного слоя ригеля и образованию трещин в стойках опор мостового перехода.

Рисунок 2. Дефекты и неисправности опор моста: а – Трещина в вертикальном направлении с раскрытием более 2,5 мм; б – разрушение защитного слоя продуктами коррозии арматуры

Для устранения этих дефектов рекомендуется воспользоваться составами (или подобными им) MasterEmaco N900 – для заполнения трещин; усиление целесообразно провести холстами MasterBraceFiber, которые приклеивают с помощью клеевого состава MasterBrace 4500. Указанные холсты повысят прочность и несущую способность моста до необходимого безопасного уровня и предотвратят повторное возникновение подобных дефектов.

Из вышеприведенных достоинств усиления опор композиционными материалами, можно сделать вывод, что усиление дает повышение грузоподъемности, достаточную для беспрепятственного и безопасного пропуска нагрузок. При

этом выбор схемы усиления обосновывают соответствующим технико-экономическим сравнением. Таким образом усиление опор вышеприведенного моста является обоснованным как с технико-экономической стороны, так и с научной, путем внедрения современных материалов усиления на центрально сжатые и внецентренно сжатые конструкции мостов.

Список литературы:

1. Бокарев С.А. Усиление железобетонных пролетных строений мостов преднапряженными полимерными композиционными материалами / С.А. Бокарев, М.О. Ящук // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУПСа, 2016. – №1. – С. 98 – 107.
2. Смердов Д.Н. Экспериментальные исследования несущей способности изгибаемых железобетонных элементов, усиленных преднапряженными полимерными композиционными материалами / Д.Н. Смердов, М.О. Ящук // Научный журнал строительства и архитектуры. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2019. – №3. – С. 72 – 83.
3. Ящук М.О. Программа лабораторных исследований железобетонных балок, усиленных преднапряженными полимерными композиционными материалами / М.О. Ящук // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2017. – №4. – С. 158 – 170.

СЕКЦИЯ

«КОСМОС, АВИАЦИЯ»

ПРОБЛЕМА БАЛАНСА ОСЕВЫХ СИЛ В ТУРБОНАСОСНОМ АГРЕГАТЕ (ТНА)

Каушан Николай Владимирович
студент,
кафедра двигателей летательных аппаратов,
Сибирский государственный университет науки
и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,
РФ, г. Красноярск
E-mail: kaushan98@mail.ru

THE PROBLEM OF AXIAL FORCE BALANCE IN A TURBOPUMP UNIT

Nikolay Kaushan
Student,
Department of Aircraft Engines,
Reshetnev Siberian State University
of Science and Technology,
Russia, Krasnoyarsk

АННОТАЦИЯ

Цель настоящей статьи – изучить баланс осевых сил на конкретном примере и рассмотреть возможность баланса при помощи автоматического разгрузочного устройства. В качестве метода использованы общенаучные методы анализа, обобщения, сравнения. Результаты научных изысканий позволили говорить о необходимости совершенствования работы турбонасосного агрегата жидкостных ракетных двигателей. Исследования российских ученых, проводимые на базе отраслевых НИИ и конструкторских бюро соответствующего профиля, показали, что жидкостные ракетные двигатели остаются основными для перспективных средств выведения летательных аппаратов на орбиту в ближайшие 20 лет.

ABSTRACT

The purpose of this article is to study the balance of axial forces on a concrete example and to consider the possibility of balance using an automatic unloading

device. General scientific methods of analysis, generalization, and comparison are used as a method. The results of scientific research made it possible to talk about the need to improve the operation of the turbopump unit of liquid rocket engines. Research by Russian scientists conducted on the basis of industry research institutes and design bureaus of the relevant profile has shown that liquid rocket engines remain the main ones for promising means of launching aircraft into orbit in the next 20 years.

Ключевые слова: жидкостный ракетный двигатель, баланс осевых сил, запуск двигателя, турбонасосный агрегат, автоматическое разгрузочное устройство.

Keywords: liquid rocket engine, axial force balance, engine start, turbopump unit, automatic unloading device.

В процессе запуска жидкостного ракетного двигателя на режимах его глубокого дросселирования наиболее остро встает вопрос баланса осевых сил в турбонасосном агрегате (ТНА). Это связано с работой насосов и турбины двигателя на нерасчетных режимах. Эти моменты приводят к возникновению несбалансированных избыточных осевых сил, действующих на радиально-упорные подшипники турбонасосного агрегата. В турбонасосных агрегатах (ТНА) современных жидкостных ракетных двигателей для разгрузки опор от действия осевых сил прочное место заняли автоматические разгрузочные устройства или автоматы осевой разгрузки (АОР) с торцовым регулирующим элементом [3, с.163-178].

Осевые нагрузки необходимо уменьшать, для чего используют автоматическое разгрузочное устройство (АРУ). Использование автоматической осевой разгрузки ротора обеспечивает уравновешивание осевых сил от давления жидкости и газа и изменения количества движения жидкости и газа, возникающего при работе насоса и турбины [1, с. 107-108].

Основная цель – уменьшение осевого воздействия на подшипники за счет действия гидродинамических сил. Работа АРУ характеризуется отсутствием трения поверхностей, образующих гидравлический зазор, в противном случае это может привести к местному возгоранию.

Традиционной для ТНА, разработанных в России, является конструкция автоматической осевой разгрузки ротора с одной регулируемой осевой щелью [2] (рисунок 1).

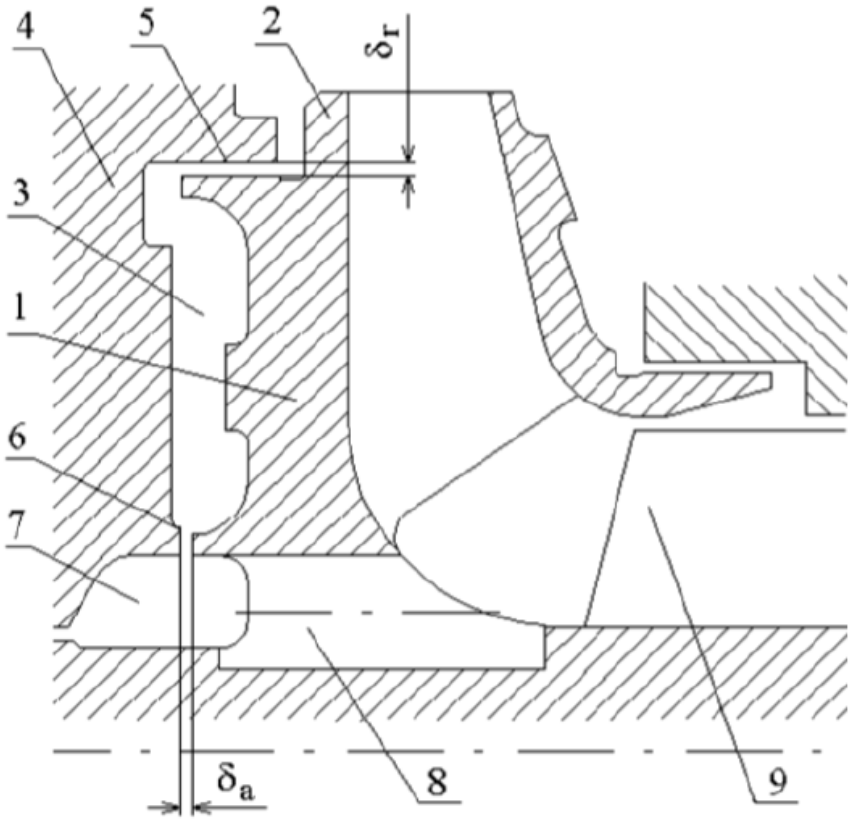


Рисунок 1. Автоматическое разгрузочное устройство (АРУ), характерная для российских разработок

На рисунке 1 представлен разгрузочный поршень 1 автомата осевой разгрузки (АОР), как правило, совмещён с основным диском крыльчатки 2. На рисунке 1 представлены:

3 – разгрузочная полость с регулируемым давлением;

4 – корпус;

5 – нерегулируемая радиальная щель наружного диаметра крыльчатки;

6 – автоматически регулируемая осевая щель у ступицы;

7 – полость слива после осевой щели;

8 – разгрузочные отверстия в ступице крыльчатки;

9 – шнек.

В процессе работы ТНА любое отклонение от номинального значения осевого усилия, действующего на ротор, вызывает осевое перемещение ротора, в результате чего изменяется величина зазора δ_a в регулируемой осевой щели. При постоянном значении радиального зазора δ_r в нерегулируемой радиальной щели изменяются давление в разгрузочной полости и связанная с ним величина осевого усилия, действующего на разгрузочный поршень. Осевое перемещение ротора прекращается, когда приращение осевого усилия, действующего на разгрузочный поршень, уравновесит осевое усилие, вызвавшее его перемещение. Для ограничения осевого перемещения ротора, когда возникшее неуравновешенное осевое усилие превышает разгружающую способность АОР, одна из опор ротора имеет в корпусе торцовые ограничители.

Автоматическое разгрузочное устройство (АРУ) достаточно широко используется за рубежом. Имеются разработки в США, Японии, Италии, у которых автоматическая осевая разгрузка ротора с двумя регулируемыми осевыми щелями при осевом перемещении ротора осевой щелью с изменяемым зазором δ_{a1} у наружного диаметра крыльчатки (рисунок 2).

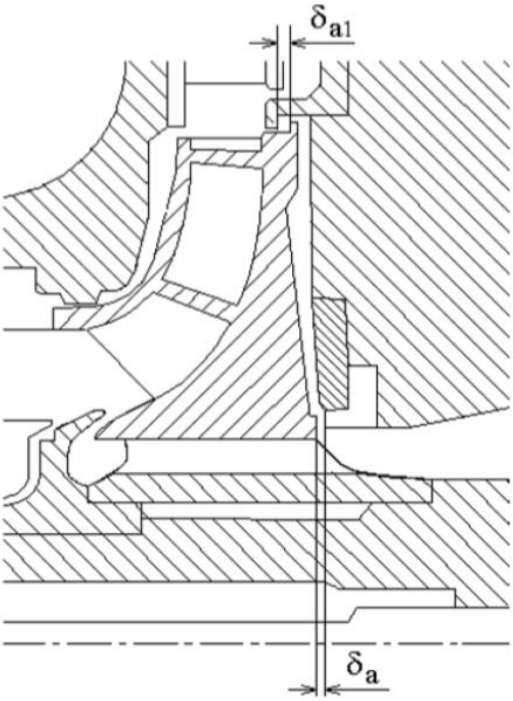


Рисунок 2. Схема автоматической осевой разгрузки с двумя регулируемыми щелями

Отличается такая АОР автоматически регулируемой при осевом перемещении ротора осевой щелью с изменяемым зазором δ_{a1} у наружного диаметра крыльчатки. При осевом перемещении ротора под воздействием неуравновешенного осевого усилия регулирование давления в разгрузочной полости осуществляется за счет изменения зазоров δ_a и δ_{a1} при этом один из зазоров увеличивается, а второй уменьшается.

Приведенные на рисунках 1 и 2 схемы АОР имеют свои особенности. АОР с одной регулируемой щелью, которая представлена на рисунке 1, используемый в российских ТНА, имеет пологую характеристику (малую жесткость) в области повышенных зазоров δ_a в осевой щели. АОР имеет относительно простую конструкцию, так как в нем одна регулируемая щель и нерегулируемая радиальная щель выполняется в виде двух цилиндрических поверхностей. АОР не требует высокой точности изготовления, относительно прост в сборке, так как требуется настройка одного зазора δ_a в осевой щели.

АОР с двумя регулируемыми щелями, представленная на рисунке 2, имеет большую жесткость и меньшее осевое перемещение по сравнению с АОР с одной регулируемой щелью. АОР более сложен конструктивно и в сборке, так как требуется настройка зазоров двух регулируемых осевых щелей. С таким АОР диск крыльчатки и корпус должны иметь высокую осевую жесткость, для того чтобы обеспечить минимальное влияние осевых деформаций конструкции на характеристики АОР.

АОР следует располагать как можно ближе к упорному подшипнику, благодаря чему достигается минимальное влияние силовых и термических деформаций ротора и корпуса на его работу.

Опыт создания двигателей свидетельствует о том, что осевая разгрузка ротора является общей проблемой для ТНА, выполненных с осевым подводом газа к турбине. Разгрузки роторов ТНА с осевым подводом газа к турбине является решаемой, но требует применения специальных конструктивных мероприятий, усложняющих конструкцию ТНА и зачастую ведущих к снижению экономичности.

В процессе разработки новых жидкостных ракетных двигателей конструкторскими подразделениями и научно-исследовательскими организациями необходимо решить множество проблем конструкторского, технологического, производственного и экспериментального характера. Одним из них является обеспечение высокой эффективности и безопасности работы турбонасосного агрегата в течение рабочего и гарантированного срока службы двигателя. На практике было доказано, что окончательная регулировка мощных двигателей является наиболее сложной проблемой безопасной эксплуатации турбонасосного агрегата и необходимо разгрузить радиально-упорные подшипники от действующих на них осевых сил.

