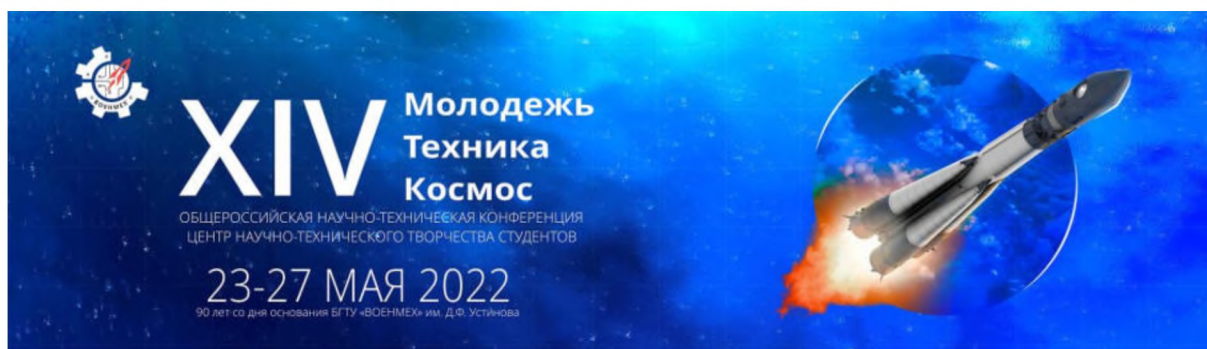


**Министерство науки и образования Российской Федерации
Балтийский государственный технический университет «Военмех»
Российская академия ракетных и артиллерийских наук (РАРАН)
Российская академия космонавтики им. К. Э. Циолковского (РАКЦ)
Санкт-Петербургское отделение**



МОЛОДЕЖЬ. ТЕХНИКА. КОСМОС

**Труды четырнадцатой общероссийской
молодежной научно-технической конференции**

Том 1

**Санкт-Петербург, Россия
23 – 27 мая 2022 года**

Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», № 86

**Санкт-Петербург
2022**

УДК 629.78 : 623.4

M75

M75

Молодежь. Техника. Космос: труды четырнадцатой общерос. молодежн. науч.-техн. конф. В 4 т. Т. 1. СПб., Издательство Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, 2022. – 232 с. – Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», № 86.

Публикуются статьи и доклады, представленные на XIV общероссийской молодежной научно-технической конференции «Молодежь. Техника. Космос», прошедшей в Балтийском государственном техническом университете «Военмех» им. Д. Ф. Устинова в мае 2022 года. В первый том сборника вошли материалы секции «Ракетно-космическая и авиационная техника».

Для инженерных и научных специалистов, работающих в указанных направлениях, а также для студентов старших курсов и аспирантов профильных вузов.

Отзывы направлять по адресу: Россия, 190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д. 1. Редакция журнала «Военмех. Вестник БГТУ».

УДК 629.78 : 623.4

Редакционный совет: д-р техн. наук, проф. *К. М. Иванов* (председатель),
д-р техн. наук, проф. *В. А. Бородавкин*, канд. техн. наук, доц. *С. А. Матвеев*,
канд. техн. наук, доц. *А. А. Левихин*, канд. ист. наук, доц. *М. Н. Охочинский*,
нач. ЦНТТС *В. А. Толстая*, д-р техн. наук, доц. *А. Е. Шашурин*,
д-р экон. наук, проф. *А. Д. Шматко*, канд. техн. наук, доц. *Л. П. Юнаков*,
ст. преп. *С. А. Чириков*

