

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ**

**«Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ**

**Студенттер мен жас ғалымдардың  
«GYLYM JÁNE BILIM - 2023»  
XVIII Халықаралық ғылыми конференциясының  
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
XVIII Международной научной конференции  
студентов и молодых ученых  
«GYLYM JÁNE BILIM - 2023»**

**PROCEEDINGS  
of the XVIII International Scientific Conference  
for students and young scholars  
«GYLYM JÁNE BILIM - 2023»**

**2023  
Астана**

**УДК 001+37**  
**ББК 72+74**  
**G99**

**«GYLYM JÁNE BILIM – 2023» студенттер мен жас ғалымдардың  
XVIII Халықаралық ғылыми конференциясы = XVIII  
Международная научная конференция студентов и молодых  
ученых «GYLYM JÁNE BILIM – 2023» = The XVIII International  
Scientific Conference for students and young scholars «GYLYM JÁNE  
BILIM – 2023». – Астана: – 6865 б. - қазақша, орысша, ағылшынша.**

**ISBN 978-601-337-871-8**

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

**УДК 001+37**  
**ББК 72+74**

**ISBN 978-601-337-871-8**

**©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия  
ұлттық университеті, 2023**

спуске, подъемная сила КА. Начальная орбита считается круговой, траектория спуска КА считается идеальной – без погрешностей.

По формулам (1-11) рассчитываются величины характеристик по спуску КА на внеатмосферном участке спуска, а по формулам (12-15) делается расчет на спуск КА при входе в плотные слои атмосферы. Таким образом, по предложенным выражениям можно смоделировать спуск КА с орбиты и вхождение в атмосферу Земли. Результаты численного расчета будут предоставлены в наших следующих работах.

### Список литературы

1. Низкая околоземная орбита — Википедия (wikipedia.org)
2. Баллистика и навигация космических аппаратов: учебник для вузов / Н. М. Иванов, Л. Н. Лысенко. - 3-е изд. перераб. и доп. - Москва, Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. - 523, [5] с.
3. Правила утилизации космических объектов и технических средств, выведенных из эксплуатации – Приложение к приказу Министра цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан от 27 января 2023 года № 30/НҚ. – 30 стр.
4. Comparison of Technologies for deorbiting spacecraft from Low-Earth-orbit at End-of-life. G. Sánchez-Arriagal<sup>1</sup>, J. R. Sanmartín<sup>2</sup>, E. C. Lorenzini - Bioengineering and Aerospace Department, Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, 28911, Spain, 2021.
5. DE-ORBIT STRATEGIES WITH LOW-THRUST PROPULSION, A. Gaudel, C. Hourtolle, J.F. Goester, and M. Ottaviani, 2015. – 17 p.
6. С.А. Мирер МЕХАНИКА КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА ОРБИТАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ, Учебно-методическое пособие. — М.: МФТИ, 2013. — 106 с.

УДК 629.784

### СИСТЕМА ЗАПРАВКИ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ С ТРЕХКОМПОНЕНТНЫМИ ЖИДКОСТНЫМИ РАКЕТНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Еркен Бауыржан Елтайулы<sup>1</sup>, Курбанов Диас Аскарлович<sup>2</sup>

<sup>1</sup>[bauyrzhan.erken.00@mail.ru](mailto:bauyrzhan.erken.00@mail.ru), <sup>2</sup>[diasxan54@gmail.com](mailto:diasxan54@gmail.com)

<sup>1</sup>Магистрант кафедры «Космическая техника и технологии» ЕНУ имени Л. Н. Гумилева,

<sup>2</sup>студент кафедры «Транспорт, транспортная техника и технологии» Астана, Казахстан

Научный руководитель – Д. М. Калманова

Системы заправки в классическом виде представляют собой сложный комплекс, обеспечивающий подачу горючего и окислителя в топливные баки ракеты-носителя. Наибольшее распространение получили системы заправки ракет-носителей с двухкомпонентными жидкостными ракетными двигателями.

ЖРД – химический ракетный двигатель, использующий в качестве ракетного топлива жидкости, в том числе сжиженные газы. По количеству используемых компонентов различаются одно-, двух- и трехкомпонентные ЖРД. Ракеты-носители и двигательные установки различных космических аппаратов являются преимущественной областью применения ЖРД.

К преимуществам ЖРД относятся:

- самый высокий удельный импульс в классе химических ракетных двигателей (свыше 4 500 м/с для пары кислород-водород, для пары керосин-кислород – 3 500 м/с);

- управляемость по тяге: регулируя расход топлива, можно изменять величину тяги в большом диапазоне и полностью прекращать работу двигателя с последующим повторным запуском. Это необходимо при маневрировании аппарата в космическом пространстве.