Список литературы:

1. Иванов А.В., Мелентьев В.С., Гвоздев А.С. Проектирование турбонасосного агрегата ЖРД // Научные исследования. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – С.107-108.
2. Дмитренко А.И., Иванов А.В., Кравченко А.Г., Момотов В.И., Савин А.А., Глебов В.А. Разработка турбонасосных агрегатов для современных кислородно – керосиновых двигателей с дожиганием окислительного генераторного газа // Космонавтика. – 2012. – №1-2. – С. 42-49.
3. Дмитренко А.И., Иванов А.В. Особенности разгрузки роторов турбонасосных агрегатов ЖРД с осевым подводом рабочего тела к турбине // Труды НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко. – 2019. – № 36. – С. 163-178.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЖИДКОГО КИСЛОРОДА В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Каушан Николай Владимирович
студент,
кафедра двигателей летательных аппаратов,
Сибирский государственный университет
науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,
РФ, г. Красноярск
E-mail: kaushan98@mail.ru

THE POSSIBILITIES OF USING LIQUID OXYGEN IN VARIOUS FIELDS OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Nikolay Kaushan
Student,
Department of Aircraft Engines,
Reshetnev Siberian State University
of Science and Technology,
Russia, Krasnoyarsk

АННОТАЦИЯ

Жидкий кислород – перспективное сырье для использования в разных областях науки и техники, в том числе в ракетостроении, в разработках новых вариантов топливных пар для жидкостных ракетных двигателей. Цель статьи – рассмотреть возможности применения жидкого кислорода в различных областях науки и техники. В качестве метода использованы общенаучные методы анализа, обобщения, сравнения. Результаты научных изысканий позволили говорить о необходимости совершенствования жидкостных ракетных двигателей с использованием жидкого кислорода в топливной паре.

ABSTRACT

Liquid oxygen is a promising raw material for use in various fields of science and technology, including in rocket engineering, in the development of new variants of fuel pairs for liquid rocket engines. The purpose of the article is to consider the possibilities of using liquid oxygen in various fields of science and technology. General scientific methods of analysis, generalization, and comparison are used as a method. The results

of scientific research made it possible to talk about the need to improve liquid rocket engines using liquid oxygen in a fuel pair.

Ключевые слова: жидкостный ракетный двигатель; перспективные разработки; жидкий кислород.

Keywords: liquid rocket engine; promising developments; liquid oxygen.

Жидкий кислород используется в различных отраслях. Например, использование кислорода в медицине трудно переоценить. Исследования в сфере струйной кислородо-сорбционной терапии говорят о высокой эффективности метода [3, с. 209-213].

Кроме того, жидкий кислород используется в следующих отраслях (рисунок 1).

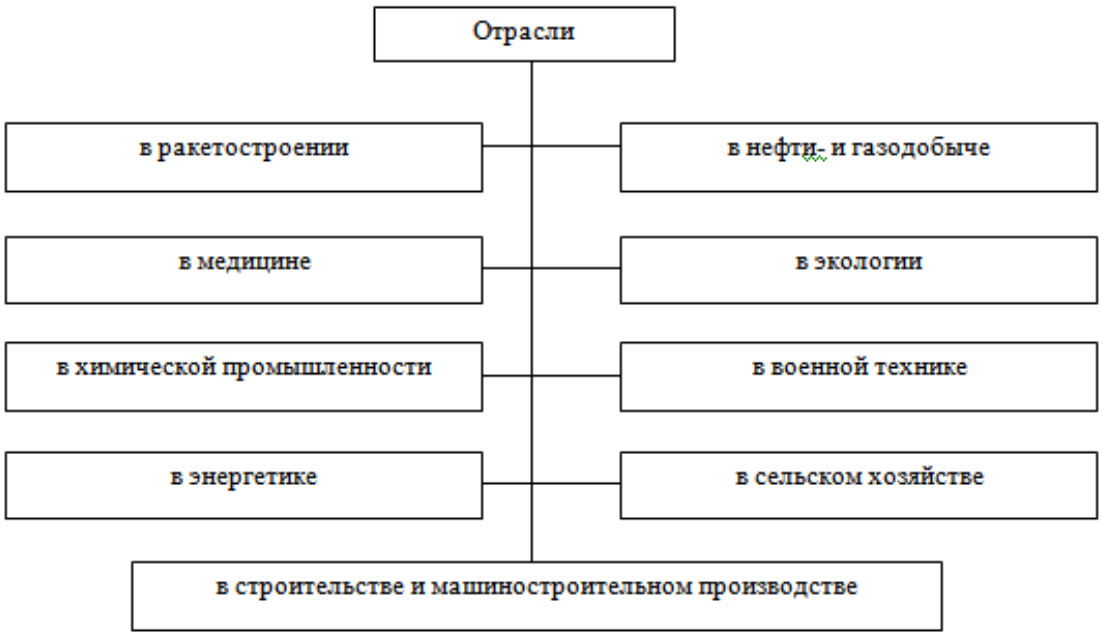


Рисунок 1. Использование кислорода в различных областях науки и техники [2, с. 1]

Кислород обладает высокой эффективностью, в связи с этим широко используется в качестве окислителя топлив жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) в паре с керосином, водородом и другими горючими для ЖРД.

В соответствии с ГОСТ [1] кислород в жидком состоянии выпускается двух сортов: сорт А с содержанием не менее 99,2 % O2 и сорт Б с содержанием не менее 98,5% O2. В качестве методов получения кислорода используют следующие методы (рисунок 2).

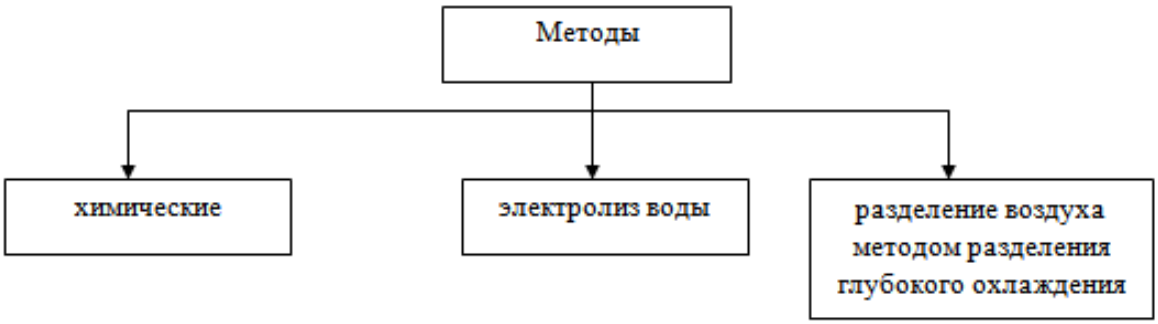


Рисунок 2. Методы получения жидкого кислорода

В настоящее время на действующих ракетах-носителях (РН) используются в качестве окислителей следующие компоненты жидких ракетных топлив:

- керосин (Delta IV, Falcon 9, Союз и др.);
- метан (верхние ступени Falcon 9 и Falcon Heavy);
- водород (Ariane-5);
- гептил (Протон-М) в качестве горючих;
- кислород (Ariane-5, Delta IV, Falcon 9, Союз, верхние ступени Falcon 9 и Falcon Heavy);
- азотный тетраоксид (Протон-М).

Специалисты отмечают, что топливная пара кислород-керосин – это наиболее востребованная топливная смесь. Однако, продолжаются экспериментальные и теоретические исследования, связанные с процессами моделирования характеристик процесса матричной конверсии метан-кислородной смеси при введении в нее добавок водорода.

Перспективы использования ЖРД связаны с использованием кислородно-метановых ЖРД, которые наиболее востребованы в российской космической отрасли. Использование кислородно-метанового топлива обусловлено доступностью

и относительной дешевизной российского природного газа, а также экологическими преимуществами его применения.

При этом с учётом обеспечения транспортировки и возможности наземной отработки объектов ракетно-космической техники принимается модульный принцип построения средств выведения с применением более эффективных криогенных топливных пар в двигательных установках (ДУ):

- кислород-керосин,
- кислород-сжиженный природный газ (СПГ),
- кислород-водород [4, с. 3-8].

Текущее состояние заправки жидкостных ракетных двигателей характеризуется приоритетом использования пары кислород-керосин. То есть, ракетное топливо состоит из окислителя и горючего, в настоящее время наиболее распространенной является комбинация, состоящая из криогенного и высококипящего компонентов: жидкого кислорода как окислителя и керосина как горючего. Однако оптимальной является пара криогенных компонентов горючего и окислителя – жидкий кислород и жидкий водород.

Список литературы:

1. ГОСТ 6331-78. Кислород жидкий технический и медицинский. Технические условия. М., Изд-во стандартов, 1998 г.
2. Калугин К.С. Особенности получения жидкого кислорода для жидкостных ракетных двигателей // Политехнический молодежный журнал. – 2019. – № 6(35). – С. 1
3. Михайлов Н.О., Глухов А.А., Андреев А.А. Гистохимическое обоснование применение струйной кислородо-сорбционной терапии в хирургическом лечении гнойных ран мягких тканей // Материалы Всерос. научной конф., посвященной 80-летию со дня рождения профессора Александра Кирилловича Косоурова: сборник научных трудов, (Санкт-Петербург, 13–15 мая 2021 г). – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2021. – С. 209-213
4. Сизяков Н.П. Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности: основные направления производственной и научной деятельности // Полёт. – 2019. – № 12. – С. 3-8.

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Каушан Николай Владимирович
студент,
кафедра двигателей летательных аппаратов,
Сибирский государственный университет
науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,
РФ, г. Красноярск
E-mail: kaushan98@mail.ru

DIRECTIONS OF IMPROVEMENT OF LIQUID ROCKET ENGINES

Nikolay Kaushan
Student,
Department of Aircraft Engines,
Reshetnev Siberian State University
of Science and Technology,
Russia, Krasnoyarsk

АННОТАЦИЯ

В качестве цели настоящей статьи определена необходимость отражения основных направлений совершенствования жидкостных ракетных двигателей. В качестве метода использованы общенаучные методы анализа, обобщения, сравнения. Результаты научных изысканий позволили говорить о нескольких направлениях инновационного развития современной космонавтики в целом и совершенствования жидкостных ракетных двигателей, в частности. Так, изменения касаются конструктивных особенностей, состава топливной пары, методических и концептуальных разработок.

ABSTRACT

As the purpose of this article, the necessity of reflecting the main directions of improvement of liquid rocket engines is determined. General scientific methods of analysis, generalization, and comparison are used as a method. The results of scientific research made it possible to talk about several directions of innovative development of modern cosmonautics in general and the improvement of liquid rocket engines, in particular. Thus, the changes relate to design features, the composition of the fuel pair, methodological and conceptual developments.

Ключевые слова: жидкостный ракетный двигатель; перспективные разработки; топливные пары; инновации; эффективность.

Keywords: liquid rocket engine; promising developments; fuel vapors; innovations; efficiency.

Решение перспективных задач Федеральной космической программы требует создания и модернизации средств выведения легкого, среднего, тяжелого и сверхтяжелого классов. Основными направлениями развития жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) являются, по мнению специалистов [1, с. 314-320]:

- рационализация и упрощение конструкции, усовершенствование схем и структуры систем и агрегатов ЖРД;
- использование высокоэффективных топливных пар компонентов;
- оптимизация происходящих в них процессов [3, с. 110];
- экономичность;
- точность выполнения полетных задач.

Решение задач, возникающих при совершенствовании в перечисленных направлениях, положительно отразится в важных характеристиках эффективности космических ракетных комплексов, таких как, например, стоимость выполнения космических пусков, масса полезной нагрузки, дальность полета [4, с. 98-105].

Имеют место направления совершенствования топлива для ЖРД.

Инновациям в сфере выбора топливных пар для ЖРД посвящено значительное число публикаций. Так, группа специалистов исследуют характеристики инновационной топливной пары «жидкая углекислота – тиксотропная суспензия алюминия в гидразине», один из компонентов которой – двуокись углерода[6, с.67-70]. Расчеты, приводимые специалистами, отражают реальность использования такой топливной пары, для которой предложена пневмогидравлическая схема двигателя.

В настоящее время специалисты в качестве перспективного направления развития жидкостных ракетных двигателей назвали создание жидкостно-воздушного ракетного двигателя. Тяга в таком движке генерируется за счёт серии детонаций. В теории он значительно превосходит ЖРД по множеству параметров, таких как скорость сгорания, термическая эффективность, расход топлива и даже

простота конструкции. Перспективы использования ЖРД связаны с использованием кислородно-метановых ЖРД, которые наиболее востребованы в российской космической отрасли.

Специалисты рассматривают инновации в современном ракетостроении [9, с. 243-244], которые касаются обеспечения качества производства изделий и методов контроля технологических параметров изготовления и испытаний композитных конструкций ракетной техники. Специалисты проводят специальные исследования в сфере изготовления теплозащитных и теплоизолирующих покрытий, принципов функционирования жидкостных ракетных двигателей.

Инновации касаются создания современных сверхлегких летательных аппаратов, востребованных в различных сферах народного хозяйства. Ракеты-носители легкого и сверхлегкого класса – это новый мировой тренд в ракетостроении. Сегмент рынка продолжает формироваться, основной задачей российской космической промышленности является своевременное освоение сформировавшегося спроса на данный тип услуг и сохранение стратегической инициативы. Специалисты в последнее время заинтересованы в разработках ракет сверхлегкого класса, о чем свидетельствуют научные публикации. Так, В.Ю. Клюшников рассмотрел перспективы коммерческой космонавтики, перспективы коммерческого использования ракет-носителей сверхлегкого класса на формирующемся рынке запусков малоразмерных космических аппаратов [5, с.58-71].

