Труды МАИ. 2025. № 145.

Trudy MAI. 2025. No. 145. (In Russ.)

Научная статья
УДК 681.5.09
URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=186899
EDN: https://www.elibrary.ru/ZWRFJA

К ВОПРОСУ АНАЛИЗА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАЗГОННЫХ БЛОКОВ ТИПА «БРИЗ-М» НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

М.П. Бирюков[1], **О.А. Плахин**[2]✉, **Е.В. Копкин**[2]

[1] Главный испытательный космический центр имени Г.С. Титова,

г. Краснознаменск, Россия

[2]Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,

г. Санкт-Петербург, Россия

✉ vka@mil.ru

Цитирование: Бирюков М.П., Плахин О.А., Копкин Е.В. К вопросу анализа технического состояния разгонных блоков типа «Бриз-М» на основе комплекса диагностических моделей // Труды МАИ. 2025. № 145. URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=186899

Аннотация. В статье рассматривается комплекс моделей диагностирования технического состояния разгонного блока, созданный с применением методологии автоматизированного системно-когнитивного анализа. Изложена процедура построения статистических и системно-когнитивных моделей, базирующихся на обработке значительных массивов телеметрических данных. В процессе анализа исходные данные преобразуются в обучающую выборку – базу событий, после чего выявляются причинно-следственные связи между этими событиями, что позволяет перейти от данных к информации и знаниям. Полученные модели в различной форме аккумулируют знания о состоянии разгонного блока в зависимости от наблюдаемых значений телеметрируемых параметров. Приводится числовой пример, на основе эмпирических данных, иллюстрирующий процесс построения моделей.

Ключевые слова: техническое состояние, разгонный блок, диагностическая модель, автоматизированный системно-когнитивный анализ (АСК-анализ).

ON THE ISSUE OF ANALYZING THE TECHNICAL CONDITION OF «BRIZ-M» UPPER STAGES BASED ON A SET OF DIAGNOSTIC MODELS

M.P. Biryukov[1], O.A. Plakhin[2]✉, E.V. Kopkin[2]

G.S. Titov Main Test and Space Systems Control Centre,

Krasnoznamensk, Russia

[2]Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg, Russia

✉ vka@mil.ru

Citation:. Biryukov M.P., Plakhin O.A., Kopkin E.V. On the issue of analyzing the technical condition of «Briz-M» upper stages based on a set of diagnostic models // Trudy MAI. 2025. No. 145. (In Russ.). URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=186899

Abstract. This article discusses a set of diagnostic models for assessing the technical condition of an upper stage, created using the methodology of Automated System-Cognitive Analysis (ASCA). The procedure for constructing statistical and system-cognitive models based on the processing of large volumes of telemetry data is described. During the analysis, the initial data is transformed into a training sample—a database of events. Subsequently, cause-and-effect relationships between these events are identified, enabling the transition from data to information and knowledge. The resulting models accumulate knowledge about the state of the upper stage in various forms, depending on the observed values of the telemetry parameters. A numerical example based on empirical data is provided to illustrate the model-building process.

Keywords: technical condition, upper stage, diagnostic model, Automated System-Cognitive Analysis (ASCA).

Введение

Современные программы выведения космических аппаратов на целевые орбиты и траектории в значительной степени опираются на применение разгонных блоков и блоков выведения, которые стали неотъемлемым элементом космических миссий. Использование разгонных блоков существенно расширяет возможности запусков, способствуя более рациональной эксплуатации

ракет-носителей и снижению стоимости выведения полезной нагрузки. Среди ключевых преимуществ таких систем можно выделить:

1. Экономическую эффективность. Применение разгонных блоков позволяет использовать менее грузоподъемные ракеты-носители, что зачастую оказывается экономически целесообразнее по сравнению с одноэтапным выведением.

2. Многозадачность. С помощью разгонных блоков становится возможным одновременное выведение нескольких космических аппаратов как на однотипные, так и на различные орбиты.

3. Повышенную точность. Разгонные блоки обеспечивают коррекцию траектории полета после завершения основной фазы выведения, что способствует более точному выведению аппаратов.

4. Гибкость траекторий. Многие ракеты-носители не способны напрямую выводить полезную нагрузку на высокоэллиптические и геостационарные орбиты. Разгонные блоки позволяют реализовывать необходимые маневры для достижения таких орбит, включая траектории со сложной конфигурацией.

Центральным звеном контроля полета разгонных блоков и анализа их технического состояния выступает единый центр управления полетами в составе наземного автоматизированного комплекса управления Министерства обороны РФ. В его зоне ответственности находятся все типы разгонных блоков и блоков выведения: «Фрегат», «Бриз-М», семейство блоков «ДМ», «Персей» и блок выведения «Волга». При этом интенсивность пусковых операций может достигать десяти запусков в краткосрочный период, иногда по два запуска в сутки. Подобная нагрузка создает серьезные трудности для боевых расчетов, которые должны в установленные сроки, оперативно и с требуемой достоверностью выполнять задачи – от подготовки заключений перед пуском до формирования отчетной документации. Например, для блока выведения «Волга», который предусматривает реализацию нескольких схем выведения после отделения от ракеты-носителя, анализ телеметрической информации должен проводиться практически в реальном времени.

