

ИНФОРМАТИКА, МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ

Научная статья

УДК 681.5.09

URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=186321>

EDN: <https://www.elibrary.ru/THZUSR>

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ РАНЖИРОВАНИЯ ИЗМЕРЯЕМЫХ
ПАРАМЕТРОВ БОРТОВЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ
ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ**

**Евгений Борисович Самойлов, Олег Анатольевич Плахин[✉], Алексей Олегович
Кормош**

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

Санкт-Петербург, Россия

✉ olegplakhin9652@mail.ru

Аннотация. В статье приведен анализ существующих подходов к определению значимости (важности) телеметрируемых параметров бортовых систем космических средств для их последующего ранжирования. Обоснована необходимость применения научного подхода к формированию потока телеметрической информации и выбору наиболее значимых параметров для оперативной обработки данных современных ракет-носителей. Предлагается модель потока телеметрической информации, основанная на минимизации представления

информации и определении логических связей между параметрами и режимами работы бортовой аппаратуры. Для описания потока предлагается использовать граф-схемные модели анализа. Рассматриваются динамические и корреляционные характеристики телеметрируемых параметров, такие как связь с режимами функционирования бортовой аппаратуры и изменчивость при смене режима функционирования бортовой аппаратуры. Предлагаются количественные характеристики — коэффициенты сцепленности и изменчивости, а также алгоритмы их оценки. Интегральная характеристика — значимость телеметрируемого параметра — определяется как мультипликация показателей сцепленности и изменчивости.

Ключевые слова: телеметрируемый параметр, обработка информации, репортажный поток, полнота обработки, изменчивость, сцепленность, значимость

Для цитирования: Самойлов Е.Б., Плахин О.А., Кормош А.О. Исследование путей ранжирования измеряемых параметров бортовых систем космических средств для оптимизации передачи и обработки телеметрической информации // Труды МАИ. 2025. № 144. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=186321>

COMPUTER SCIENCE, MODELING AND MANAGEMENT

Original article

**INVESTIGATION OF WAYS TO RANK THE MEASURED PARAMETERS OF
ON-BOARD SYSTEMS OF SPACE FACILITIES TO OPTIMIZE THE
TRANSMISSION AND PROCESSING OF TELEMETRY INFORMATION**

Samoilov E.B., Plakhin O.A.✉, Kormosh A.O.

Military Space Academy named after A.F.Mozhaisky

Saint-Petersburg, Russia

✉olegplakhin9652@mail.ru

Abstract. The article provides an analysis of existing approaches to determining the significance (importance) of the telemetered parameters of on-board systems of space assets for their subsequent ranking. The necessity of applying a scientific approach to the formation of the flow of telemetric information and the selection of the most significant parameters for operational data processing of modern launch vehicles is substantiated. A model of the flow of telemetric information is proposed, based on minimizing the presentation of information and determining logical relationships between parameters and modes of operation of on-board equipment. It is proposed to use graph-circuit analysis models to describe the flow. The dynamic and correlation characteristics of the telemetered parameters are considered, such as the connection with the modes of operation of on-board equipment and variability when changing the mode of operation of on-board equipment. Quantitative characteristics are proposed — coupling and variability coefficients, as well as algorithms for their evaluation. The integral characteristic — the significance of the telemetered parameter — is defined as a multiplication of the coupling and variability indicators.

Keywords: telemetry parameter, information processing, reportage flow, completeness of processing, variability, coherence, significance

For citation: Samoilov E.B., Plakhin O.A., Kormosh A.O. Investigation of ways to rank the measured parameters of on-board systems of space facilities to optimize the transmission and processing of telemetry information // Trudy MAI. 2025. No. 144. (In Russ.) URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=186321>

Введение

Современные ракеты космического назначения (РКН) имеют сложные бортовые системы, которые требуют значительного расширения набора телеметрируемых параметров. Существующие системы информационно-телеметрического обеспечения (СИТО) не достаточно обеспечивают выполнение современных требований к количеству и качеству телеметрической информации (ТМИ). Основной проблемой является недостаточная пропускная способность космических и наземных каналов передачи данных.