Одним из способов решения задачи развития коммерческой космонавтики является реализация проекта РН «Союз-5». Цель проекта – создание перспективной двухступенчатой ракеты-носителя среднего класса, которая будет способна вывести на орбиту не менее 17 тонн полезного груза [7]. Данная ракета-носитель разрабатывается ракетно-космической корпорацией «Энергия» имени С.П. Королёва [2]. Реализация данного проекта предусмотрена действующей Федеральной космической программой в рамках опытно-конструкторской работы «Феникс». Разработка жидкостных ракетных двигателей для ракет-носителей среднего класса занимает значительное место в научном дискурсе. Например, О.Ф. Садыков рассмотрел инновационную систему космического комплекса транспортировки на низких околоземных орбитах [3, с.13-18].

Речь идет о разработке современной концепции космического комплекса, которая включает в себя ряд программ полёта транспортного орбитального средства с маршевым жидкостным ракетным двигателем в объединенной двигательной установке. Как видим из описываемых направлений инновационного развития современной космонавтики в целом и совершенствования ЖРД, процессы идут сразу в нескольких направлениях. Разработки затруднены финансовыми, экономическими и политическими трудностями последних лет. Однако, нет сомнения в том, что развитие уже не остановить.

Список литературы:

1. Абдуллин М.Р., Давлатов Н.Б., Шигапов Р.Р. Анализ и классификация путей совершенствования жидкостных ракетных двигателей одно- и многоразового использования на углеводородных и аз ото содержащих горючих и охладителях // XXIV Туполевские чтения: материалы междунар. молодёжной науч. конф. – Казань, 2019. – Т. 2. – С. 314-320
2. АО «НПО Энергомаш»: официальный сайт. г. Химки Московской области, 2021. [Электронный ресурс] Режим доступа: http:// engine.space (дата обращения 20.10.2021).
3. Ахметшин К.Ш., Кирюхин С.Ю., Рябинин А.С. Сравнительный анализ способов регулирования тяги жидкостных и твердотопливных ракетных двигателей // Решетневские чтения. – 2013. – Т. 1. – С. 110-111.
4. Дронь М.М., Яковлев А.Б. Исследование свойств инерционного регулятора системы регулирования тяги жидкостного ракетного двигателя // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. – 2021. – Т. 5. – № 2. – С. 98-105
5. Клюшников В.Ю. Ракеты-носители сверхлегкого класса: ниша на рынке пусковых услуг и перспективные проекты // Воздушно-космическая сфера. – 2019. – № 3(100). – С. 58-71
6. Перспективы создания жидкостных ракетных двигателей, использующих в качестве окислителя двуокись углерода / А.А. Драгунских, Э.О. Агапов, А.В. Хороших, Р.В. Бульбович // Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации. – 2020. – Т. 1. – С. 67-70.
7. Роскосмос: официальный сайт. Москва, 2021. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://roscosmos.ru (дата обращения 20.10.2021).
8. Садыков О.Ф. Космический комплекс транспортировки на низких околоземных орбитах // Вестник РГАТУ им. П.А. Соловьева. – 2021. – № 1(56). – С. 13-18
9. Фесенко И.А., Мумбер К.Е. Инновации ракетостроения // Актуальные проблемы авиации и космонавтики : сб. материалов V Междунар. научно-практ. конф., посвященной Дню космонавтики. В 3-х томах. (Красноярск, 08–12 апреля 2019 г.). – Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2019. – С. 243-244.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВНУТРЕННИХ ПОЛОСТЕЙ ТУРБОНАСОСНОГО АГРЕГАТА ЖРД

Каушан Николай Владимирович
студент,
кафедра двигателей летательных аппаратов,
Сибирский государственный университет
науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,
РФ, г. Красноярск
E-mail: kaushan98@mail.ru

IMPROVING THE QUALITY OF THE INTERNAL CAVITIES OF THE TURBOPUMP UNIT OF LIQUID ROCKET ENGINES

Nikolay Kaushan
Student,
Department of Aircraft Engines,
Reshetnev Siberian State University
of Science and Technology,
Russia, Krasnoyarsk

АННОТАЦИЯ

В качестве цели настоящей статьи определены направления повышения качества внутренних полостей турбонасосного агрегата ЖРД. В статье рассмотрены мероприятия по повышению качества внутренних полостей турбонасосного агрегата. Актуальность обусловлена увеличением прочностных характеристик корпусов турбонасосного агрегата. В качестве метода использованы общенаучные методы исследования. Результаты научных изысканий позволили говорить о необходимости совершенствования конструктивных особенностей жидкостных ракетных двигателей.

ABSTRACT

As the purpose of this article, the directions of improving the quality of the internal cavities of the turbopump unit of a liquid rocket engine are determined. The article discusses measures to improve the quality of the internal cavities of the turbopump unit. The relevance is due to an increase in the strength characteristics of the turbopump unit housings. General scientific research methods were used as a

method. The results of scientific research made it possible to talk about the need to improve the design features of liquid rocket engines.

Ключевые слова: турбонасосный агрегат**,** жидкостный ракетный двигатель; конструктивные инновации; полости.

Keywords: turbopump unit, liquid rocket engine; design innovations; cavities.

Турбонасосный агрегат ЖРД имеет достаточно сложную структуру (рисунок 1).

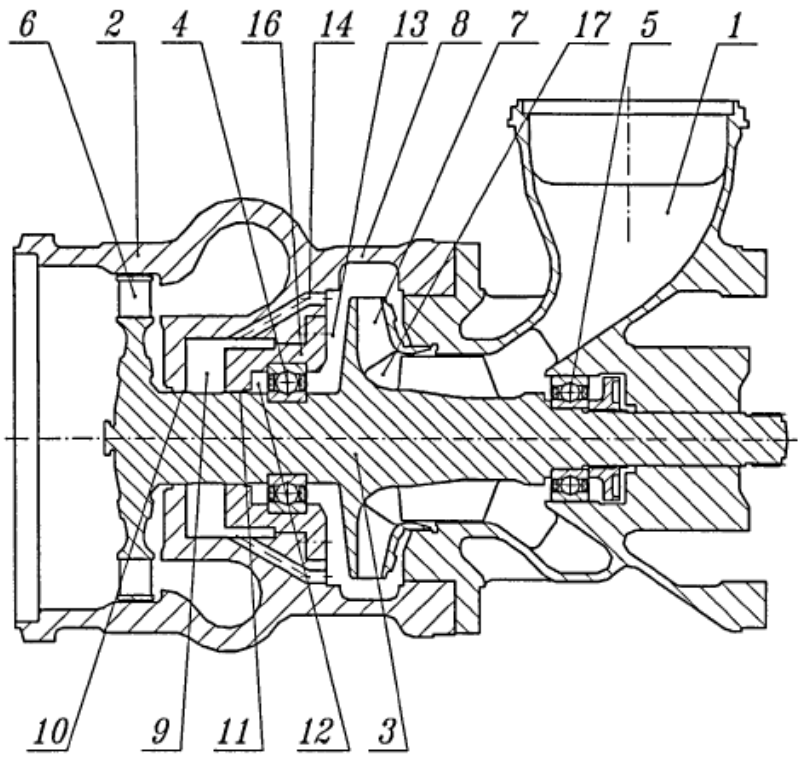


Рисунок 1. Общая схема Турбонасосного агрегата ЖРД

На рисунке 1 показан общий вид агрегата, где 1 – насос; 2 – турбина; 3 – вал; 4, 5 – подшипники; 6 – колесо турбины; 7 – крыльчатка; 8 – корпус; 9 – разделительная полость; 10 – уплотнение, расположенное между разделительной полостью и турбиной; 11 – уплотнение, расположенное между разделительной полостью и насосом; 12 – полость за уплотнением со стороны насоса; 13 –

полость за крыльчаткой; 14 – канал подвода рабочей жидкости высокого давления из-за крыльчатки; 15 – канал подвода рабочей жидкости высокого давления из магистрали за насосом; 16 – корпус подшипника; 17 – входная полость крыльчатки.

Повышение качества внутренних полостей турбонасосного агрегата ЖРД связано с различными конструктивными изменениями, изобретениями, инновациями. Анализ научных публикаций позволил выделить несколько инноваций, связанных с повышением качества внутренних полостей турбонасосного агрегата ЖРД. К таким инновациям можно отнести изобретение В.В. Черниченко, В.Б. Шепеленко [5]. Оно относится к области энергетических установок, а именно к устройствам для перемешивания и распыливания компонентов топлива при разработке жидкостных ракетных двигателей (ЖРД). Изобретение Н.Б. Болотина относится к жидкостным ракетным двигателям, работающим на жидком водороде [6].

Немаловажной проблемой конструирования корпусов ТНА является уменьшение шероховатости поверхностей полостей агрегата.

Ю.В. Конозобкин [2, с. 187-188] рассматривает способы повышения качества внутренних полостей турбонасосного агрегата жидкостного ракетного двигателя и выделяет в качестве перспективных:

- электрохимическая;
- механическая обработка;
- виброобработка;
- метод электролитно-плазменной обработки.

Рассмотрим эти методы.

Электрохимическая и механическая обработка значительно уступают более современным методам обработки поверхностей.

Достаточно перспективным можно назвать виброобработку. Виброобработка является универсальным методом упрочняющей обработки. В первую очередь преимущества данного метода проявляются при обработке деталей сложной формы. Однако, в некоторых случаях использование виброобработки затруднено

по причинам невозможности обработки труднодоступных поверхностей внутренних полостей или необходимости обработки высоких классов шероховатости.

Тем не менее, специалисты рассматривают этот метод как эффективный. Например, А.А. Афанасьев выделил наиболее характерные разрушения конструкций, выявленных при отработке вибрационной прочности ЖРД. Эти разрушения касались и внутренних поверхностей турбонасосного агрегата. Автор, опираясь на лабораторные модельные виброиспытания, натурные огневые испытания отметил наиболее характерные разрушения, проявляющиеся при отработке двигателей [1, с. 12-20].

Чтобы нивелировать указанные недостатки специалисты предлагают использовать приспособление жидкостно-образивной обработки. Г.Г. Крушенко в своей публикации описывает спроектированное им в соавторстве приспособление для реализации обработки фасонных поверхностей в закрытых крупногабаритных деталях корпуса ТНА приспособление для жидкостно-абразивной обработки [3, с. 148-150].

Специалисты доказывают, что данная инновация позволяет сократить время на обработку.

Электролитно-плазменная обработка (ЭПО) широко применяется для очистки поверхности, снижения шероховатости и снятия заусенцев на изделиях, изготовленных из различных металлических материалов. ЭПО является безопасной и более производительной технологией по сравнению с альтернативными видами (электрохимическая, механическая обработка) [4].

Экспериментальные исследования, сравнение применения различных методов улучшения поверхностей полостей ТНА ЖРД позволили выделить метод электролитно-плазменной обработки с применением устройства для обработки внутренних пространственно-сложных поверхностей различной кривизны как наиболее эффективный метод.

В заключение следует говорить о том, что недостатки поверхностей в турбонасосных агрегатах ЖРД приводят к потерям, снижению эффективности, возможны даже отказы в работе. Для того, чтобы агрегат работал надежно,

необходимо особое внимание уделить стадии проектирования и выбору метода обработки поверхностей. Совершенствование конструкций более современных ракетных двигателей делает необходимым совершенствовать и методы обработки поверхностей всех конструктивных деталей двигателя.

Список литературы:

1. Афанасьев А.А., Жеребчиков С.Н., Ляшков А.В. Обеспечение вибропрочности элементов конструкции жидкостных ракетных двигателей // Насосы. Турбины. Системы. – 2021. – № 1(38). – С. 12-20.
2. Конозобкин Ю.В., Ледков Я.Ю. Способы повышения качества внутренних полостей турбонасосного агрегата жидкостного ракетного двигателя // Решетневские чтения : Материалы XXIII Междунар. научно-практ. конф.. В 2-х частях. (Красноярск, 11–15 ноя. 2019 г.). – Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2019. – С. 187-188.
3. Крушенко Г.Г., Платонов О.А., Решетникова С.Н. Повышение плотности деталей двигателей летательных аппаратов, отливаемых из алюминиевых сплавов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2017. – Т. 1. – № 13. – С. 148-150.
4. Крушенко Г.Г. Эволюция технологии изготовления корпусов насосов турбонасосного агрегата жидкостного ракетного двигателя // Вестник СибГУ. – 2014. – С. 174-179.
5. Патент № 2480607 C1 Российская Федерация, МПК F02K 9/42. Жидкостный ракетный двигатель : № 2012109702/06 : заявл. 15.03.2012 : опубл. 27.04.2013 / В.В. Черниченко, В.Б. Шепеленко.
6. Патент № 2474719 C1 Российская Федерация, МПК F02K 9/48. Кислородно-водородный жидкостный ракетный двигатель : № 2011154512/06 : заявл. 29.12.2011 : опубл. 10.02.2013 / Н.Б. Болотин.