Публикуется в авторской редакции

© БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, 2022

© Авторы, 2022

Оглавление

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ В СОСТАВЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	5
АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ГЕОМЕТРИИ ТРАКТОВ ЭНЕРГОУСТАНОВОК С ПРИМЕНЕНИЕМ КРИВЫХ БЕЗЪЕ	9
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УНИФИЦИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОРРЕКЦИИ ДЛЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, ВЫПОЛНЯЮЩИХ РАЗЛИЧНЫЕ ЗАДАЧИ	12
АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ПОДАЧИ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА В КАМЕРУ ЖРД.....	16
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ ПАСТООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ	18
АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ТРУБОК В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ МИКРОРАЗМЕРНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	22
ВАРИАНТЫ КОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ СПАСЕНИЯ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПЕРВОЙ СТУПЕНИ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ	25
ВЛИЯНИЕ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО СТАРТА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ВРЕМЯ ПОЛЕТА И ОБЩУЮ МАССУ СИСТЕМЫ	29
ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОГО ПОДРАКЕТНОГО ОБЪЕМА НА ПАРАМЕТРЫ ЗАПУСКА ОБЪЕКТА ИЗ КОНТЕЙНЕРА ПРИ ПОМОЩИ ПОРОХОВОГО АККУМУЛЯТОРА ДАВЛЕНИЯ	32
ДВИГАТЕЛЬ С АНОДНЫМ СЛОЕМ МОЩНОСТЬЮ ДО 100 ВТ.....	37
ДЕФОРМАЦИЯ КРУГЛОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОВЕРХНОСТНОГО ЗАРЯДА	39
ИЗМЕНЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНОЙ СМЕСИ	41
ИСПЫТАНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ЖРД.....	45
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ УПЛОТНИТЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ	48
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА ВЫХОДА ЛОПАТКИ ОСЕВОГО ЗАВИХРИТЕЛЯ НА ПОТОК ВОЗДУХА В ПЕРВИЧНОЙ ЗОНЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ.....	53
ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ТОРОСФЕРИЧЕСКОГО БАКА РАЗГОННОГО БЛОКА	55
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ СПУСКАЕМОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	58
ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОСАДКИ ВОЗВРАЩАЕМОЙ СТУПЕНИ РАКЕТЫ И МЕТОДОВ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ГАЗОВОЙ СТРУИ	62
ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ МАНЕВРЕННЫХ КА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ	67
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАКЕТНЫЙ КОМПЛЕКС	70
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГИДРОПРИВОДА ПОДЪЕМА	73
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СБЛИЖЕНИЯ СПУТНИКА-ИНСПЕКТОРА С КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ НА ОРБИТЕ ЗЕМЛИ.....	79
МЕТОД ТЕПЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТИ	83
МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОТСЛОЕНИИ ТОПЛИВА ОТ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ РДТТ.....	87
МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ	90
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗАКРЫЛКОВ САМОЛЕТА В РАМКАХ СОЗДАНИЯ АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА	95
НЕРЕВЕРСИВНЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ ПРИВОДЫ НА БАЗЕ ПЛАНЕТАРНЫХ РОЛИКОВИНТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ.....	99
О ВЛИЯНИИ ФОРМЫ ГОЛОВНОГО ОБТЕКАТЕЛЯ НА АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕРХЛЕГКОЙ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ.....	104
О ПРИМЕНЕНИИ ТЕПЛОВЫХ РАДИОМЕТРОВ В УСТРОЙСТВАХ СКАНИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПОЛЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИМИТАТОРОВ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	109
ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРИ СВЕРХЗВУКОВОМ ОБТЕКАНИИ.....	114
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИНСПЕКЦИОННОГО ДВИЖЕНИЯ В ПЛОСКОСТИ НЕВОЗМУЩЕННОЙ КРУГОВОЙ ОРБИТЫ	117
ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОДВИГАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА	121
ОЦЕНКА БАЗОВЫХ ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ РКК «МОРСКОЙ СТАРТ» КАК ЭЛЕМЕНТА СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ПРОГРАММ, ОБОСНОВЫВАЮЩИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСА.....	125