Кроме того, текущая ситуация повышает актуальность защиты измерительных данных космических средств. Это решается с помощью специальной аппаратуры, ограничивающей доступ к семантическому содержанию информационных потоков. Однако это приводит к временной задержке в десятки часов между моментом регистрации и окончанием предварительной и первичной обработки полного потока ТМИ.

В режиме реального времени можно обрабатывать поток с информационной ёмкостью не более 1 МБ/с, что составляет всего до 16-20 МБ/с от информационной ёмкости полного потока [5]. Рекомендации

по составу телеметрируемых параметров (ТМП) для репортажного потока (РП) содержатся в технической документации. Однако в настоящее время отсутствует научно-методическая база для обоснованного отбора ТМП и оптимизации структуры РП в целях оперативной обработки.

Так же не учитываются такие факторы, как постоянная отработка бортовых систем, индивидуальный опыт специалистов, научно-методические наработки по формализованному оцениванию информационной значимости ТМП и постепенное техническое и алгоритмическое совершенствование аппаратно-программных комплексов.

Формализованное обоснование состава РП ТМИ позволит больше гибко управлять оперативной обработкой измерений, учесть и наследовать навык специалистов, тем самым будет повышена полнота результатов оперативной обработки.

1. Модель представления репортажного потока телеметрической информации космических средств

Разработка методов определения комплексной значимости телеметрируемых параметров (ТМП) ракет космического назначения (РКН) является актуальной задачей. Однако существующие решения, основанные на вероятностных и информационных характеристиках ТМП, имеют ограничения в практическом применении.

Метод минимизации представления информации, основанный на определении логических связей между наборами значений ТМП и режимами работы бортовой аппаратуры (БА), представляет собой альтернативный подход. Этот метод использует

матрицы ситуаций (исходные таблицы наблюдений) для определения закономерностей изменения значений ТМП и представляет их в виде дерева И-ИЛИ. Сформированные при этом графо-схемные модели (ГСМ) анализа могут быть использованы для оперативного определения режима функционирования БА и описания репортажного потока (РП).

Ключевым аспектом мониторинга бортовой аппаратуры является показатель информационной ценности телеметрических параметров, отражающий их вклад в идентификацию рабочих режимов системы. Данный показатель позволяет оптимизировать состав репортажного потока, включая только наиболее релевантные параметры для анализа технического состояния.

Формальная модель RT РП ТМИ для диапазонных ТМП может быть представлена в следующем виде:

$$RT = \langle X, Y, D, T \rangle, \quad (1)$$

где X – множество имен ТМП, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_{N_x}\}$, $|X| = N_x \geq 1$;

Y – множество различных режимов функционирования БА,

$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_k, \dots, y_{N_y}\}$, $|Y| = N_y \geq 2$;

D – множество различных диапазонов ТМП, $D = \{d_1, d_2, \dots, d_l, \dots, d_{N_D}\}$,

$|D| = N_D \geq 2$;

T – множество моментов времени (условные номера экспертов или архивных данных), $T = \{t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_{N_t}\}$, $|T| = N_t$.

РП ТМИ представляет собой совокупность условных номеров диапазонов определенных ТМП в зависимости от режимов функционирования БА и моментов

времени. Другими словами, репортажный поток ТМИ представляет собой упорядоченный набор данных, описывающих состояние БА в различных режимах функционирования и в разные моменты времени.

Эта структура позволяет эффективно передавать и обрабатывать телеметрическую информацию, что важно для оперативного контроля и управления бортовой аппаратурой.

2. Определение комплексной значимости телеметрических данных через исследование их динамических свойств и корреляционных взаимосвязей

Методика оценки значимости параметров реализуется через исследование: сцепленности (корреляционных взаимозависимостей) и изменчивости (динамических характеристик поведения)

Свойство сцепленности определяется динамикой изменения ТМП в рамках одного режима функционирования бортовой аппаратуры (БА). Чем стабильнее значение ТМП в определенном режиме работы БА, тем сильнее он связан (сцеплен) с этим режимом. Другими словами, Чем больше пар идентичных значений фиксируется у параметра в пределах одного режима, тем выше его вклад в достоверное определение этого режима.