СИСТЕМА НАДДУВА БАКА РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ ЖРД

Каушан Николай Владимирович
студент,
кафедра двигателей летательных аппаратов,
Сибирский государственный университет
науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,
РФ, г. Красноярск
E-mail: kaushan98@mail.ru

TANK BOOST SYSTEM FOR LIQUID ROCKET ENGINES

Nikolay Kaushan
Student,
Department of Aircraft Engines,
Reshetnev Siberian State University
of Science and Technology,
Russia, Krasnoyarsk

АННОТАЦИЯ

В качестве цели настоящей статьи определена необходимость отражения основных тенденций совершенствования системы наддува ЖРД на основе комплексного подхода. В качестве метода использованы общенаучные методы анализа, обобщения, сравнения. Результаты научных изысканий позволили говорить о необходимости совершенствования системы наддува (СН). Система наддува очень сложная технологически система, однако, ее конструктивное совершенствование необходимо, так именно система наддува формирует конструкцию самого двигателя и конструкцию ракеты – носителя. Современные научные публикации позволяют говорить о том, что недавнее прошлое, как и перспективы, связаны с совершенствованием жидкостных ракетных двигателей, поэтому совершенствование конструкции системы наддува особенно актуально.

ABSTRACT

As the purpose of this article, the need to reflect the main trends in improving the fuel injection system on the basis of an integrated approach is determined. General scientific methods of analysis, generalization, and comparison are used as a method. The results of scientific research made it possible to talk about the need to improve the

boost system. The boost system is a very technologically complex system, however, its constructive improvement is necessary, since it is the boost system that forms the design of the engine itself and the design of the launch vehicle. Modern scientific publications allow us to say that the recent past, as well as the prospects, are associated with the improvement of liquid rocket engines, therefore, the improvement of the design of the boost system is especially relevant.

Ключевые слова: система наддува, кислород, гелий, жидкостный ракетный двигатель, комплексный подход.

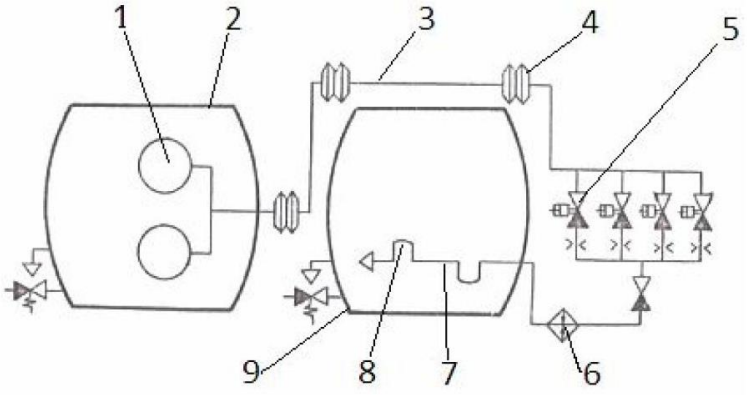
Keywords: boost system, oxygen, helium, liquid rocket engine, integrated approach.

В основе действия жидкостного ракетного двигателя лежит химическая реакция жидкого топлива, в качестве которого выступает сжиженный газ. В современных условиях эксплуатации наиболее распространены газобаллонные системы наддува с горячим гелием. Этой теме посвящено недостаточное число исследований, однако, анализ научных публикаций по теме статьи позволили выявить серию публикаций Ю.А. Митикова, который посвятил исследованию проблем систем надува ракет-носителей несколько работ. Так, автор рассматривает газобаллонные системы наддува [2], описывает схему работы и выделяет недостатки работы системы. В целях совершенствования существующих конструкций Ю.А. Митиков экспериментально исследует дальнобойность вихревых колец применительно к условиям топливных баков ракет-носителей, указывает на эффективность такого ввода газа при использовании горячих рабочих тел [3, с.30-33]. Кроме того, автор, с учетом показателей тепловых режимов функционирования газобаллонных систем наддува топливных баков ракет-носителей рассмотрел возможные пути повышения их эффективности, основанные на разнице начальной и конечной температур гелия в баллонах [4, с. 50-53]. Другими специалистами предлагались и другие способы повышения эффективности [13, с.60-62].

Система наддува очень сложная технологически система, однако, ее конструктивное совершенствование необходимо, так именно система наддува формирует конструкцию самого двигателя и конструкцию ракеты – носителя.

Наиболее распространенная топливная пара для ЖРД – кислород-керосин, а газобаллонные системы наддува (СН) снабжены горячим гелием. К настоящему времени накоплен значительный позитивный опыт применения гелиевых СН, при их проектировании отсутствуют проблемные вопросы.

На рисунке приведена типичная принципиальная схема горячей газобаллонной СН бака горючего I ступени ракеты-носителя.

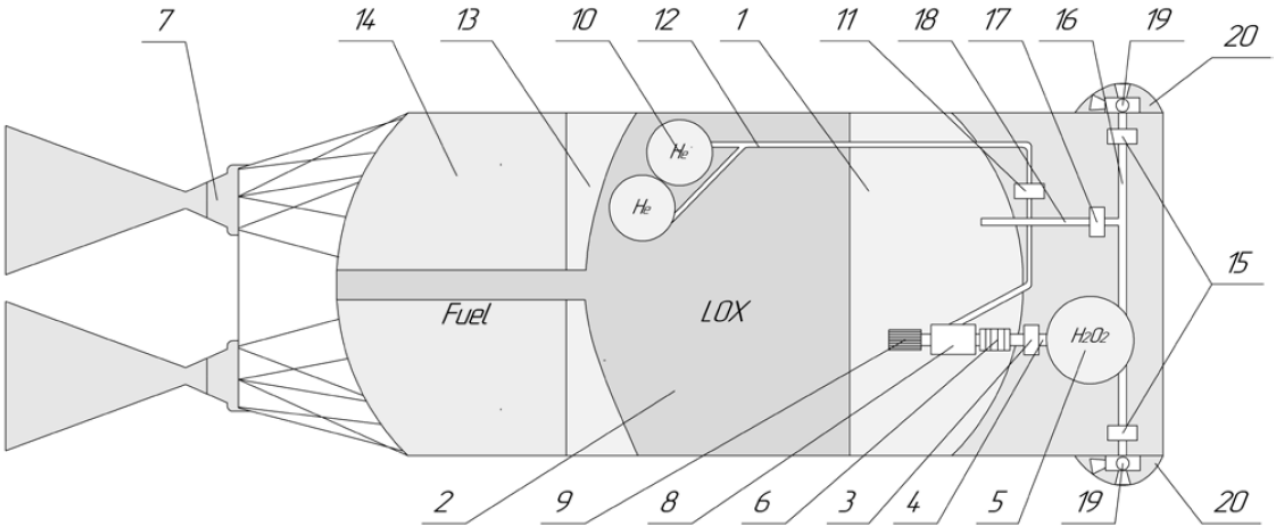


1 – баллоны с гелием; 2 – бак с жидким кислородом;
3, 7 – трубопроводы; 4, 8 – температурные компенсаторы;
5 – элементы автоматики; 6 – теплообменник ДУ;
9 – бак горючего.

Рисунок 1. Типичная принципиальная схема горячей газобаллонной СН бака горючего I ступени ракеты-носителя

Наиболее распространенные сегодня горячие гелиевые СН имеют недостатки, которые, по мнению специалистов, уже неустранимы, так как процессы совершенствования конструктивных особенностей достигли своего предела. Предлагаемые специалистами изменения не приводят к значительным изменениям эффективности работы ЖРД.

В связи с чем В.А. Урбанский предлагает использование комплексного подхода при проектировании систем наддува ЖРД [5, с.27-29]. Предлагаемая схема комбинированной системы наддува топливного бака представлена на рисунке 2.



1 – бак О; *2* – жидкий кислород; *3* – управляемый клапан на магистрали *4* подачи перекиси водорода в баки О; *5* – ёмкость с перекисью водорода; *6* – каталитическая система разложения перекиси водорода в баке О; *7* – камера ЖРД; *8* – камера смешения теплоносителя и гелия; *9* – диффузор; 10 – шар-баллоны газа наддува гелия; *11* – управляющий клапан на магистрали *12* подачи гелия в бак О; *13* – бак горючего; *14* – горючее; *15* – клапан открытия сопел на магистрали *16*; *17* – управляемый клапан на магистрали *18* подачи парогазовой смеси на газореактивные сопла сброса *19* по каждому каналу управления (тангаж, крен, рыскание, продольное движение); *20* – обтекатель

Рисунок 2. ***Схема комбинированной системы наддува топливного бака О***

В основе нового подхода лежит комбинация систем наддува. Процессы тепло- и массообмена основаны на 1 законе термодинамики: наддув бака О ведется с использованием горячих продуктов разложения перекиси водорода и холодного гелия. Такая схема, по мнению В.А. Урбанского значительно эффективнее, что подтверждено и в теории, и на практике.

Проведенный анализ конструктивных схем самых распространенных в мире горячих гелиевых газобаллонных систем наддува и их функционирования показывает, что к настоящему моменту их возможности практически исчерпаны. Ожидать заметного улучшения параметров систем наддува в дальнейшем не приходится, тут остались нерешенными лишь некоторые нюансы и вопросы методического характера, которые могут быть предметом отдельных исследований.

При создании ракеты-носителя нового поколения для заметного улучшения массовых и эксплуатационных характеристик систем наддува топливных баков, повышения их надежности нужны новые плодотворные идеи, должны использоваться последние достижения химической термодинамики, теплопередачи, нанотехнологий.

Список литературы:

1. Жариков К.И., Кузнецов В.И. Газобаллонные системы наддува: пути повышения эффективности // Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности: Междунар. научно-практическая конф. (Казань, 05–08 авг. 2014 г.). – Казань, 2014. – С. 60-62
2. Митиков Ю.А. Газобаллонные системы наддува и ракеты-носители нового поколения [Электронный ресурс] // Космическая техника. Ракетное вооружение – 2012. – Вып. 1. – URL: http://www.it.ru/article.php?no=317 (дата обращения 20.10.2021)
3. Митиков Ю.А. Использование вихревых колец для наддува топливных баков двигательных установок ракет-носителей // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 5. – № 7(59). – С. 30-33
4. Митиков Ю.А., Артамонов А.И. Совершенствование газобаллонной системы полетного наддува // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 3. – № 7(57). – С. 50-53
5. Урбанский В.А. Исследование системы наддува жидкого кислорода холодным газом гелием и перекисью водорода // Проблемы разработки, изготовления и эксплуатации ракетно-космической техники и подготовки инженерных кадров для авиакосмической отрасли: материалы XV Всерос. научно-техн. конф. (Омск, 20–21 апр. 2021 г.). – Омск: Омский государственный технический университет, 2021. – С. 27-29

СИСТЕМА ПОДАЧИ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА ЖРД

Каушан Николай Владимирович
студент,
кафедра двигателей летательных аппаратов,
Сибирский государственный университет
науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,
РФ, г. Красноярск
E-mail: kaushan98@mail.ru

FUEL SUPPLY SYSTEM FOR LIQUID ROCKET ENGINES

Nikolay Kaushan
Student,
Department of Aircraft Engines,
Reshetnev Siberian State University
of Science and Technology,
Russia, Krasnoyarsk

АННОТАЦИЯ

В качестве цели настоящей статьи определены преимущества использования электродвигателей в качестве привода для основных насосов на жидкостных ракетных двигателях. Их применение имеет следующие преимущества: упрощение схемы жидкостного ракетного двигателя, оптимизация регулировки оборотов насосов, оптимизация режима по тяге и запуск. В качестве метода использованы общенаучные методы исследования. Результаты научных изысканий позволили говорить о необходимости совершенствования конструктивных особенностей жидкостных ракетных двигателей.

ABSTRACT

As the purpose of this article, the advantages of using electric motors as a drive for the main pumps on liquid rocket engines are determined. Their application has the following advantages: simplification of the liquid rocket engine circuit, optimization of pump speed adjustment, optimization of thrust mode and launch. General scientific research methods were used as a method. The results of scientific research made it possible to talk about the need to improve the design features of liquid rocket engines.

Ключевые слова: жидкостный ракетный двигатель; перспективные разработки; электродвигатель, оптимизация.

Keywords: liquid rocket engine; promising developments; electric motor, optimization.

Современные научные публикации позволяют говорить о том, что недавнее прошлое, как и перспективы, связаны с совершенствованием жидкостных ракетных двигателей в ракетном машиностроении. Необходимо отметить, что в основе действия жидкостного ракетного двигателя лежит химическая реакция жидкого топлива, надежная и эффективная система подачи компонентов топлива – один из важных элементов, характеризующих двигательную установку в целом.

И.Л. Шаров отметил недостатки современной системы подачи компонентов жидкостных ракетных двигателей ЖРД [4, с. 165-169]. Автор описывает следующую структуру системы подачи компонентов топлива: агрегат для создания давления подачи компонентов, система агрегатов и трубопроводов, баки. Автор выделил насосную и вытеснительную системы подачи, для каждой определил достоинства и недостатки. В качестве основного достоинства вытеснительной системы подачи определены относительная конструктивная простота, а в качестве основного недостатка – высокое давление в топливных баках. Этот недостаток определил необходимость утолщения стенок бака, что увеличивает массу бака, его стоимость, время работы ЖРД.

Насосная система подачи топлива позволяет облегчить конструкцию баков, вследствие чего запас компонентов топлива на борту увеличится, что неизбежно повлияет на дальность полета аппарата. Также появляется возможность увеличения массы полезной нагрузки. В качестве недостатка можно отметить очень сложную конструкцию систему подачи.

Недостаток насосных систем состоит в относительной сложности конструкции классических ТНА.

Специалисты отмечают перспективы использования электронасосного агрегата подачи компонентов топлива ЖРД. Так, В.Б. Федоров выделил преимущества

и недостатки разных систем подачи топлива и пришел к выводу о преимуществах системы подачи с электронасосным агрегатом в составе космического летательного аппарата [3, с. 251-260].