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА В КАЧЕСТВЕ ТОРМОЗНОГО УСТРОЙСТВА В СОСТАВЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ТВаД	129
ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЛЬДООБРАЗОВАНИЯ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ АЭРОПОРТОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ	133
ПАРНЫЕ РАЗЛИЧИЯ В НАДЕЖНОСТИ СПУТНИКОВ НА РАЗЛИЧНЫХ ОРБИТАХ В ТЕЧЕНИЕ ВРЕМЕНИ	138
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ	141
ПРОЕКТ ОРБИТАЛЬНОЙ ЗАПРАВОЧНОЙ СТАНЦИИ	144
ПРОЕКТИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНОЙ РАКЕТОМОДЕЛИ С ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ РАЗДЕЛЕНИЕМ СТУПЕНЕЙ	148
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ	152
ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ КЛИНООБРАЗНОГО ЗЕРКАЛА НА ОДИНОЧНЫЙ УДАР ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ	157
РАЗРАБОТКА ИНДИВИДУАЛЬНОГО ВОДНОГО СРЕДСТВА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ «СКАТ»	161
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И АППАРАТНОЙ ЧАСТИ ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ К РАБОТЕ НА ЛУНЕ	165
РАЗРАБОТКА РАЗМЕРОСТАБИЛЬНОГО УЗЛА ЗЕРКАЛА ПЕРСПЕКТИВНОЙ КЮВЕТЫ МНОГОХОДОВОЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ГАЗА СЛОЖНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА	168
РАЗРАБОТКА ЧИСЛЕННОЙ 3D-МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЛАМЕНИ НА ЭЛЕКТРОННЫЙ АГРЕГАТ	174
РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ И ПЕРСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ КОНЦЕПЦИИ «ЛЕТАЮЩЕЕ КРЫЛО» В АВИАЦИИ	178
СИЛОВОЙ АНАЛИЗ ЛОПАСТИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ С КРЫЛЬЧАТЫМ РОТОРОМ В КАЧЕСТВЕ ВОЗДУШНОГО ДВИЖИТЕЛЯ.....	183
СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЙ СТЕНДА ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПОЛЕТА УПРАВЛЯЕМОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	184
СОЗДАНИЕ ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ НЕЗАДЕЙСТВОВАНЫХ МЫШЦ В УСЛОВИЯХ МИКРОГРАВИТАЦИИ	189
СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ПЛАТФОРМЫ "ЛУННЫЙ РОВЕР"	192
СОПЛО С ЭЛЛИПСОИДНОЙ ФОРМОЙ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ СВЕРХЗВУКОВОЙ ЧАСТИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ ВОЗМОЖНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ПО ТРЕМ КАНАЛАМ МЕТОДОМ ВДУВА	196
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ И СПОСОБОВ ИХ МОНТАЖА	199
ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ НАЗЕМНЫХ ТЕЛЕСКОПОВ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА КОСМИЧЕСКИМИ ОРБИТАЛЬНЫМИ ОБЪЕКТАМИ	202
ТЕЧЕНИЕ В СВЕРХЗВУКОВОЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ И ПЛОСКОЙ СТРУЕ	206
УДАРНО-ВОЛНОВАЯ СТРУКТУРА НАЧАЛЬНОГО УЧАСТКА СТРУЙ ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ НЕРАСЧЕТНОСТИ	210
УНИВЕРСАЛЬНАЯ КОСМИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ	212
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ КОСМИЧЕСКОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	216
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ	219
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ПО КАНАЛУ	222
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ ВОДОРОДА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ	227

**ПАРНЫЕ РАЗЛИЧИЯ В НАДЕЖНОСТИ СПУТНИКОВ НА РАЗЛИЧНЫХ ОРБИТАХ
В ТЕЧЕНИЕ ВРЕМЕНИ**

А. А. Брусков

*Технологический университет им. дважды Героя Советского Союза,
летчика-космонавта А.А. Леонова*

Надёжность уже давно признается в качестве важнейшего признака космических систем и важнейшей метрики при проектировании и оптимизации космических аппаратов. Например, высокая надёжность космического аппарата может быть «приобретена» более качественными, надёжными деталями, резервированием подсистем или более обширными испытаниями перед запуском. К сожалению, несмотря на признание ее важности, в технической литературе имеются ограниченные данные об отказах на орбите и статистический анализ надёжности спутников. В результате в литературе сохраняются несоответствия из-за отсутствия эмпирической основы для решения вопросов, касающихся, например, существования или отсутствия спутниковой «младенческой смертности».