Количественно сцепленность оценивается с помощью *коэффициента сцепленности*, который определяет степень неизменности значения диапазона j -го ТМП x_j при переходе от одной строки исходной таблицы наблюдений (ИТН) к другой в пределах k -го режима y_k работы функционирования БА.

$$\beta_j^k = \frac{1}{C_{N_k}^2} \sum_{r=1}^{C_{N_k}^2} J_r^j, \quad (2)$$

где N_k – количество строк в y_k ;

J_r^j – индикатор сцепленности.

Индикатор сцепленности J_r^j варьируется от 0 (отсутствие связи с режимом) до 1 (максимальная зависимость от режима). Чем ближе значение к 1, тем стабильнее параметр в данном режиме и тем выше его значимость для его определения.

При этом сравниваются все возможные пары значений:

$$J_r^j = \begin{cases} 1 & \text{при } D_{a_k}^j = D_{b_k}^j (a \neq b), \\ 0 & \text{else.} \end{cases} \quad (3)$$

Таким образом, для получения оценки β_j^k необходимо выполнить такую последовательность операций:

1. Выделить множество строк, соответствующих постоянному режиму работы БС (т.е. произвести сортировку ИТН).
2. Рассчитать для каждого ТМП число совпадений диапазонов (значений) в рамках выделенного режима БС.
3. С учетом всех возможных сочетаний пар значений произвести вероятностную нормировку полученных количеств совпадений.
4. Задать отношение порядка на множестве значений, оцененных по сцепленности ТМП.

Средняя сцепленность ТМП x_j определяется как

$$\beta_j = \frac{1}{N_Y} \sum_{k=1}^{N_Y} \beta_j^k. \quad (4)$$

Свойство изменчивости ТМП при смене режима функционирования БА также является важным фактором при оценке значимости ТМП. Это свойство определяется динамикой изменения ТМП при переходе от одного режима функционирования к другому.

Количественно изменчивость оценивается с помощью коэффициента изменчивости, который определяет степень изменения значения диапазона j -го ТМП x_j при переходе от одного режима функционирования к другому.

$$\gamma_j^{k_1, k_2} = \frac{1}{N_{k_1} \cdot N_{k_2}} \sum_{r=1}^{N_{k_1} \cdot N_{k_2}} Q_r^j, \quad (5)$$

где N_{k_1}, N_{k_2} – количество строк в режимах и соответственно;

Q_r^j – индикатор изменчивости.

Индикатор изменчивости Q_r^j определяется следующим образом:

- значение 1 фиксируется, в случае несовпадения пары значений j -го ТМП из пар строк при сравнении между режимами;
- значение присваивается 0 – в случае совпадения.

При этом сравниваются все возможные пары строк для всех режимов:

$$Q_r^j = \begin{cases} 1 & \text{при } D_{k_1}^j \neq D_{k_2}^j, \\ 0 & \text{else.} \end{cases} \quad (6)$$

Средний коэффициент изменчивости (γ_j) по ИТН ТМП x_j характеризует среднюю вероятность изменения значений диапазона ТМП при смене режимов БС (при равновероятной смене режимов):

$$\gamma_j = \frac{1}{C_{N_Y}^2} \sum_{k=1}^{C_{N_Y}^2} \gamma_j^{k_1, k_2}, \quad k_1 \neq k_2 \quad (7)$$

Для оценивания характеристики γ_j необходимо:

1. Группировать данные ИТН по режимам работы БС.
2. Подсчитать число различий значений ТМП x_j , при попарном сравнении всех режимов работы.
3. Для нормировки разделить число несовпадающих пар на общее количество возможных комбинаций значений между режимами.
4. Составить отношение порядка на множестве значений γ_j для каждого из ТМП.
5. По необходимости вычислить среднее значение коэффициента изменчивости для данных, собранных в ИТН.