Совершенствование конструкции системы подачи компонентов топлива связана, в том числе, с использованием электронасосного агрегата (ЭНА). Практические и экспериментальные исследования использования ЭНА позволили утверждать, что КПД привода ЭНА может достигать 82 %, что существенно выше показателя для осевых высокоперепадных одноступенчатых газовых турбин. В фокусе исследований специалистов лежит использование литий-ионных аккумуляторов. Они имеют значительные достоинства, в числе которых небольшая удельная плотность.

Топливные элементы представляют электрохимические устройства, способные обеспечивать высокий коэффициент преобразования существующей химической энергии в электрическую. Данные открытых источников сети Интернет позволяют отметить использование литий-ионных аккумуляторов в Space Shuttle – космических кораблях многоразового использования. В них применяются установки мощностью 12 Вт. Они вырабатывают всю электроэнергию на космическом корабле. Вода, которая образуется при электрохимической реакции, применяется для питья и охлаждения.

Для повышения количества электроэнергии, создаваемой реакцией, можно увеличить размеры топливных элементов, но на практике обычно применяются несколько элементов, которые объединяются в батареи.

На текущий момент электрохимические генераторы для использования в качестве главного источника энергии нуждаются в больших первоначальных затратах. При внедрении более стабильных мембран с высокой проводимостью, эффективных и дешевых катализаторов, альтернативных источников водорода топливные элементы приобретут высокую экономическую привлекательность и будут внедряться повсеместно.

Следует отметить следующие достоинства топливных элементов:

- безопасность для окружающей среды;

- электрохимические генераторы не нужно перезаряжать;
- электрохимические генераторы могут создавать энергию постоянно, им не важны внешние условия;
- гибкость в плане масштаба и портативность.

Среди недостатков можно выделить:

- технические трудности с хранением и транспортом топлива;
- несовершенные элементы устройства – катализаторы, мембраны и т. д.
- высокая себестоимость.

Кроме того, специалисты указывают на возможности различных способов подачи компонентов топлива жидкостного ракетного двигателя, работающего в условиях невесомости, отмечая возможности ЭНА [1, с.111-112].В.С. Ивашин предлагает конструктивные изменения, которые, по мнению, автора будут способствовать уменьшению массы всего турбонасосного агрегата за счет уменьшения наружного диаметра колеса. Расчеты автора позволили утверждать, что бустерный насосный агрегат дает возможность повысить КПД вследствие увеличения коэффициента быстроходности. В качестве недостатка конструктивных изменений автор отметил сложность конструкции, увеличение габаритов [2, с. 1].

В заключение следует говорить о том, что, не смотря на сложные экономические условия, в значительной мере утраченные позиции в мировой космической науке, потенциал в научной сфере развития центра ракетно-космической промышленности, тем не менее, имеется. В том числе, в значительной степени продвигаются практические испытания с целью выявления перспективных направлений системы подачи компонентов топлива ЖРД.

Список литературы:

1. Бакулин Я.Ю., Журавлев В.Ю., Кубриков М.В. Варианты системы подачи топлива жидкостного ракетного двигателя в условиях // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2017. – Т. 1. – № 13. – С. 111-112.
2. Ивашин В.С., Анищенко Ю.В. Сравнительный анализ работы турбонасосного агрегата жидкостного ракетного двигателя при установке дополнительного бустерного насосного агрегата // Политехнический молодежный журнал. – 2018. – № 1(18). – С. 1.

3. Федоров В.Б., Тараторин А.В. Электронасосная система подачи компонентов топлива для космического летательного аппарата // Калашниковские чтения : V Всерос. научно-практ. конф. (в рамках I Молодежного форума студентов и курсантов оборонных специальностей вузов России). Материалы конф. (Ижевск, 08–11 ноя. 2018 г.). – Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, 2018. – С. 251-260.
4. Шаров И.Л., Зарницына Е.А. Анализ применения электронасосных систем подачи компонентов топлива ЖРД // Калашниковские чтения : Материалы VI Всерос. научно-практ. конф. (в рамках II Молодежного форума студентов и курсантов оборонных специальностей вузов России), (Ижевск, 07 ноя. 2019 г.). – Ижевск: ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2019. – С. 165-169.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОДАЧИ ТОПЛИВА ЖРД

Каушан Николай Владимирович
студент,
кафедра двигателей летательных аппаратов,
Сибирский государственный университет
науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,
РФ, г. Красноярск
E-mail: kaushan98@mail.ru

AUTOMATIC FUEL SUPPLY CONTROL SYSTEMS FOR LIQUID ROCKET ENGINES

Nikolay Kaushan
Student,
Department of Aircraft Engines,
Reshetnev Siberian State University
of Science and Technology,
Russia, Krasnoyarsk

АННОТАЦИЯ

Актуальность исследования конструктивных особенностей жидкостных ракетных двигателей определена тем фактом, что в ближайшей перспективе этим двигательным установкам нет альтернативы. Несмотря на определенные направления совершенствования космических технологий, текущие исследования требуют надежной работы уже существующих агрегатов и комплексов. В данной статье цель – рассмотреть особенности автоматического регулирования подачи топлива жидкостного ракетного двигателя (ЖРД). В качестве метода использованы общенаучные методы анализа, обобщения, сравнения. Исследования российских ученых, проводимые на базе отраслевых и конструкторских бюро, показали, что жидкостные ракетные двигатели остаются основными для перспективных средств выведения летательных аппаратов на орбиту.

ABSTRACT

The relevance of the study of the design features of liquid rocket engines is determined by the fact that in the near future there is no alternative to these propulsion systems. Despite certain areas of improvement of space technologies, current research

requires reliable operation of existing units and complexes. The purpose of this article is to consider the features of automatic control of the fuel supply of a liquid rocket engine (LRE). General scientific methods of analysis, generalization, and comparison are used as a method. Research by Russian scientists conducted on the basis of industry and design bureaus has shown that liquid rocket engines remain the main ones for promising means of launching aircraft into orbit.

Ключевые слова: жидкостный ракетный двигатель; перспективные разработки; подача топлива; автоматическое регулирование.

Keywords: liquid rocket engine; promising developments; fuel supply; automatic regulation.

Жидкостные ракетные двигательные установки (ЖРДУ) – это основные энергетические комплексы ракетно-космической техники. Они выполняют текущие задачи освоения околоземного и межпланетного космического пространства [2, с. 17-21].

Совершенствование подачи топлива ЖРД связано с необходимостью минимизировать затраты топлива для выведения космического аппарата на заданную траекторию (в заданную точку) либо с увеличением массы выводимой полезной нагрузки. Увеличение массы нагрузки позволяет получать наибольшую прибыль, что особенно актуально в связи с ростом расходов на разработки в космической отрасли.

Процессам повышения эффективности подачи топлива посвящены инновационные разработки, изобретения. Специалисты говорят о необходимости процессов автоматизации, что связано с повышением точности автоматических систем управления ЖРДУ. Так, В.Д. Горохов [3] предлагает изобретение, которое относится к автоматическим системам управления расходом топлива (СУРТ) в устройствах питания жидкостных ракетных двигательных установок ракет-носителей (РН). Автор изобретения, на основе проведенных расчетов и экспериментального исследования убедился в возможности:

- повышения точности работы внутри двигательной подсистемы ЖРД;
- снижения стоимости гидравлической тарировки характеристик дросселя и регулятора;
- оптимизации значения конечных параметров ракеты-носителя – продольной скорости и гарантийных остатков топлива.

Инновационные разработки Акционерного общества «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко» включают разработки в сфере агрегатов автоматики, в частности к блокам регуляторов расхода, устанавливаемых в системах регулирования жидкостных ракетных двигателей [4].

В качестве регуляторов в изобретении использованы:

- регулятор расхода окислителя;
- регулятор расхода горючего и электропривода.

Управляющие устройства лежат в основе предлагаемой системы автоматического регулирования подачи топлива ЖРД [1].

Специалисты особое внимание уделяют необходимости совершенствования управляющих устройств (регуляторов) при управлении расходованием топлива жидкостных ракет – носителей при дискретных измерениях масс компонентов топлива [5, с.56-69].

В качестве регуляторов специалисты называют следующие их виды:

- регуляторы тяги;
- регуляторы массового соотношения расходов компонентов в камеру или жидкостной газогенератор.

У каждого регулятора свои задачи, так регулятор тяги задает необходимый уровень тяги двигательной установки или его программное изменение. Необходимый режим работы камеры или газогенератора обеспечит регулятор соотношения компонентов. Он же настраивает на работу по максимально допустимым значениям динамических свойств системы жидкостной ракетной двигательной установки. В качестве основных задач использования регуляторов можно выделить следующие:

- проведение поэлементного анализа выбранного регулятора;

• определение статических и динамических свойств составляющих регулятор звеньев;

• получение уравнения, описывающего характеристику всего регулятора;

• исследование возможностей повышения точности регулятора.

Система автоматического регулирования с интегрирующим регулятором представлена на рисунке 1.

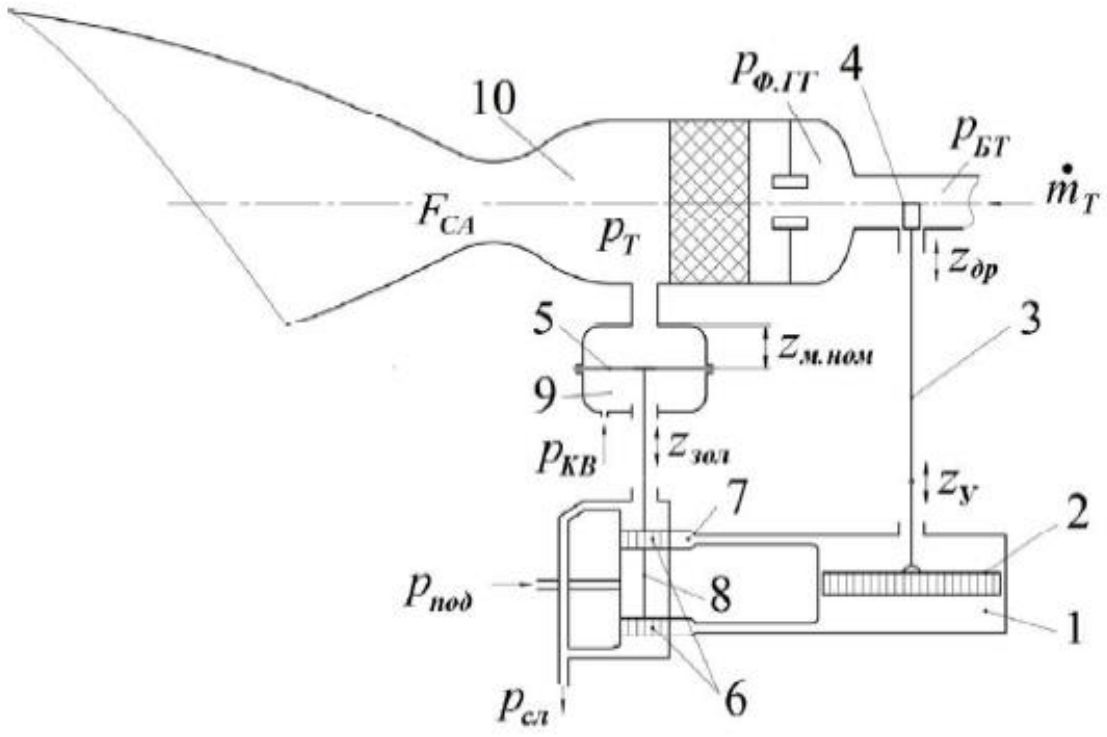


Рисунок 1. Системы автоматического регулирования подачи топлива ЖРД

На рисунке 1 представлены следующие элементы системы:

1 – гидравлический цилиндр;

2 – поршень;

3 – шток дроссельного крана;

4 – дроссельный кран;

5 – мембрана;

6 – пояски золотника;

7 – окна золотникового распределителя;

8 – золотниковый узел;

9 – элемент сравнения;

10 – однокомпонентный газогенератор

В целом, можно говорить, что процессы автоматизации необходимы и востребованы во всех элементах систем и агрегатов ракеты носителя и его двигателя. В этой деятельности необходимо учитывать необходимость создания алгоритма и программы многоконтурного цифрового регулирования автоматизированных систем управления технологическими процессами. Автоматизированные системы могут быть различных видов, например, комбинированные, каскадные и многоконтурные системы связанного регулирования. Выбор системы автоматического регулирования подачи топлива ЖРД должен учитывать конструктивные особенности двигателя и результаты проведенных предварительных испытаний.