Хотя диапазон применимости предыдущих исследований, четко не определен, существует очевидное несогласие в отношении важного вопроса поведения отказов спутников на орбитах. Однако исследователи надёжности космических аппаратов сходятся во мнении, что экспоненциальное распределение времени жизни не может совпадать с данными, полученными из опыта полета, и что прогнозы надёжности спутника с постоянной частотой отказов нереалистичны.

Основная часть. Для этого исследования мною использована база данных SpaceTrak. Эта база данных предоставляет собой историю отказов и аномалий спутников на орбите, а также истории запусков с 1957 года и считается одной из самых авторитетных в космической отрасли с данными по более чем 6400 космическим аппаратам. Я проанализировал 1584 спутников, и ограничил настоящее исследование спутниками на околоземных орбитах, успешно запущенными в период с 1990 года по 2020 год. Для вычисления надёжности я использовал то, что в базе данных называется отказом I класса, то есть выбытием спутника из-за отказа.

Для каждого космического аппарата я собирал:

- 1) тип его орбиты;
- 2) дата его запуска;
- 3) дата его отказа, если произошел сбой;
- 4) «время выбора», если не произошло отказа.

Ошибки даты и цензура являются стохастическими.

В этой работе я использую оценщик Каплана-Мейера, который лучше всего подходит для работы с тем типом цензуры, который в моей выборке. Оценщик Каплана-Мейера функции надёжности с цензурированными данными задан уравнением (1):

$$\hat{R}(t) = \prod_{\substack{\text{все } i \\ \text{такие, что } t_{(i)} \leq t}} \hat{p}_i = \prod_{\substack{\text{все } i \\ \text{такие, что } t_{(i)} \leq t}} \frac{n_i - 1}{n_i} \quad (1)$$

где:

$$\begin{cases} t_{(i)} - \text{время до } i - \text{го отказа (в порядке возрастания)} \\ n_i - \text{количество операционных единиц непосредственно перед } t_{(i)} \\ \hat{p}_i = \frac{n_i - 1}{n_i} \end{cases} \quad (2)$$

Если в моменты времени отказа имеются связи, скажем, единицы m_i отказывают точно при $t_{(i)}$ - эта ситуация называется связью кратности m - тогда выражение 2 замещается на:

$$\hat{p}_i = \frac{n_i - m_i}{n_i} \quad (3)$$

Если время цензуры точно равно времени сбоя, принимаются действия, предполагающие, что цензура произошла сразу после сбоя (то есть на бесконечно малом временном интервале после сбоя).

Затем был проведен непараметрический анализ надёжности спутника и продемонстрировано, что распределение Вейбулла с «младенческой смертностью» (т.е. параметр формы меньше единицы) надлежащим образом фиксирует поведение спутников при отказе на орбите. Напомним, что функция плотности вероятности Вейбулла может быть выражена как:

$$f(t; \beta, \theta) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta \right], \text{ где } t \geq 0 \quad (4)$$

где β - параметр формы и θ - параметр масштаба, оба неотрицательные. Связанной функцией надёжности Вейбулла является:

$$R(t; \beta, \theta) = \exp \left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta \right] \quad (5)$$