Для количественной оценки значимости ТМП предлагается интегральный показатель, объединяющий два ключевых свойства: степень влияния параметра на режим работы и его изменчивость в различных условиях. Чем выше данный показатель, тем более приоритетным является анализ соответствующего параметра и его включение в опорные множества. Для получения числовых характеристик значимости (введения показателя значимости) с целью упорядочивания множества ТМП необходимо каким-либо образом осуществить интеграцию полученных

показателей И. Поскольку условия, при которых вычисляются показатели И, не являются совместными, для оценки результирующего показателя значимости можно использовать мультипликативную форму. Эта формула позволяет объединить показатели сцепленности и изменчивости в один показатель значимости, который можно использовать для упорядочивания множества ТМП.

$$\alpha_j = \beta_j \gamma_j. \quad (8)$$

Затем на множестве ТМП X зададим отношение порядка, расположив ТМП $x_1 - x_N$ в порядке уменьшения α_j . Необходимое количество первых членов этого кортежа и составят искомый РП.

Качество обработки ТМИ космических средств определяется полнотой получаемых данных. Для повышения полноты обработки ТМИ можно использовать комплексный показатель значимости ТМП. Этот показатель позволяет оценить важность каждого параметра для анализа БС и определить, какие параметры наиболее важны для обработки. Для вычисления показателя полноты обработки ТМИ можно использовать следующий ряд преобразований. Этот показатель позволяет оценить полноту обработки ТМИ и определить, насколько хорошо обработка ТМИ позволяет получить исходную измерительную информацию для анализа БС. Использование комплексного показателя значимости ТМП для повышения полноты обработки ТМИ может быть полезным для:

- Определения наиболее важных параметров для обработки.
- Оптимизации процесса обработки ТМИ.

- Повышения точности и надежности анализа бортовых систем.

Применение комплексных показателей значимости ТМИ повышает эффективность обработки данных и точность анализа БС.

$$V = \frac{I}{H} = \frac{H - H^*}{H} = 1 - \frac{H^*}{H},$$

где V – полнота обработки ТМИ;

I – апостериорное количество информации, полученное по результатам обработки набора измеряемых (вычисляемых) ТМП;

H^* – апостериорная энтропия набора измеряемых (вычисляемых) параметров;

H – априорная энтропия набора измеряемых (вычисляемых) параметров.

Энтропию набора измеряемых (вычисляемых) параметров можно определить:

$$H = -P \log P - (1 - P) \log (1 - P),$$

где P – вероятность попадание значений всех параметров в интервал, соответствующий штатной работе контролируемых БС,

$(1 - P)$ – вероятность попадание значений хотя бы одного параметра в интервал, соответствующий нештатной работе контролируемых БС.

Можно записать:

$$P = \prod_{i=1}^N p_i$$

где P – вероятность «штатного» результата диагностирования БС;

N – количество контролируемых измеряемых (вычисляемых) параметров;

p_i – вероятность «штатного» результата контроля i -го измеряемого (вычисляемого) параметра.

Исходная неопределённость автоматизированной обработки примет вид:

$$H = -\prod_{i=1}^N p_i \log \prod_{i=1}^N p_i - \left(1 - \prod_{i=1}^N p_i\right) \log \left(1 - \prod_{i=1}^N p_i\right).$$

С учетом формул получим для апостериорной энтропии набора измеряемых (вычисляемых) параметров (оставшейся неопределенности автоматизированного диагностирования БС РН):

$$H^* = \prod_{i \in M_n} p_i \left(-\prod_{i \in M_n} p_i \log \prod_{i \in M_n} p_i - \left(1 - \prod_{i \in M_n} p_i\right) \log \left(1 - \prod_{i \in M_n} p_i\right) \right),$$

где M_n – множество контролируемых в РМВ измеряемых (вычисляемых) параметров;

M_n – множество неконтролируемых в РМВ измеряемых (вычисляемых) параметров.