К недостаткам ЖРД относятся:

- ЖРД и ракета на его основе значительно более сложно устроены, и более дорогостоящи, чем эквивалентные по возможностям твердотопливные (несмотря на то, что 1 кг жидкого топлива в несколько раз дешевле твердого). Транспортировать жидкостную ракету необходимо с большими предосторожностями, а технология подготовки ее к пуску более сложна, трудоемка и требует больше времени (особенно при использовании сжиженных газов в качестве компонентов топлива), поэтому для ракет военного назначения предпочтение в настоящее время оказывается твердотопливным двигателям, ввиду их более высокой надежности, мобильности и боеготовности;

- компоненты жидкого топлива в невесомости неуправляемо перемещаются в пространстве баков. Для их осаждения необходимо применять специальные меры, например, включать вспомогательные двигатели, работающие на твердом топливе или на газе.

С начала 1970-х гг. в СССР и США изучалась концепция трехкомпонентных двигателей, которые сочетали бы в себе высокое значение удельного импульса при использовании в качестве горючего водорода и более высокую усредненную плотность топлива (а, следовательно, меньший объем и вес топливных баков), характерную для углеводородного горючего. При запуске такой двигатель работал бы на кислороде и керосине, а на больших высотах переключался на использование жидких кислорода и водорода. Такой подход, возможно, позволит создать одноступенчатый космический носитель. Российским примером трехкомпонентного двигателя является ЖРД РД-701, который был разработан для многоразовой транспортно-космической системы «МАКС».

Возможно также использование двух топлив одновременно – например, водород-бериллий-кислород и водород-литий-фтор (бериллий и литий горят, а водород по большей части используется как рабочее тело). Это позволяет достичь значений удельного импульса в районе 550–560 секунд, что, однако, технически очень сложно и никогда не использовалось на практике

Система заправки ракеты-носителя с трехкомпонентными жидкостными ракетными двигателями, обладает возможностью заправки ракеты-носителя с двух- и трехкомпонентными жидкостными ракетными двигателями, что повышает целесообразность ее использования. При этом в работе проработана перспектива замены нафтила (керосина) на сжиженный природный газ для совместного применения с жидким водородом.

Использование трехкомпонентных ЖРД (к примеру РД-701, при этом охлаждающим компонентом является водород) позволяет комбинировать отработанные технологии с возможностью использования перспективных компонентов ракетного топлива, в особенности с сжиженным природным газом.

Разрабатываемая СЗ состоит из:

- СЗ нафтилом (РГ-1);
- СЗ жидким кислородом;
- СЗ жидким водородом;
- СЗ СПГ.

Наиболее сложным является проведение заправки жидким водородом.

СГС по команде «Выдача СГ СК», проверяет герметичность АС наддувом в течении 10 минут, до сигнала «АС состыкован». Команда означает, что бортовые заправочные коммуникации и наземные заправочные коммуникации состыкованы, опрессованы и готовы к замене атмосферы.

Далее, в течении 20 минут, выполняется команда «Замена воздуха на азот», служащая для исключения взрывоопасных смесей воздуха с водородом.

Следующей командой является «Захлаживание азотом». Происходит пролив магистралей жидким азотом, в целях экономии жидкого водорода. Захлаживание выполняется до  $T=77^{\circ}\text{K}$ .

Затем следует вытеснение жидкого азота газообразным водородом по команде «Замена азота на водород».

Далее следует «Захолаживание водородом», по которой выполняется последующее захолаживание предварительно охлажденных магистралей до  $T=22^{\circ}\text{K}$ .

Только после выполнения всех предыдущих команд, на которые отводится суммарно 2 часа 20 минут, следует команда «Заправка малым расходом БВ1÷БВ6», по которой происходит заполнение малым расходом (в целях проверки правильности выполнения заправки), в течении 2,5 минут, баков 1÷6 жидким водородом.

Если не поступает команд на отмену, следует команда «Заправка большим расходом БВ1÷БВ6». Заправка большим расходом является основным видом заправки, т.к. позволяет уменьшить время на саму операцию до 2 часов 27,5 минут.

По достижению уровня заполнения баков «Внимание БВ1÷БВ6», выдаваемых ПГС РН, выполняется команда «Заправка малым расходом БВ1÷БВ6», переходящая в команду «Подпитка БВ1÷БВ6», т.к. жидкий водород криогенный КРТ, происходит постоянное испарение и до момента отстыковки АС, количество КРТ в баках может уменьшиться.