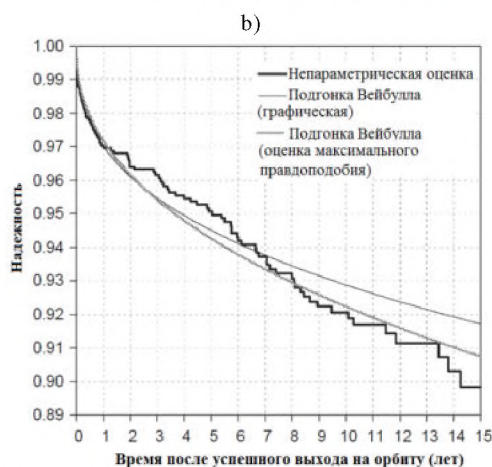
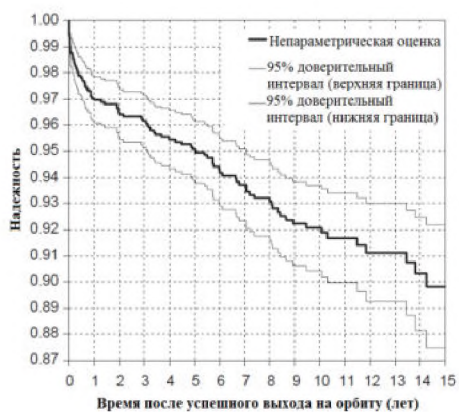


Рис. 1. Надежность спутника с 95% доверительными интервалами (а) и непараметрическая надежность спутника и подгонка Вейбулла (б).

На рисунке 1а представлен результат для непараметрической надежности спутника с 95% доверительными интервалами.

В этой статье я расширяю статистический анализ надежности спутников и исследую надежность спутника на разных орбитах. Моя цель состоит в том, чтобы внести дополнительный вклад в полное выявление механизмов отказа спутников. При этом я выявляю самые «опасные» орбиты, которые управляют ненадежностью спутников.

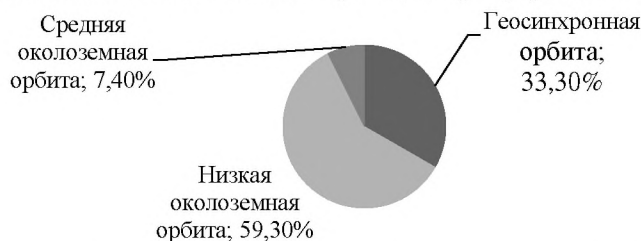


Рис. 2. Распределение спутников по орбитам с 1990 до 2020

Парные различия в надежности спутников в течение времени. Далее определяются временные периоды, в течение которых надежность на разных орбитах показывает сходство или различия в своем поведении.

На рисунке 3 представлена абсолютная разница в надежности спутников для каждой пары орбит: Низкая околоземная орбита/Средняя околоземная орбита (1), Низкая околоземная орбита/Геосинхронная орбита (2) и Средняя околоземная орбита/Геосинхронная орбита (3). Более чем характеризуя амплитуду самой разности, я в конечном итоге стремлюсь определить период времени, в течение которого разность остается приблизительно постоянной, что означает, что две кривые надежности имеют одинаковое поведение. Например, значительное увеличение абсолютной разности в начале времени после успешного ввода орбиты в течение $[0, t_1]$, за которым следует относительно постоянная эволюция разности в течение $[t_1, t_2]$, будет означать, что две кривые надежности не демонстрируют одинакового поведения «младенческой смертности» в течение $[0, t_1]$, но также, что они показывают подобное поведение позже во времени в течение $[t_1, t_2]$. Во-первых, можно заметить, что все три различия подскочат до 1 % в течение первого года после выхода на орбиту.

Этот результат показывает, что спутники находящиеся на одной из трех орбит имеют различное поведение отказа на ранней орбите, то есть они имеют различное поведение «младенческой смертности». Быстрый взгляд на рисунок 3 также показывает, что значительные периоды времени, в течение которых любая из трех разностей надежности остается примерно постоянной, трудно найти. Период внимания в конечном итоге будет составлять от 3 до 6 лет для пары Низкая околоземная орбита / Геосинхронная орбита, но периоды, ответственные за сходства и различия между профилями надежности, явно не определены на рисунке 3.