В данном выражении энтропийная оценка в скобках охватывает все возможные состояния непроверяемых параметров - как рабочие, так и аварийные. Тогда для показателя получим:

$$p_3 = 1 - \frac{\prod_{i \in M_n} p_i \left(-\prod_{i \in M_n} p_i \log \prod_{i \in M_n} p_i - \left(1 - \prod_{i \in M_n} p_i\right) \log \left(1 - \prod_{i \in M_n} p_i\right) \right)}{-\prod_{i=1}^N p_i \log \prod_{i=1}^N p_i - \left(1 - \prod_{i=1}^N p_i\right) \log \left(1 - \prod_{i=1}^N p_i\right)}.$$

Показатель p_3 принимает крайние значения 0 и 1. В первом случае (0) ни один параметр не контролируется, и числитель дроби вместе с самой дробью равен 1. Во втором случае (1) все параметры контролируются, и числитель дроби, как и вся дробь, становится равным 0. Следует отметить, что $N = N_{ТМП}^{(ПО)} = card(M_n) + card(M_n)$ и $card(M_n) = N_{ТМП}$.

Применение ранжирования измеряемых (вычисляемых) ТМП по показателю значимости (8) создает значительные возможности для увеличения полноты обработки p_3 .

Заключение

Ключевые преимущества разработанной модели РП и методики анализа ТМП РКН заключаются в их практическом применении для автоматизированного формирования РП в процессе оперативной обработки телеметрических данных. Новизна работы заключается в новой модели формирования РП и ранжирования ТМП на основе анализа их динамических изменений и взаимных корреляций. Это позволяет повысить эффективность обработки ТМИ и улучшить качество анализа бортовых систем. В дальнейшем предполагается провести исследования предложенной модели и характеристик с зарегистрированной ТМИ РКН, а также провести вычисления полноты обработки ТМИ для указанных экспериментальных данных и рассмотреть пути её повышения. Это позволит оценить практическую эффективность предложенной модели и характеристик и определить направления для

дальнейших исследований и разработок. Перспективы дальнейших исследований включают:

- Проведение экспериментальных исследований с использованием зарегистрированной ТМИ РКН.
- Вычисление полноты обработки ТМИ для указанных экспериментальных данных.
- Рассмотрение путей для повышения полноты обработки ТМИ.
- Разработка новых моделей и характеристик для улучшения качества анализа БС.

В целом, предложенная модель и характеристики имеют высокий потенциал для применения в практических задачах обработки ТМИ и анализа БС, и дальнейшие исследования и разработки могут привести к значительному улучшению качества анализа и принятия решений.

Список источников

1. Андриенко А.Я., Бельский Л.Н., Заплатин М.И. Цифровая система управления расходом топлива ракет-носителей «Союз-2» и «Союз-СТ» // Проблемы управления. 2012. №5. С. 81-83.
2. Майданович О.В., Каргин В.А., Мышко В.В., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В. Теория и практика построения автоматизированных систем мониторинга технического состояния космических средств. – СПб. : ВКА имени А.Ф.Можайского. – 2011. – 219 с.

3. Новицкий П.В., Зоограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1999.
4. Ткаченко В.В., Кравцов А.Н., Шмелев В.В., Лазутин О.Г. Методика формирования выборки телеметрируемых параметров по степени их значимости для затруднения идентификации объектов ракетно-космического вооружения – Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2012. – Вып. №637. – С.134-139.
5. Кобец К.А. Алгоритм формирования единого носителя при анализе телеметрической информации / К. А. Кобец. // Молодой ученый. — 2010. — № 1-2 (13). – Т. 1. – С. 66-73. – URL: <https://moluch.ru/archive/13/1160/> (дата обращения: 29.01.2021).
6. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В. Новые информационные технологии мониторинга и управления состояниями сложных технических объектов в реальном масштабе времени // Труды СПИИРАН. 2005. Т. 2. № 2. С. 249-265.
7. Копкин Е.В., Кобзарев И.М. Оптимальный алгоритм анализа технического состояния объекта на основе меры ценности диагностической информации // Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. – 2018. – Выпуск №661. – С.15-32.
8. Гончаров А.М. Синтез оптимальной по достоверности программы классификации телеметрируемых параметров при идентификации бортовых систем ракетно-космической техники / А.М. Гончаров, Е.Б. Самойлов, В.В. Шмелёв. – Текст : непосредственный // Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. – 2020. – № 673. – С. 18-35