Список литературы:

1. Васютин Ю.И., Смирнов И.А, Ягодников Д.А. [и др.]. Агрегаты регулирования жидкостных ракетных двигательных установок – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – 223 с.
2. Кузьменко И.А., Яковлев А.Б. Исследование свойств системы автоматического регулирования жидкостной ракетной двигательной установки с интегрирующим регулятором // Омский научный вестник. – 2019. – № 1(163). – С. 17-21.
3. Патент № 2622677 C1 Российская Федерация, МПК F02K 9/56. Система управления расходом компонента топлива ЖРД : № 2016127091 : заявл. 05.07.2016 : опубл. 19.06.2017 / В.Д. Горохов, Г.А. Копков ; заявитель Акционерное общество «Конструкторское бюро химавтоматики»
4. Патент на полезную модель № 183903 U1, МПК G05D 7/03. Блок регуляторов расхода : № 2017146984 : заявл. 29.12.2017 : опубл. 08.10.2018 ; заявитель Акционерное общество «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко».
5. Развитие детерминированного синтеза алгоритмов терминального управления расходованием топлива из баков жидкостной ракеты – носителя на дискретные безрасходомерные системы / В.К. Завадский, В.П. Иванов, Е.Б. Каблова [и др.] // Труды ФГУП «НПЦАП». Системы и приборы управления. – 2021. – № 2. – С. 56-69.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ РАКЕТ СВЕРХЛЕГКОГО КЛАССА С ЖРД

Каушан Николай Владимирович
студент,
кафедра двигателей летательных аппаратов,
Сибирский государственный университет
науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,
РФ, г. Красноярск
E-mail: kaushan98@mail.ru

MODERN TECHNOLOGIES FOR THE DEVELOPMENT OF ULTRALIGHT ROCKETS WITH A LIQUID ROCKET ENGINE

Nikolay Kaushan
Student,
Department of Aircraft Engines,
Reshetnev Siberian State University
of Science and Technology,
Russia, Krasnoyarsk

АННОТАЦИЯ

Ракеты-носители легкого и сверхлегкого класса – это новый мировой тренд в ракетостроении. Сегмент рынка продолжает формироваться, основной задачей российской космической промышленности является своевременное освоение сформировавшегося спроса на данный тип услуг и сохранение стратегической инициативы. Цель статьи – представить примеры современных разработок ракет сверхлегкого класса с ЖРД. В качестве метода использованы общенаучные методы анализа, обобщения, сравнения. В заключении отмечено, что, несмотря на сложные экономические условия, в значительной мере утраченные позиции России в мировой космической науке, потенциал в научной сфере развития центра ракетно-космической промышленности, тем не менее, имеется. В том числе, в значительной степени важны разработки ракет сверхлегкого класса.

ABSTRACT

Light and ultralight class launch vehicles are a new global trend in rocket engineering. The market segment continues to form, the main task of the Russian space industry is to timely develop the demand for this type of services and preserve the

strategic initiative. The purpose of the article is to present examples of modern developments of ultralight rockets with a rocket engine. General scientific methods of analysis, generalization, and comparison are used as a method. In conclusion, it is noted that, despite the difficult economic conditions, Russia's largely lost positions in world space science, there is nevertheless potential in the scientific sphere of the development of the center of the rocket and space industry. In particular, the development of ultralight missiles is largely important.

Ключевые слова: жидкостный ракетный двигатель; перспективные разработки; ракеты сверхлегкого класса; частная космонавтика.

Keywords: liquid rocket engine; advanced developments; ultralight class rockets; private cosmonautics.

Решение перспективных задач Федеральной космической программы требует создания и модернизации средств выведения легкого, среднего, тяжелого и сверхтяжелого классов. Одна из значимых проблем современной космонавтики – развитие частного сектора в целях достижения эффективности различных отраслей народного хозяйства. Ракеты-носители легкого и сверхлегкого класса – это новый мировой тренд в ракетостроении.

Сегмент рынка продолжает формироваться, основной задачей российской космической промышленности является своевременное освоение сформировавшегося спроса на данный тип услуг и сохранение стратегической инициативы. Специалисты в последнее время заинтересованы в разработках ракет сверхлегкого класса, о чем свидетельствуют научные публикации. Так, В.Ю. Клюшников рассмотрел перспективы коммерческой космонавтики, перспективы коммерческого использования ракет-носителей сверхлегкого класса на формирующемся рынке запусков малоразмерных космических аппаратов [2, с. 58-71].

Специалисты отметили тот факт, что разработка ракет сверхлегкого класса – это перспективное направление, находящееся в самом начале промышленного производства. В настоящее время специалисты указывают на направления

разработок, которые касаются проблемы экономического характера, ограничения, накладываемые в связи с модернизацией базового варианта сверхлегкой ракеты и организационно-технической системы его применения, а также ограничения, зависящие от целевых задач использования системы выведения сверхлегких ракет. Специалисты предлагают использовать комплексный подход в целях развития системы выведения исследовательских метеоракет [5, с. 5]. Авторы предлагают оценивать проект ракеты-носителя сверхлегкого класса методом минимизации стоимости единицы информации с учетом оперативности применения космической орбитальной группировки.

Специалисты указывают не просто о комплексном подходе, но о модели орбитальной группировки космических аппаратов, в основе которого лежит объектно-ориентированный подход [3, с. 36-41]. Это особенно актуально, например, при проведении метеонаблюдений, мониторинга чрезвычайных ситуаций, других сфер народного хозяйства, где используется комплекс ракет сверхлегкого класса. Например, используют космические средства гидрометеорологического назначения всего 14 организаций в мире [4, с. 24-55]. Российские организации используют такие космические аппараты, как «Метеор-М» № 2, «Электро-Л» № 3, уникальная космическая система «Арктика-М».

При этом специалисты отмечают значительное развитие этой отрасли в ближайшей и стратегической перспективе.

Можно отметить необходимость проведения дополнительных разработок по созданию семейства ракет-носителей в целях снижения себестоимости пусковых затрат и удешевления самих космических аппаратов. Кроме того, остро встает вопрос экологии, так как отработанное топливо наносит непоправимый ущерб экологии и в перспективе в ракетах сверхлегкого класса с ЖРД необходимо использовать менее токсичные топливные пары.

Специалисты, работая над проектами сверхлегких ракет, предлагают различные варианты. На рисунке 1 представлена 3D-модель двигательной установки на основе метановых жидкостных ракетных двигателей малой тяги «Candle»,

которая легла в основу двух концепций ракеты-носителя с универсальной двигательной установкой на основе метановых жидкостных ракетных двигателей малой тяги [6, с.14-18].

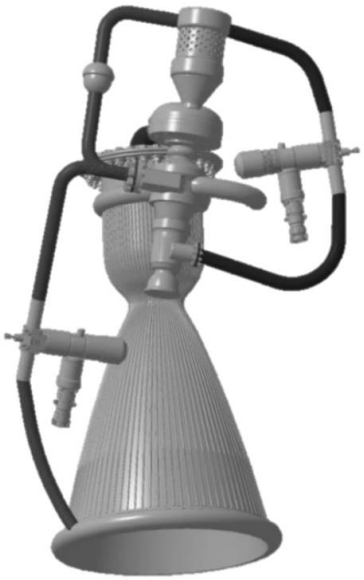


Рисунок 1. 3D-модель двигательной установки на основе метановых жидкостных ракетных двигателей малой тяги «Candle» [62, с.14-18]

В качестве топлива используется топливная пара – метан/кислород, а пневмогидравлическая схема выполнена по схеме без дожигания генераторного газа. Разработанный жидкостный ракетный двигатель малой тяги оснащен нетрадиционной регенеративной системой охлаждения, интенсифицирующей процесс теплообмена между теплоносителем, в качестве которого выступает один из компонентов топлива, и расположенной между внутренней и внешней стенкой камеры сгорания пористой вставкой, что улучшает охлаждающие способности системы и позволяет увеличить ресурс работы двигателя и сделать его многоразового использования [1, с. 345-350].

Двигательная установка может использоваться для сверхлегкой ракеты-носителя «BERIK-2020», в перспективе осуществляющей доставку полезной нагрузки массой до 250 килограмм на орбиту с высотой до 500 км.

- длина ракеты-носителя составит – 13,81 метров;
- диаметр – 1,2 метра,

- стартовая масса 13,03 тонн.

Ракета «BERIK-2030» – это вторая концептуальная разработка сверхлегкой ракеты, изготовленная полностью из композита и имеющая спасаемую первую ступень. Параметры ракеты:

- длина ракеты-носителя составит – 13,62 метров;
- диаметр – 1,2 метра;
- стартовая масса 12,71 тонн.

В заключение стоит сказать о том, что, несмотря на сложные экономические условия, в значительной мере утраченные позиции в мировой космической науке, потенциал в научной сфере развития центра ракетно-космической промышленности, тем не менее, имеется. В том числе, в значительной степени важны разработки ракет сверхлегкого класса.

Список литературы:

1. Башарина Т.А., Левин В.С., Меньших В.В., Ильина А.К., Носова В.С., Шматов Д.П. Разработка жидкостного ракетного двигателя малой тяги для ракет сверхлегкого класса // Авиакосмические технологии. – 2018. – С.345-350
2. Клюшников В.Ю. Ракеты-носители сверхлегкого класса: ниша на рынке пусковых услуг и перспективные проекты // Воздушно-космическая сфера. – 2019. – № 3(100). – С. 58-71
3. Концептуальная модель программного комплекса анализа состояния орбитальной группировки космических аппаратов / Г.А. Зубков, И.Г. Иванов, К.А. Охлопков [и др.] // Авиакосмическое приборостроение. – 2021. – № 7. – С. 36-41
4. Обзор орбитальных группировок космических аппаратов оперативного метеонаблюдения / А.А. Асташкин, А.В. Карелин, И.Н. Комиссарова [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2021. – Т. 181. – № 2. – С. 24-55
5. Оценка возможности проекта ракеты-носителя сверхлегкого класса для формирования спутниковых группировок / П.А. Козедра, Ю.А. Матвеев, А.А. Позин [и др.] // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2021. – № 2(110). – С. 5
6. Разработка ракеты-носителя сверхлегкого класса с универсальной метановой двигательной установкой на основе передовых технологий производства / Т.А. Башарина, В.С. Носова, С.Н. Лымич, Д.П. Шматов // Аэрокосмическая декада: сб. тр. XIII Всерос. научно-техн. студ. школы-семинара (Алушта, 26 сен. 2020 г). – Москва: Издательство «Перо», 2020. – С. 14-18.

УДЕЛЬНЫЙ ИМПУЛЬС ЖРД, ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ПОВЫШЕНИЯ

Каушан Николай Владимирович
студент,
кафедра двигателей летательных аппаратов,
Сибирский государственный университет
науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,
РФ, г. Красноярск
E-mail: kaushan98@mail.ru

SPECIFIC IMPULSE OF A LIQUID ROCKET ENGINE, THE POSSIBILITY OF ITS INCREASE

Nikolay Kaushan
Student,
Department of Aircraft Engines,
Reshetnev Siberian State University
of Science and Technology,
Russia, Krasnoyarsk

АННОТАЦИЯ

В качестве цели настоящей статьи определена необходимость повышения удельного импульса жидкостных ракетных двигателей. В основе этих процессов, рассматриваемых в данной статье, представлены добавки различных металлов в топливо, выделены особенности применения алюминия, титана. В качестве метода использованы общенаучные методы анализа, обобщения, сравнения. Результаты научных изысканий позволили говорить о необходимости совершенствования состава топлива для жидкостных ракетных двигателей, возможностях конструктивных изменений с целью повышения удельного импульса.

ABSTRACT

The purpose of this article is to determine the need to increase the specific impulse of liquid rocket engines. At the heart of these processes, considered in this article, additives of various metals in fuel are presented, the features of the use of aluminum and titanium are highlighted. General scientific methods of analysis, generalization, and comparison are used as a method. The results of scientific research made it possible to talk about the need to improve the composition of fuel for liquid rocket engines, the possibilities of design changes in order to increase the specific impulse.

Ключевые слова: жидкостный ракетный двигатель; алюминий, титан, удельный импульс.

Keywords: liquid rocket engine; aluminum, titanium, specific impulse.

Повышение удельного импульса относится к первоочередным задачам, которые решаются при создании новых ЖРД и модернизации эксплуатируемых двигателей. Удельный импульс является важнейшим параметром жидкостного ракетного двигателя, характеризующим эффективность жидкого ракетного топлива и совершенство конструкции двигателя. От величины удельного импульса в конечном счёте зависит весовая отдача ракетной системы. В настоящее время актуальной задачей является увеличение удельного импульса ЖРД при минимальных экономических затратах, то есть с использованием уже отработанной технологии создания двигателей.

Существуют различные способы повышения эффективности жидких ракетных горючих, которые влияют на удельный импульс ЖРД. Возможности повышения удельного импульса ЖРД связаны с исследованием характеристик горения смесевых композиций, содержащих алюминий и бор [2, с.131-135]. Специалисты анализируют влияние содержания бора на параметры горения высокоэнергетического материала на основе перхлората аммония, бутадиенового каучука, порошка алюминия и титана [5, с. 3-8] .А.Г. Коротких предлагает использовать нанопорошки с содержанием алюминия и титана. Экспериментальным путем установлено, что при использовании добавок титана, удельный импульс возрастает значительно.

Специалисты изучают влияние величины энтальпии образования, содержания водорода и коэффициента насыщенности кислородом органического окислителя ракетных топлив на оптимальную величину удельного импульса ЖРД [1, с. 48-52]. Е.М. Дорофеенко отметил, что максимальные величины удельного импульса в композициях без металла и с металлом зависят от бинарных составов топлив, содержащих высокоэнтальпийный органический окислитель и связующее.

Специалисты изучают основные принципы работы ЖРД с использованием алюминия и водорода в качестве добавки в камеру сгорания [3, с. 65-67]. Алюминий в качестве добавки к жидкому топливу для повышения удельного импульса уступает титану, литию и бериллию, однако, алюминий – это более доступный металл, добыча которого значительно менее дорогостоящая.