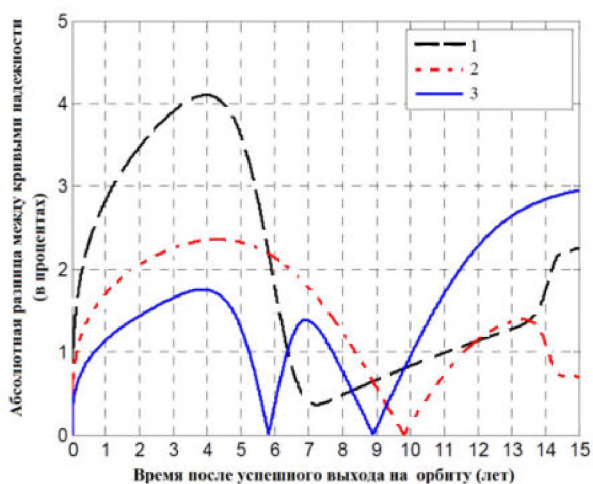


Рис. 3. Парные различия в надежности спутников в течение времени

Чтобы лучше оценить, являются ли надежность и поведение отказов двух различных орбит одинаковыми после данного периода, исследуем их условную надежность. Для изделия, сохранившегося до времени T , условная надежность позволяет вычислить его вероятность выживания в течение дополнительного периода работы, зная, что предмет сохранился до T . Учитывая условные надежности, я могу выполнить сравнительный анализ поведения отказов различных категорий спутников в течение различных периодов времени и путем выборочной фильтрации или игнорирования отказов до времени T . Преимущества этого будут продемонстрированы далее. Используя временные области, показанные на рисунке 4, условная надежность определяется следующим образом:

$$R(t|T) = Pr\{T_F > T + t | T_F > T\} \quad (6)$$

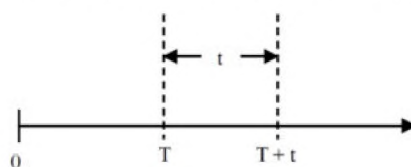


Рис. 4. Временные области для условной надежности

T_F - случайная величина времени до отказа. По определению условной вероятности и функции надёжности (выражение 7) можно свести к:

$$R(t|T) = \frac{Pr\{T_F > T + t\}}{Pr\{T_F > T\}} = \frac{R(T + t)}{R(T)} \quad (7)$$

В данном случае я использую условные достоверности для изучения поведения отказов спутников разных орбитах.

Условная надежность полезна для сравнения двух различных кривых надежности.

Действительно, условная надежность «устраняет» или отфильтровывает отказ системы до времени T . Чтобы проиллюстрировать релевантность этого наблюдения для целей исследования, рассмотрим следующие две системы, первая из которых страдает от значительной «младенческой смертности» в течение $[0; t_1]$ периода, а вторая - нет. Кроме того, две системы имеют одинаковое поведение при отказе в течение периода $[t_1; t_2]$. Кривые надежности этих двух систем будут различными и вряд ли сопоставимыми. Хотя кривые надежности будут четко указывать на разницу в поведении «младенческой смертности» между двумя орбитами, эти кривые не будут идентифицировать сходство в поведении отказа между двумя системами во время $[t_1; t_2]$ периода. Разница между кривыми обусловлена только сбоями во время начального $[0; t_1]$ периода.

Таким образом, установив $T = t_1$, в выражении 7 можно вычислить две условные кривые надежности по $[t_1; t_2]$, и две результирующие кривые будут одинаковыми из-за одинакового поведения отказа в течение этого периода.

Путем фильтрации отказов в течение начального периода, сходство поведения отказов двух систем в течение $[t_1; t_2]$; таким образом, можно четко идентифицировать t_2 . Следовательно, тщательно выбирая подходящее время T , условная надежность помогает нам разделить воздействие ранних отказов и четко определить периоды аналогичного поведения отказа, если они существуют.

Выводы. Основываясь на параметрических подходах, предоставлен сравнительный анализ надежности, выявляющий сходства и различия в поведении надежности спутников на трех орбитах (геосинхронной орбиты, низкой околоземной орбиты, средней околоземной орбиты). Представлены парные различия в надежности спутников в течение времени.