9. Каргин В.А., Охтилев М.Ю., О.В. Майданович. Автоматизированная система информационной поддержки принятия решений по контролю в реальном времени состояния ракетно-космической техники // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2010. Т. 53. № 11. С. 20-23.
10. Самойлов Е.Б., Ткаченко В.В., Попов Н.А. Методика ранжирования телеметрируемых параметров космических средств по их информационной ценности – Восьмые Уткинские чтения: труды общерос. науч.-техн. конф. / Балт. гос. техн. ун-т. – СПб.; 2019. – 470 с. (Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», № 55) С. 268-271.
11. Шмелёв В.В., Ткаченко В.В. Методика оценивания значимости телеметрируемых параметров для идентификации объектов наблюдения – Материалы Второй научно-практической конференции МО РФ – ВА ГШ. Москва. 2011 г., с. 152-161. – Мирный: 1 ГИК МО РФ, 2016. С. 239-243.
12. Каргин В.А. Модель измерительной информации в системах мониторинга космических средств / В.А. Каргин, Д.А. Николаев, А.Ю. Россиев, Д.Н. Бородько // Информационно-управляющие системы, 2012. – №1. – С. 39–43.
13. Мальцев В.Б. Анализ состояния технических систем. – МО РФ, 1992.
14. Гладкий А.В. Формальные грамматики и языки / А.В. Гладкий. – Москва.: Наука, 1973. – 368 с.
15. Шмелёв В.В., Зайцев Д.О., Павлов Д.А. Модель процесса обработки БМП в реальном масштабе времени // Авиакосмическое приборостроение – 2020.– № 8. – С. 28-36.

16. Цзя-чэн Чжан, Юэ-хэ Чжу, Я-чжун Ло. Многокритериальная оптимизация и принятие решений для общего распределения ресурсов космической станции на орбите // Акт Астронавтики – 2020.- № 177, – С. 202-216.
17. Цзюйчэн Сюй, Канглин Ку, Мэн Юань. Выбор признаков с использованием теории информации и алгебраического подхода в системе принятия решений по окрестностям // Entropy – 2020. – № 23, С. 204-213.
18. Проблемы групповой эксплуатации воздушных судов / А.С. Бортаковский, К.А. Щелчков // Труды МАИ. – 2018. – № 99. – с. 23.
19. Шмелев В.В. Решение задачи оптимизации на сетевой модели технологического процесса / В.В. Шмелев // Труды МАИ. – 2016. – № 88. – С.12.
20. Зайцев Д.О., Павлов Д.А., Нестечук Е.А. Методика мониторинга технического состояния бортовых систем ракеты-носителя на основе обработки быстро меняющихся параметров // Труды МАИ. – 2021. - № 121. - с. 6-9.

References

1. Andrienko A.Ya., Belsky L.N., Zaplatin M.I., et al. Digital control system for fuel consumption of the Soyuz-2 and Soyuz-ST launch vehicles // Control Problems. 2012. No. 5. Pp. 81-83.
2. Maidanovich O.V., Kargin V.A., Myshko V.V., Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V. Theory and Practice of Building Automated Systems for Monitoring the Technical Condition of Space Assets. St. Petersburg: VKA named after A.F. Mozhaysky. 2011. 219 p.
3. Novitsky P.V., Zoographer I.A. Estimation of measurement errors. L.: Energoatomizdat, 1999.