После команды «Стоп БВ1÷БВ6», ПГС РН выдает команду «Баки БВ1÷БВ6 в исходном», суть которой заключается в том, что вся арматура баков водорода РН запирается. В циклограмме заправочных операций, время на выполнение команд СЗ жидкого водорода, самое большое, поэтому после команды «Баки БВ1÷БВ6 в исходном», поступает команда «Заправка окончена».

СГС выдает «СГ на продувку ЗСК», в течении 2 минут выполняется команда «Продувка ЗСК В». Продувка для магистралей СЗ жидкого водорода осуществляется гелием, т.к. данный газ имеет температуру кипения ниже температуры кипения водорода ( $T_{\text{кип}}=4^{\circ}\text{K}$  и  $T_{\text{кип}}=20^{\circ}\text{K}$  соответственно).

После продувки, следует команда «Расстыковка АС» и выполняется обдув АС, в целях снижения пожароопасности, при включении ДУ РН.

Также запускается «Охлаждение ПУ», осуществляется подача воды.

Окончательной командой является «Контакт подъема», выдаваемой в момент подъема РН с ПУ.

Рассмотрим систему заправки жидким кислородом.

СГС по команде «Выдача СГ СК», проверяет герметичность АС наддувом в течении 10 минут, до сигнала «АС состыкован». Команда означает, что бортовые заправочные коммуникации и наземные заправочные коммуникации состыкованы, опрессованы и готовы к замене атмосферы.

Далее следует «Захолаживание кислородом», по которой выполняется захолаживание магистралей до  $T=93^{\circ}\text{K}$ .

Только после выполнения всех предыдущих команд, на которые отводится суммарно 1 час 10 минут, следует команда «Заправка малым расходом БО1÷БО6», по которой происходит заполнение малым расходом (в целях проверки правильности выполнения заправки), в течении 2,5 минут, баков 1÷6 жидким кислородом.

Также по заполнению уровня до погружения ШБ поступает команда «ШБ погружены». После которой начинается заполнение ШБ гелием до поступления команды «ШБ заполнены».

Если не поступает команд на отмену, следует команда «Заправка большим расходом БО1÷БО6». Заправка большим расходом является основным видом заправки, т.к. позволяет уменьшить время на саму операцию до 2 часов 27,5 минут.

По достижению уровня заполнения баков «Внимание БО1÷БО6», выдаваемых ПГС РН, выполняется команда «Заправка малым расходом БО1÷БО6», переходящая в команду «Подпитка БО1÷БО6», т.к. жидкий кислород криогенный КРТ, происходит постоянное испарение и до момента отстыковки АС, количество КРТ в баках может уменьшиться.

В циклограмме заправочных операций, время на выполнение команд СЗ жидкого водорода, самое большое, поэтому команда «Подпитка БО1÷БО6» выполняется до окончания заправки БВ1÷БВ6.

Затем выполняется команда «Стоп БО1÷БО6», ПГС РН выдает команду «Баки БО1÷БО6 в исходном», суть которой заключается в том, что вся арматура баков кислорода РН запирается, заправка кислорода окончена (команда «Заправка окончена»).

СГС выдает «СГ на продувку ЗСК», в течении 2 минут выполняется команда «Продувка ЗСК О». Продувка для магистралей СЗ жидкого кислорода осуществляется азотом.

После продувки, следует команда «Расстыковка АС» и выполняется обдув АС, в целях снижения пожароопасности, при включении ДУ РН.

Также запускается «Охлаждение ПУ», осуществляется подача воды.

Окончательной командой является «Контакт подъема», выдаваемой в момент подъема РН с ПУ.

Схожими особенностями СЗ СПГ является необходимость исключения взрывоопасных смесей СПГ с воздухом, в связи с этим некоторые операции схожи с СЗ жидкого водорода.

СГС по команде «Выдача СГ СК», проверяет герметичность АС наддувом в течении 10 минут, до сигнала «АС состыкован». Команда означает, что бортовые заправочные коммуникации и наземные заправочные коммуникации состыкованы, опрессованы и готовы к замене атмосферы.

Далее, в течении 20 минут, выполняется команда «Замена воздуха на азот», служащая для исключения взрывоопасных смесей воздуха с водородом.

Следующей командой является «Захолаживание СПГ». Происходит пролив магистралей СПГ, захолаживание выполняется до  $T=114^{\circ}\text{K}$ .

Только после выполнения всех предыдущих команд, на которые отводится суммарно 1 час, следует команда «Заправка малым расходом БСПГ1÷БСПГ6», по которой происходит заполнение малым расходом (в целях проверки правильности выполнения заправки), в течении 2,5 минут, баков 1÷6 СПГ.

Если не поступает команд на отмену, следует команда «Заправка большим расходом БСПГ1÷БСПГ6». Заправка большим расходом является основным видом заправки, т.к. позволяет уменьшить время на саму операцию до 1 часов 57,5 минут.