Выявлено, что если нанопорошок алюминия добавить непосредственно в жидкое углеводородное топливо, то при некотором времени хранения поверхность наночастиц алюминия оксидируется растворенным в топливе кислородом, и при прогреве частиц в составе жидкого углеводородного топлива произойдет лишь частичное вскипание и атомизация алюминия. Твердый оксид алюминия поверхностного слоя не участвует в процессе горения, что приводит к снижению теплового эффекта реакций горения.

Специалисты отмечают необходимость предотвращения окисления при помощи покрытия наночастиц алюминия атиоксидантным протектором. В качестве такого протектора может быть использован карбид бора (BC) либо борид алюминия (AlB2) с толщиной покрытия 2-5 нм. Покрытие предотвращает оксидирование наночастиц кислородом, в том числе растворенным в углеводородном топливе, способствует вскипанию и атомизациии алюминия при собственном сгорании, давая к тому же дополнительный тепловой эффект по сравнению с керосином

Выявленная проблема отражена в работе Г.П. Кузнецова [6, с. 112-115], где рассмотрены особенности использования Бора и Алюминия в ЖРД. Основным продуктом горения алюминия является оксид алюминия (Al2O3), который практически не существует в газовой фазе. Это обусловливает эффективность его применения в высокотемпературных топливах. Автор отметил перспективы использования бора не только в качестве энергетической добавки, но также в качестве дополнительного источника рабочего тела. Существенным недостатком бора является трудность воспламенения его частиц, это может приводить к неполноте его сгорания в двигателе или энергетической установке. Эффективность использования металлического горючего алюминия для достижения высоких

энергетических характеристик реализуется в высокотемпературных составах при адиабатической температуре горения порядка 2500 К и выше [2, с.131-135].

В целом специалисты указывают на металлосодержащее горючее в качестве предпочтительного [4, с. 156-157]. Данное горючее имеет энергетические возможности, которые привлекают внимание и являются перспективными для конструкций ЖРД. Однако специалисты рассматривают и возможности конструктивных изменений для повышения удельного импульса.

Улучшение конструктивных особенностей двухконтурного щелевого сопла ракетного двигателя позволяет улучшить тяговые характеристики двигателя [7, с. 56-72]. В.В. Семенов провел сравнительный анализ тяговых характеристик высотного гладкого круглого сопла и высотного щелевого сопла с изломом контура (двухконтурного щелевого сопла).

Все указанные предложения пока недостаточно востребованы, изыскания в этой сфере следует продолжать, но уже сейчас можно говорить о том, что предлагаемое металлосодержащее горючее позволяет не только увеличить удельный импульс тяги, но и обеспечивает простоту и надежность их подачи в камеру сгорания.

Список литературы:

1. Дорофеенко Е.М., Лемперт Д.Б. Зависимость оптимального состава ракетного топлива без металла с максимально достижимой величиной удельного импульса от элементного состава и энтальпии образования окислителя // Химическая физика. – 2021. – Т. 40. – № 3. – С. 48-52.
2. Енков М.О., Горбенко Т.И., Горбенко М.В. Исследование характеристик горения смесевых композиций, содержащих алюминий и бор // X Всерос. научная конф. с междунар. участием «Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики -2020»: Материалы конференции (Томск, 18–20 ноя.. 2020 г.). – Томск: Издательство «Красное знамя», 2021. – С. 131-135.
3. Зинатов А.Ю. Оценка различных способов повышения эффективности топлива ЖРД // Аллея науки. – 2020. – Т. 2. – № 6(45). – С. 65-67.
4. Злобина Е.А., Колегов Р.М. Повышение удельного импульса ЖРД за счёт металлосодержащего горючего // Решетневские чтения. – 2015. – Т. 1. – С. 156-157.

5. Коротких А.Г., Сорокин И.В. Влияние бора на параметры горения ВЭМ и окисление нанопорошков Al/B, Ti/B // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2021. – Т. 64. – № 4(761). – С. 3-8.
6. Кузнецов Г.П., Колесников-Свинарёв В.И., Ассовский И.Г. О горении алюминия, бора и их композиции в кислородсодержащих средах // Горение и взрыв. – 2017. – Т. 10. – № 2. – С. 112-115.
7. Семенов В.В., Иванов И.Э., Крюков И.А. Двухконтурное щелевое сопло ракетного двигателя // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2016. – № 46. – С. 56-72.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЖРД

Каушан Николай Владимирович
студент,
кафедра двигателей летательных аппаратов,
Сибирский государственный университет
науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,
РФ, г. Красноярск
E-mail: kaushan98@mail.ru

ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF USING LIQUID ROCKET ENGINES

Nikolay Kaushan
Student,
Department of Aircraft Engines,
Reshetnev Siberian State University
of Science and Technology,
Russia, Krasnoyarsk

АННОТАЦИЯ

Проблемы воздействия на экологию современного народного хозяйства трудно переоценить. Ракетостроение как отрасль народного хозяйства не исключение. В качестве цели настоящей статьи определена необходимость анализа современных публикаций на тему экологических проблем использования жидкостных ракетных двигателей. Использованное сырье, продукты горения пары керосин-кислород, отработанные конструкции летательных аппаратов и многое другое негативно влияют на состояние экологии. В качестве метода использованы общенаучные методы анализа, обобщения, сравнения. Результаты научных изысканий позволили говорить о необходимости решения проблем экологической безопасности, основные пути представлены в результате написания данной статьи.

ABSTRACT

It is difficult to overestimate the problems of the impact on the ecology of the modern national economy. Rocket science as a branch of the national economy is no exception. As the purpose of this article, the necessity of analyzing modern publications on the topic of environmental problems of using liquid rocket engines is

determined. The raw materials used, the products of gorenje-oxygen vapor combustion, the spent designs of aircraft and many other things negatively affect the state of ecology. General scientific methods of analysis, generalization, and comparison are used as a method. The results of scientific research made it possible to talk about the need to solve environmental safety problems, the main ways are presented as a result of writing this article.

Ключевые слова: жидкостный ракетный двигатель; перспективные разработки; экологические проблемы, совершенствование, экономические затраты.

Keywords: liquid rocket engine; promising developments; environmental problems, improvement, economic costs.

Остатки агрессивного ракетного топлива негативно влияют на почву и водные ресурсы, загрязняют атмосферу Земли.

В качестве сильнодействующих токсичных веществ ЖРД выделяют: азотную кислоту, тетроксид азота, амины, горючие гидразинового ряда (гидразин, монометилгидразин, несимметричный диметилгидразин) и другие.

Горение топлива сопровождается сложными и многочисленными химическими реакциями с образованием газообразных и мелкодисперсных твердых веществ. Основную массу продуктов сгорания составляют соляная (хлористоводородная) кислота и окись алюминия. Соляная кислота, поступая в почву, повышает ее кислотность, что вызывает ряд изменений, как химических свойств самих почв, так и состояния растительности. Кроме того, есть сведения о неполном сгорании перхлората аммония – вещества второго класса опасности, приводящем к его поступлению в природные ландшафты.

Несимметричный диметилгидразин, который является одним из самых токсичных компонентов и иначе называется «гептил». «Гептил» способен накапливаться в грибах, ягодах, живых организмах и распространяется по пищевой цепочке, достигая человека. Тетраоксид азота также является довольно токсичным.

Сочетание этих веществ вызывает опасность и определенные трудности при заправке топлива и эксплуатации ракет-носителей (РН).

Существенные трансформации происходят при попадании ракетного топлива в гидросферу. Оказывает негативное влияние, а именно увеличение концентрации нитратов и нитритов, загрязнение воды азотной кислотой.

В связи с чем, специалисты изучают возможности нивелирования этих проблем [3, с. 63-70]. В частности, специалисты рассматривают возможности утилизации отделившихся от ракеты-носителя частей в районах падения [5].

Специалисты разрабатывают мероприятия по рассеиванию опасных фрагментов, веществ в местах падения отработанных ступеней ракет-носителей, изучают предельно-допустимые концентрации токсичных выбросов [6, с. 93-107]. Специалисты предлагают программный подход решения проблемы экологии, рассматривая критерий экологической безопасности отделяющихся частей ракет-носителей с маршевыми жидкостными ракетными двигателями [4, с. 116-130]. Специалисты полагают, что предлагаемые ими мероприятия позволят минимизировать техногенное воздействие отработанных частей на окружающую среду после выполнения программы.

Специалисты отмечают значимость как экологических, так и технологических инноваций в ракетно-космических технологиях.

Специалисты рассматривают базовые направления снижения техногенного воздействия отработанных частей ракет носителей [2, с. 115-126]. Несомненно, для каждого типа ракеты-носителя необходима разработка определенных мер, например, для ракет-носителей типа «Иртыш» в районах падения предпринимаются следующие меры снижения негативного влияния на экологию:

- определение оптимальных участков для падения отработавшего ускорителя в выделенных зонах районов падения на основе создания дополнительной информационно-аналитической системы района падения;
- совершенствование процесса управляемого спуска на основе проектно-конструкторских решений, основанных на испарении невырабатываемых жидких остатков топлива в баках отработавшего ускорителя и использовании

полученных парогазовых смесей для управляемого спуска отработавшего ускорителя в выделенную зону районов падения.

Несомненно, участки, предусмотренные для падения отработанных ступеней ракет-носителей, должны обладать наибольшей устойчивостью к вредному воздействию и минимальной стоимостью работ на восстановление почвогрунтов участка.

Такие мероприятия не могут считаться эффективными в стратегической перспективе освоения космоса. Необходимы более современные разработки, так как изменение экологических характеристик зависит от ресурсов и удельного расхода топлива в ракетно-космической техники двойного назначения. Необходимо рассматривать проблему экологии с экономической точки зрения, так как прогрессивные технологии, предлагаемые специалистами для снижения негативного воздействия на экологию, чаще всего высокозатратны. Об этом свидетельствуют данные, приводимые специалистами на VI Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики [7, с.132-134]. Специалисты приводят данные падения прибыли от использования летательных аппаратов с улучшенными экологическими характеристиками двигателей (рисунок 1).

Рисунок 1. Падение прибыли от использования летательных аппаратов с улучшенными экологическими характеристиками двигателей

Однако проблемы экологии требуют сохранения баланса интересов экономики и экологии, они должны дополнять друг друга, о чем отмечают в своем исследовании таки специалисты как А. Анопка и С. Ковалев [1].

Специалисты отмечают в качестве перспективного направления решения экологических проблем возможность утилизации остатков компонентов топлива до момента контакта с поверхностью Земли на пассивном участке полета. Например, к таким мерам специалисты относят мероприятия, представленные на рисунке 2.

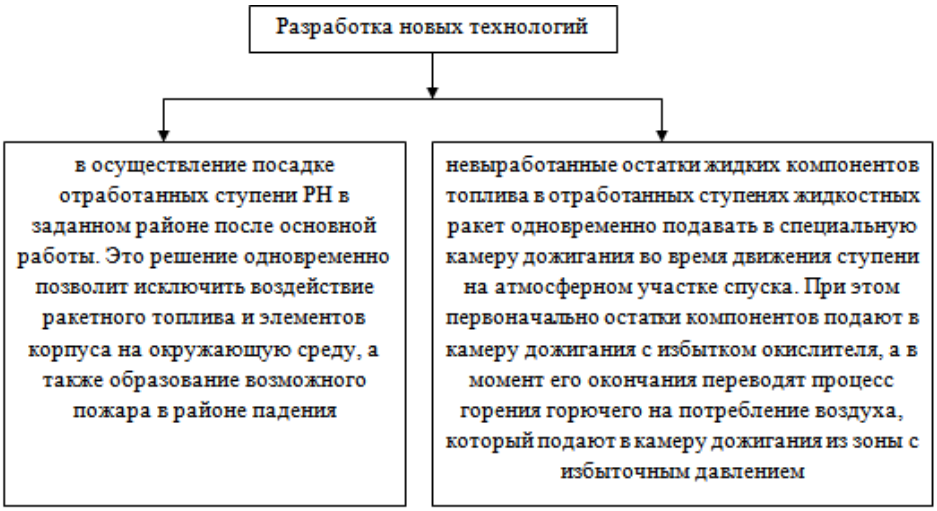


Рисунок 2. ***Падение прибыли от использования летательных аппаратов с улучшенными экологическими характеристиками двигателей***

Специалисты отмечают, что стратегически важным является использование нетоксичного топлива. Кроме того, следует учитывать особенности дозаправки ЖРД, когда имеют место утечки топлива, которые необходимо устранять. Следует практически устранить малейшие утечки топлива с использованием агрегатов, фиксирующих и нейтрализующих их.

В настоящее время нет возможности применения нетоксичного топлива для ЖРД, однако, необходимо искать новые пути создания более безопасных компонентов топлива, не жертвуя при этом энергетическими характеристиками. Следует рассматривать возможности перехода на такие топливные пары как водород и кислород, которые наиболее благоприятны для экологии.