4. Tkachenko V.V., Kravtsov A.N., Shmelev V.V., Lazutin O.G. Methodology for sampling telemetered parameters according to their degree of importance for making it difficult to identify objects of rocket and space weapons - Proceedings of the Military Space Mozhaisky Academy. – 2012. – Issue No. 637. – pp.134-139.
5. Kobets K.A. Algorithm of formation of a single carrier in the analysis of telemetric information / K. A. Kobets. // Young Scientist. — 2010. — No. 1-2 (13). — Vol. 1. — Pp. 66-73. — UR.
6. Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V. New information technologies for monitoring and managing the conditions of complex technical facilities in real time // Proceedings of SPIIRAN. 2005. Vol. 2. No. 2. pp. 249-265.
7. Kopkin E.V., Kobzarev I.M. Optimal algorithm for analyzing the technical condition of an object based on a measure of the value of diagnostic information // Proceedings of the Military Space Academy named after A.F.Mozhaisky. - 2018. – Issue No. 661. – pp.15-32.
8. Goncharov A.M. Synthesis of the optimal reliability classification program for telemetry parameters in the identification of onboard systems of rocket and space technology / A.M. Goncharov, E.B. Samoilov, V.V. Shmelev. – Text: direct // Proceedings of the Mozhaisky Military Space Academy. – 2020. – No. 673. – Pp. 18-35
9. Kargin V.A., Okhtilev M.Yu., and O.V. Maidanovich. Automated Decision Support System for Real-Time Monitoring of Rocket and Space Technology // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie. 2010. Vol. 53. No. 11. Pp. 20-23.
10. Samoilov E.B., Tkachenko V.V., Popov N.A. A methodology for ranking the telemetered parameters of space assets by their information value – The Eighth Utkin readings: proceedings of the General Scientific and Technical conf. / Baltic State Technical

University of St. Petersburg; 2019. – 470 p. (Library of the magazine "Voenmeh. Vestnik BGTU", No. 55) Pp. 268-271.

11. Shmelev V.V., Tkachenko V.V. The methodology of estimating the significance of telemetered parameters for the identification of observation objects – Materials of the Second scientific and practical conference of the Ministry of Defense of the Russian Federation – VA GSh. Moscow. 2011, pp. 152-161. – Mirny: 1 GIK MO RF, 2016. Pp. 239-243.

12. Kargin V.A. Model of Measurement Information in Space Monitoring Systems / V.A. Kargin, D.A. Nikolaev, A.Yu. Rossiev, and D.N. Borodko // Information and Control Systems, 2012. – No. 1. – Pp. 39–43.

13. Maltsev V.B. Analysis of the State of Technical Systems. – MO RF, 1992.

14. Gladkiy A.V. Formal grammars and languages / A.V. Gladkiy. – Moscow .: Nauka, 1973. – 368 p.

15. Shmelev V.V., Zaitsev D.O., Pavlov D.A. Model of the BMP Processing Process in Real Time // Aerospace Instrumentation – 2020. – No. 8. – Pp. 28-36.

16. Jia-cheng Zhang, Yue-he Zhu, Ya-zhong Luo. Multi-criteria optimization and decision-making for the overall allocation of resources on the space station in orbit // Acta Astronautica – 2020.- No. 177, – P. 202-216.

17. Jucheng Xu, Kangling Ku, Meng Yuan. Feature selection using information theory and algebraic approach in neighborhood decision-making system // Entropy – 2020. – No. 23, P. 204-213.

18. Problems of group performance of aircraft / A.S. Bortakovsky, K.A. Shchelchikov // Proceedings of MAI. – 2018. – No. 99. – p. 23.

19. Shmelev V.V. Solving an optimization problem on a network model of a technological process / V.V. Shmelev // Proceedings of MAI. – 2016. – No. 88. – P.12.
20. Zaitsev D.O., Pavlov D.A., Nestechuk E.A. Methodology for monitoring the technical condition of onboard launch vehicle systems based on processing rapidly changing parameters // Proceedings of MAI. – 2021 № 121. – pp. 6-9.