По достижению уровня заполнения баков «Внимание БСПГ1÷БСПГ6», выдаваемых ПГС РН, выполняется команда «Заправка малым расходом БСПГ1÷БСПГ6», переходящая в команду «Подпитка БСПГ1÷БСПГ6», т.к. СПГ криогенный КРТ, происходит постоянное испарение и до момента отстыковки АС, количество КРТ в баках может уменьшиться.

В циклограмме заправочных операций, время на выполнение команд СЗ жидкого водорода, самое большое, поэтому команда «Подпитка БСПГ1÷БСПГ6» выполняется до окончания заправки БВ1÷БВ6.

Затем выполняется команда «Стоп БСПГ1÷БСПГ6», ПГС РН выдает команду «Баки БСПГ1÷БСПГ6 в исходном», суть которой заключается в том, что вся арматура баков кислорода РН запирается, заправка СПГ окончена (команда «Заправка окончена»).

СГС выдает «СГ на продувку ЗСК», в течении 2 минут выполняется команда «Продувка ЗСК В». Продувка для магистралей СЗ СПГ осуществляется азотом.

После продувки, следует команда «Расстыковка АС» и выполняется обдув АС, в целях снижения пожароопасности, при включении ДУ РН.

Также запускается «Охлаждение ПУ», осуществляется подача воды.

Окончательной командой является «Контакт подъема», выдаваемой в момент подъема РН с ПУ.

Если рассматривать систему заправки нафтилом, то нужно отметить что нафтил представляет собой углеводородное горючее, является высококипящим, что в некоторой степени облегчает проведение операций с ним.

СГС по команде «Выдача СГ СК», проверяет герметичность АС наддувом в течении 10 минут, до сигнала «АС состыкован». Команда означает, что бортовые заправочные коммуникации и наземные заправочные коммуникации состыкованы, опрессованы и готовы к замене атмосферы.

Следующей командой является «Захолаживание нафтилом». Происходит пролив магистралей нафтилом, захолаживание выполняется до  $T=254^{\circ}\text{K}$ . Затем следует операция «Рассыщение», необходимая для равномерного распределения газа, содержащегося в нафтиле.

Только после выполнения всех предыдущих команд, на которые отводится суммарно 48 минут, следует команда «Заправка малым расходом БГ1÷БГ6», по которой происходит заполнение малым расходом (в целях проверки правильности выполнения заправки), в течении 2,5 минут, баков 1÷6 Г.

Если не поступает команд на отмену, следует команда «Заправка большим расходом БГ1÷БГ6». Заправка большим расходом является основным видом заправки, т.к. позволяет уменьшить время на саму операцию до 1 часов 57,5 минут.

По достижению уровня заполнения баков «Внимание БГ1÷БГ6», выдаваемых ПГС РН, выполняется команда «Заправка малым расходом БГ1÷БГ6», переходящая в команду «Стоп БГ1÷БГ6», «Баки БГ1÷БГ6 в исходном».

В циклограмме заправочных операций, время на выполнение команд СЗ жидкого водорода, самое большое, поэтому БГ1÷БГ6 запираются и находятся в ожидании команды СЗ жидким водородом «Заправка окончена».

СГС выдает «СГ на продувку ЗСК», в течении 2 минут выполняется команда «Продувка ЗСК Г».

После продувки, следует команда «Расстыковка АС» и выполняется обдув АС, в целях снижения пожароопасности, при включении ДУ РН.

Также запускается «Охлаждение ПУ», осуществляется подача воды.

Окончательной командой является «Контакт подъема», выдаваемой в момент подъема РН с ПУ.

Разрабатываемая СЗ, основывалась на базе существующего СК РН «Зенит», на котором имеются СЗ нафтила и СЗ жидкого кислорода, но в связи с тем, что циклограмма заправочных операций составляет суммарно 5 часов, в существующие СЗ вводятся новые насосы, тихоходные в сравнении с имеющимися на СК, с целью более рационального использования финансовых и энергетических ресурсов.

Для жидкого водорода и СПГ выбрана СЗ выдавливанием, в связи с необходимостью обеспечения более высокой надежности и безопасности (отсутствие основного источника пожаровзрывоопасности – насоса), а также в связи с таким недостатком насосной системы, как нагрев КРТ.

### Список литературы

1. Проектирование транспортных средств специального назначения: учеб. пособие / Е.В. Воробьев, О.Е. Денисов, В.И. Кузнецов; под ред. А.Н. Сова. – М.: МАДИ, 2014. – 96 с.
2. Б.К. Ковалев Развитие ракетно-космических систем выведения // Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 398с.