Библиографический список

1. Башуров, В. В. Марковские случайные процессы в моделировании систем : учебно-методическое пособие / В. В. Башуров, О. А. Башурова, А. П. Садов. — Екатеринбург : , 2017. — 100 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/121376> (дата обращения: 23.01.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Брусков, А.А. Моделирование множественных отказов для системы космического аппарата [Текст] / А.А. Брусков, С.Т. Релич // Инновационные аспекты социально-экономического развития региона: сборник статей по материалам участников XI Ежегодной научной конференции аспирантов «МГОТУ» (13 мая 2021 г., наукоград Королев). - М.: Издательство «Научный консультант». – 2021.

3. Лифшиц, М. А. Случайные процессы — от теории к практике : учебное пособие для вузов / М. А. Лифшиц. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 308 с. — ISBN 978-5-8114-7676-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/164710> (дата обращения: 23.01.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей
4. Матальцкий, М. А. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник / Матальцкий М.А., Хацкевич Г.А. - Мн.:Высшая школа, 2017. - 591 с.: ISBN 978-985-06-2855-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1012740> (дата обращения: 26.01.2022). — Режим доступа: по подписке.
5. Мещерякова, А. А. Диагностика и надежность автоматизированных систем: Учебное пособие / Мещерякова А.А., Глухов Д.А. - Воронеж:ВГЛУТУ им. Г.Ф. Морозова, 2016. - 124 с.
6. McLachlan, G. J., Krishnan, T., The EM Algorithm and Extensions, 2nd ed., New York:Wiley-Interscience, 2008

УДК 533.6.011.5

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Смирнов А.А.,

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

С каждым годом, проблема поиска новых (альтернативных) источников энергии становится все более актуальной для всего мира. Поскольку многие мировые эксперты приходят к выводу, что уровень добычи нефти подошел к своему наивысшему пределу и дальше будет неуклонно снижаться [1]. В связи с этим, сразу следует то, что цены на продукты переработки нефти будут увеличиваться, впрочем, этому факту мы являемся свидетелями последних лет [2].

Исчерпаемость природных запасов и возрастающая сложность добычи ископаемого топлива, в совокупности с глобальным загрязнением окружающей среды, а также рост энергопотребления из-за развития промышленности, являются основными факторами, которые стимулируют человечество в поисках новых источников энергии.

Данная проблема особо остро встала перед гражданской авиацией, поскольку увеличение количества перевозок с каждым годом, по данным авиакомпаний, растет, что ведет к увеличению потребления топлива для перелетов. Поэтому идут работы по получению авиатоплива из альтернативных источников: твердых и газообразных углеводородов, а также из биомассы. В качестве наиболее перспективных видов топлив в настоящее время рассматриваются жидкий водород и сжиженный природный газ [3].

Перспектива перехода на новое топливо является комплексным технико-экономическим вопросом. Проблема оценки эффективности использования криогенных и газовых топлив заключается в многодисциплинарности исследуемой химотологической системы «Летательный аппарат – силовая установка – топливо» и сложности физико-химических процессов, протекающих в ее элементах при ее эксплуатации.

В данной работе проводилось исследование возможности использования в качестве топлива, для энергетической установки, водорода в сочетании с жидким кислородом. В роли объекта исследования использовался широко известный жидкостный ракетный двигатель РД-107 – классика советского, а затем и российского ракетно-космического комплекса (рисунок 1).



Рисунок 1 – Двигатель РД-107

Цель данной работы заключалась в исследовании возможности использования альтернативных видов топлива в энергетических установках, а также в сравнении эффективности применяемого горючего перед керосином.

Для решения поставленных задач была изучена и проанализирована научно-техническая литература по тематике работы. Исследованы химические реакции, возникающие в камере сгорания, а также проведена оценка энергетики топлива.

Численное моделирование проводилось в программном пакете ANSYS FLUENT. Задача решалась в осесимметричной постановке. При этом также моделировался процесс смешения и горения компонент топлива.

Стоит отметить, что для упрощения геометрии расчетной области, граница входной области была разбита на множество участков шагом 5 мм. Такое решение позволяет получить в камере сгорания достаточно равномерное смешение компонент топлива, не моделируя при этом форсунки целиком.