Список литературы:

1. Анопка А., Ковалев С. Экология при запусках ракет на токсичных компонентах топлива. Издательство: ОмГТУ. Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2016. – Т. 1. – С. 915-917.
2. Концепция снижения техногенного воздействия пусков перспективной ракеты-носителя «Иртыш» в районах падения космодрома Байконур / Б.Т. Суйменбаев, В.И. Трушляков, // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. – 2019. – Т. 3. – № 2. – С. 115-126.
3. Немчин В.Н., Молокова О.В., Иваненко Т.К. Проблемы загрязнения окружающей среды компонентами жидких ракетных топлив при запуске ракет // Космодром «Восточный» – будущее космической отрасли России: материалы II всерос. научно-практ. конф., (Благовещенск, 26–27 нояб. 2013 г.). – Благовещенск: БГПУ, 2013. – С. 63-70.
4. Сравнительный анализ экологической безопасности отделяющихся частей ракет-носителей с жидкостными ракетными двигателями при различных концепциях проектирования / Д.А. Баранов, К.И. Жариков, В.И. Трушляков // Космонавтика и ракетостроение. – 2019. – № 1(106). – С. 116-130.
5. Техногенная трансформация экологических функций абиотических сфер Земли под влиянием военной / В.Т. Трофимов, Харькина М.А., Жигалин А.Д. // Вестник московского университета. Сер. 4. Геология. – 2019. – № 1. – С. 3-13.
6. Экологические проблемы эксплуатации ракетно-космических систем / В.В. Родченко, А.Г. Галеев, П.В. Пичужкин [и др.] // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2015. – № 7. – С. 93-107
7. Экономические проблемы и экологические последствия использования ракетных двигателей / И.Е. Мушаков, Д.Д. Губин, А.В. Девятаев // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: сб. материалов VI междунар. научно-практ. конф. (Красноярск, 13–17 апр. 2020 г.). – Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2020. – С. 132-134

СЕКЦИЯ

«ТЕХНОЛОГИИ»

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БУМАГООБРАЗУЮЩИХ СВОЙСТВ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ РАЗЛИЧНОГО МАКУЛАТУРНОГО СЫРЬЯ

Слизикова Елена Александровна

магистрант,
кафедра машины и аппараты промышленных технологий,
Сибирский государственный университет науки
и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,
РФ, г. Красноярск
E-mail: 905426521lena@mail.ru

Шуркина Валентина Ивановна

научный руководитель, канд. техн. наук,
кафедра машины и аппараты промышленных технологий,
Сибирский государственный университет науки
и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,
РФ, г. Красноярск

COMPARATIVE ANALYSIS OF PAPER-FORMING PROPERTIES OF FIBROUS SEMI-FINISHED PRODUCTS FROM VARIOUS WASTE PAPER RAW MATERIALS

Elena Slizikova

Master's student,
department of machines and devices of industrial technologies,
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,
Russia, Krasnoyarsk

Valentina Shurkina

Scientific supervisor, candidate of technical sciences,
department of machines and devices of industrial technologies,
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,
Russia, Krasnoyarsk

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрен сравнительный анализ бумагообразующих свойств волокнистой массы таких типов макулатурного сырья как: белой бумаги, картона и газеты.

ABSTRACT

The article considers a comparative analysis of the paper-forming properties of the fibrous mass of such types of waste paper raw materials as: white paper, cardboard and newspapers.

Ключевые слова: бумага, газета, картон, бумагообразующие свойства, длина волокна, водоудерживающая способность.

Keywords: paper, newspaper, cardboard, paper-forming properties, fiber length, water-holding capacity.

Одним из экологически перспективных и экономически привлекательных путей наращивания производства бумаги является использование в ее производстве макулатуры. Использование вторичного волокнистого сырья приводит к расширению сырьевой базы и уменьшению зависимости промышленных предприятий от обеспечения первичным волокнистым сырьем.

В основном из такого сырья изготавливают санитарно-гигиеническую бумагу и упаковочный картон. Однако в сравнении с первичными волокнами вторичные – характеризуются пониженными бумагообразующими свойствами [1]:

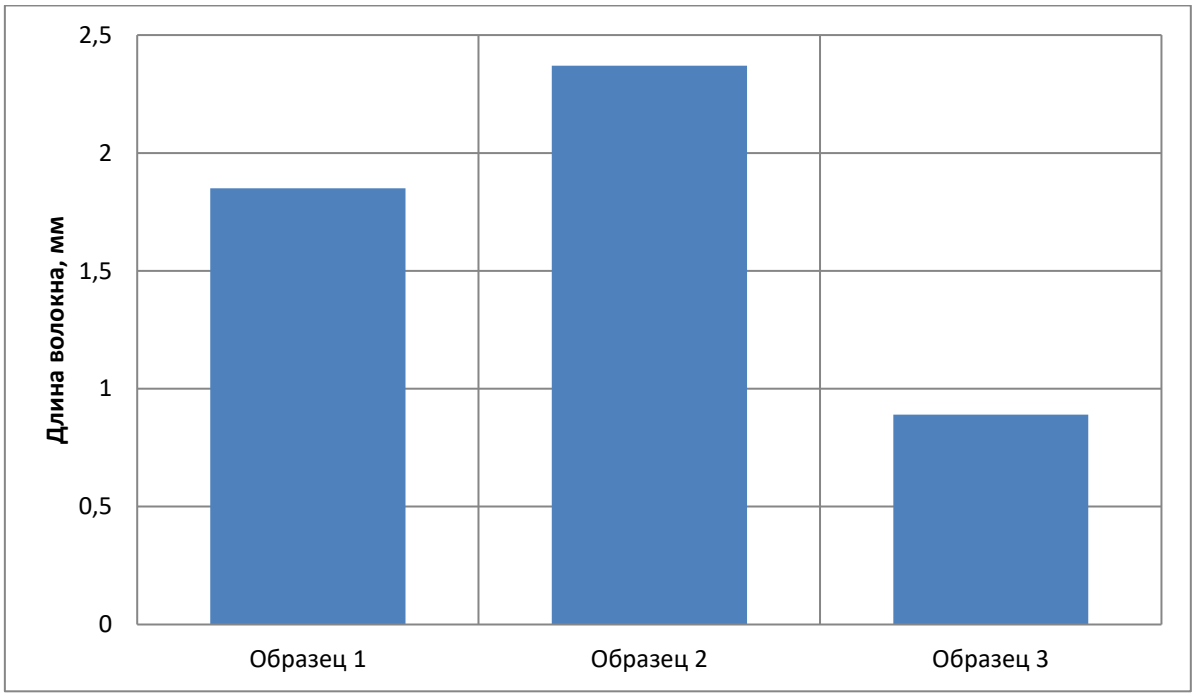
- пониженной прочностью индивидуальных волокон;
- слабой способностью к образованию межволоконных связей и снижение способности к набуханию;
- повышенная восприимчивость к измельчению;
- наряду с целыми волокнами появляются волокнистая мелочь, разорванные, раздавленные с поперечными трещинами волокна.

Снижение бумагообразующих свойств макулатурных волокон неизбежно происходит в процессах первичного изготовления и переработки бумаги и

картона, во время эксплуатации готовых изделий, а также в процессах подготовки макулатурной массы.

В лаборатории кафедры «Машины и аппараты промышленных технологий» Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнва был произведен роспуск различных видов макулатуры с последующим анализом бумагообразующих свойств волокнистой массы: белой бумаги, картона и газеты.

На рис. 1 представлены данные по величине средней длины волокна для разных типов образцов.

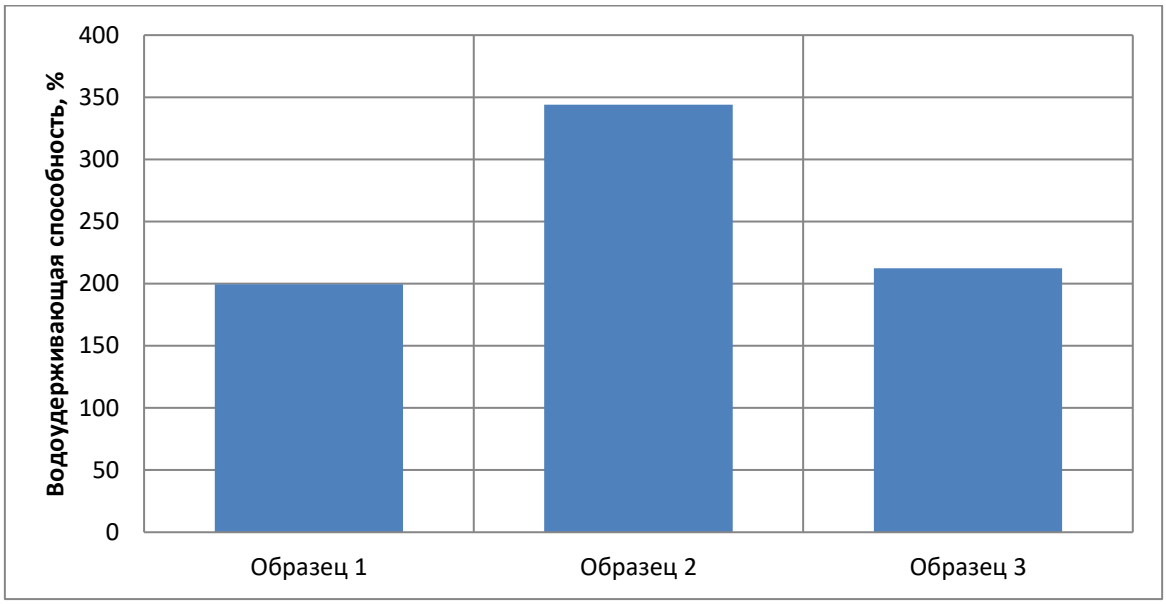


Образец 1 – белая бумага; Образец 2 – картон; Образец 3 – газета

Рисунок 1. Средняя длина волокна для различных типов образцов

Из графика видно, что худший показатель средней длины волокна наблюдается у волокнистой массы из газетной бумаги. Объяснить это можно тем, что газетная бумага производится из 100% макулатурной массы, т.е. из сырья, которое ранее неоднократно проходило полный технологический цикл бумажного производства [3].

На рис. 2 представлены данные по показателю водоудерживающей способности для образцов.



Образец 1 – белая бумага; Образец 2 – картон; Образец 3 – газета

Рисунок 2. Водоудерживающая способность для различных типов образцов

Из графика на рис.2 видно, что более высокий показатель водоудерживающей способности наблюдаются у образца 3 – картона. Это объясняется тем, что в макулатурной массе из картона содержатся клеи, пропитки, химикаты и наполнители, которые очень трудно удалить при переработке.

Кроме того, фракционный состав тоже является одним из важных качественных показателей волокнистой массы. В настоящее время фракционирование используют в качестве метода контроля качества массы. Как известно, изменяя фракционный состав полуфабрикатов, можно регулировать прочностные свойства готовой продукции. С помощью фракционирования мы можем увидеть полную картину о свойствах волокнистой массы, оценить влияние мелкой фракции на прочностные характеристики готовой продукции [4].

В табл.1 представлены содержания грубой, средней и мелкой фракции в макулатурной массе.

Таблица 1.

Фракционный состав

Образец	Мелкая фракция, %	Средняя фракция, %	Крупная фракция, %	Потери, %
Образец 1	3	9,6	61,8	25,6
Образец 2	2,6	6,6	57	34,4
Образец 3	8	17,6	51,6	22,8

Из данной таблицы видно, что при фракционировании макулатурной массы наблюдаются большие потери волокна в сток. При сравнении показателей процентного содержания фракций для разных типов образцов видно, что в макулатурной массе из газеты наблюдается повышенное содержание мелкой и средней фракции, вследствие чего показатели механической прочности продукции из этого сырья будут хуже, чем из сырья образцов 1 и 2.

Для поддержания показателей механической прочности продукции на требуемом уровне необходимо осуществлять регулярный технологический контроль за содержанием мелкой фракции и использовать технологические операции по ее сокращению. Для сокращения доли волокна с пониженными бумагообразующими свойствами в составе макулатурной массы при переработке желательно мелкую фракцию волокон по возможности направлять на выработку санитарно-гигиенических или санитарно-бытовых видов бумаги [2].

Таким образом, бумагообразующие свойства макулатурной массы в значительной степени зависят от количества циклов переработки вторичного волокна. При переработке и последующем использовании волокон наблюдается ухудшение фракционного состава массы: увеличивается доля коротковолокнистой фракции и снижается доля длинноволокнистой и средневолокнистой фракции. А также наблюдается снижение средней длины волокна и увеличение водоудерживающей способности.

Список литературы:

1. Ванчаков М.В. Технология и оборудование для переработки макулатуры: учебное пособие // М.В. Ванчаков, А.В. Кулешов, Г.Н. Коновалова – Санкт-Петербург, 2011. – 101с.

2. Ванчаков М.В. Технология и оборудование переработки макулатуры: учебное пособие/ М.В. Ванчаков, А.В. Кулешов, А.В. Александров, А.А. Гаузе // ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2019. Часть I. – 107 с.: ил. 31. – ISBN 978-5-91646-174-9.
3. Марченко Р.А. Сравнительная оценка показателей размола при ножевом и безножевом способах // Р.А. Марченко, Н.С. Решетова, Ю.Д. Алашкевич. Журнал: Химия растительного сырья. 2012.
4. Шуркина В.И., Алашкевич Ю.Д. Бумагообразующие свойства волокнистой массы повышенной концентрации при размоле ее на установке с инерционным движением рабочих тел. К. : eLIBRARY. 2013. №3. С. 54-39.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

НАУЧНОЕ СООБЩЕСТВО СТУДЕНТОВ XXI СТОЛЕТИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Электронный сборник статей по материалам CVII студенческой международной научно-практической конференции

№ 11 (106)
Ноябрь 2021 г.

В авторской редакции

Издательство ООО «СибАК»
630049, г. Новосибирск, Красный проспект, 165, офис 5.
E-mail: mail@sibac.info

16 +

СибАК

www.sibac.info