АВТОРЫ СБОРНИКА

Абдрахманов Р. Р.	55	Манохина Э. С.	16
Аваряскин Д. П.	117	Машгаков А. П.	73
Алексеев А. В.	79	Мещанинов В. М.	114
Алексеева К. С.	90	Мизун В. А.	41
Амиров А. Ф.	157	Михайлов Д. Д.	148
Анкудинов А. Н.	90	Михайлова Н. Е.	148
Бахарь Л. Д.	219	Морозова Е. С.	206
Бапарина Т. А.	104	Мырзин В. В.	144
Бобров Д. А.	70	Наумова Н. В.	39
Богданюк Д. О.	210	Новиков И. Е.	196
Богомолов А. С.	12	Новикова Ю. Д.	129
Бонарь М. С.	144, 212	Новов Е. В.	53
Брусков А. А.	138	Носов А. С.	99
Брыков Н. А.	41, 216	Носова О. А.	99
Будный Н. Л.	18	Овчинников А. Л.	95
Бурмистров А. А.	144	Оленева А. Д.	83
Власенко Е. А.	70	Пантелюк Р. А.	178
Волкова О. О.	216	Пастушенко О. В.	109
Гавриленко М. И.	67	Пешков Р. А.	62
Галитенко В. О.	48	Плискин М. В.	22
Глебов С. Е.	104	Подгорная В. И.	70
Головина В. Ю.	202	Подгорных Р. О.	37
Григорьев М. С.	161	Полянский В. В.	165
Григорьева К. К.	222	Провоторов Г. С.	104
Гусев А. В.	73	Романов В. А.	18
Дорофеев Н. П.	39	Рыбенко Е. А.	29
Доценко А. Ю.	129	Рыкалин А. В.	125
Дундукова П. М.	184	Сагалович С. А.	184
Егоров В. В.	164	Саевец П. А.	37
Едигарев А. Д.	5	Сеньчев М. Н.	48
Ермолаев В. И.	67	Смирнов А. А.	141
Ефремов А. В.	9	Теляков Р. Ф.	58
Жолудев А.	174	Тетерин Р. О.	5
Зенюк К. О.	45	Тихоненко В. В.	183, 189
Зорин А. О.	192	Топольницкий А. А.	25
Иванов Д. А.	161	Финк В. А.	45
Иванов Д. Н.	39	Хамадов Р. Р.	152
Иванов М. С.	184	Храмков Н. С.	227
Ивапин К. А.	114	Цурикова А.	174
Игнатов А. Д.	117	Чернов Е. П.	9
Игнатова А. А.	79	Чернышов Д. А.	104
Измайлов А. Т.	133	Честнов А. А.	164
Исправникова О. В.	62	Чубенко В. П.	87
Казаков Д. В.	192	Шарова А. К.	109
Климов М. Д.	18	Шаронов Е. М.	222
Кожевникова Е. А.	32, 73	Швец А. С.	168
Корешкова С. А.	62	Шевчук А. А.	109
Костиков А. К.	161	Шелудько М. Л.	45
Косякина Н. А.	183, 189	Шикарев М. А.	16
Краснюк А. А.	227	Шипкина В. А.	12
Лазарева И.	174	Шметкова А. С.	62
Лебитков В. К.	22	Шмурак Е. С.	178
Левин К. Д.	83, 109	Шульга К. Л.	168
Липневич Н. С.	37	Юденков В. Э.	22
Мазгалина Е. В.	121	Языков М. Д.	125
Мальков А.	174	Яндашевская П. Л.	58
Мальцева О. А.	70	Ярославцева М. М.	199

Подготовили к печати В. Е. Иванов, Д. М. Охочинский, М. Н. Охочинский

Подписано к печати 08.11.2022. Формат бумаги 60´84 1/4.
 Бумага офсетная. Усл.-печ. л. 33,15. Тираж 150 экз. Заказ №
 Балтийский государственный технический университет «Военмех»
 Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская дом 1