В связи с этим актуальной задачей становится оптимизация процессов анализа технического состояния таких сложных систем, как разгонные блоки, в

условиях ресурсных ограничений. Решение этой задачи требует внедрения интеллектуальных технологий автоматизации анализа технического состояния.

Моделирование разгонного блока как объекта анализа технического состояния

Успешная реализация процесса анализа технического состояния разгонного блока невозможна без построения адекватной модели объекта анализа.

Разгонный блок представляет собой сложную многопараметрическую динамическую систему, в которой протекают многочисленные физические процессы, существенно влияющие на его характеристики. Эти процессы крайне сложно описать с помощью аналитических моделей, основанных на уравнениях, а их разработка требует значительных ресурсов. Введение упрощающих допущений в аналитические модели снижает их универсальность, адекватность и достоверность.

Накопленные за годы эксплуатации объемы эмпирических данных телеметрии могут быть использованы для создания феноменологических информационных моделей, не имеющих аналитической формы и описывающих объект как «черный ящик». Такие модели отражают зависимости между входными и выходными параметрами, не раскрывая физических механизмов этих зависимостей.

Для реализации данного подхода предлагается использовать метод автоматизированного системно-когнитивного анализа и его программную реализацию – универсальную когнитивную аналитическую систему «Эйдос» [1].

Математический аппарат метода базируется на системной теории информации, является непараметрическим и позволяет обрабатывать тысячи градаций признаков и состояний нелинейных многопараметрических объектов при работе с неполными и зашумленными данными различной природы, измеряемыми в разных единицах.

На первом этапе создания модели выполняется формализация предметной области через формирование классификационных и описательных шкал с их

градациями. Затем осуществляется кодирование исходных данных и формирование обучающей выборки. Градации классификационных шкал соответствуют обобщенным состояниям объекта (например, техническим состояниям), а градации описательных шкал – значениям признаков, характеризующих свойства объекта. При табличном представлении данных каждой шкале соответствует столбец или строка таблицы.

После формализации эмпирических данных для выявления взаимосвязей между признаками и состояниями объекта анализа вычисляется матрица абсолютных частот $\mathbf{N}_{[M,W]}$ (матрица сопряженности), имеющая вид

$$\mathbf{N}_{[M,W]} = \begin{bmatrix} N_{11} & \dots & N_{1j} & \dots & N_{1W} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ N_{i1} & \dots & N_{ij} & \dots & N_{iW} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ N_{M1} & \dots & N_{Mj} & \dots & N_{MW} \end{bmatrix}. \qquad (1)$$

В матрице (1) классами (столбцами) являются состояния объекта анализа, а атрибутами (строками) – признаки. Значение каждого элемента N_{ij} матрицы $\mathbf{N}_{[M,W]}$ представляет собой фактическое число наблюдений i-го признака $\left(i = \overline{1, M}\right)$ у объектов j-го класса $\left(j = \overline{1, W}\right)$ по данным обучающей выборки, т.е. матрица абсолютных частот отражает число встреч различных значений (градаций) признаков по всем градациям классов. В терминологии АСК-анализа матрица (1) имеет название «Статистическая модель ABS».

Имея сформированную матрицу (1), можно вычислить:

$N_{\Sigma j} = \sum_{i=1}^{M} N_{ij}$ – суммарное количество наблюдений различных признаков у объектов, принадлежащих j-му классу;

$N_{i\Sigma} = \sum_{j=1}^{W} N_{ij}$ – суммарное количество наблюдений i-го признака у всех объектов исследуемой выборки;

$N_{\Sigma\Sigma} = \sum_{i=1}^{M} N_{i\Sigma} = \sum_{j=1}^{W} N_{\Sigma j} = \sum_{i=1}^{W}\sum_{j=1}^{M} N_{ij}$ – суммарное количество наблюдений различных признаков у всех объектов исследуемой выборки.

Исходя из того, что на практике имеет место существенная несбалансированность данных, т.е. сильно отличающееся количество наблюдений объектов обучающей выборки, относящихся к различным градациям одного класса или признака, то корректно сравнивать классы можно только с помощью посчитанных на основе матрицы (1) условных и безусловных вероятностей наблюдения признаков. Для этого следует сформировать матрицу $\mathbf{P}_{[M,W]}$ условных и безусловных вероятностей (процентных распределений)

$$\mathbf{P}_{[M,W]} = \begin{bmatrix} P_{11} & \dots & P_{1j} & \dots & P_{1W} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i1} & \dots & P_{ij} & \dots & P_{iW} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{M1} & \dots & P_{Mj} & \dots & P_{MW} \end{bmatrix}. \qquad (2)$$

Элементы P_{ij} матрицы (2) рассчитываются по следующим выражениям:

$P_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_{i\Sigma}}$ – условная вероятность того, что объект принадлежит j-му классу при условии наличия у него i-го значения признака;

$P_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_{\Sigma j}}$ – условная вероятность наблюдения i-го значения признака у объектов j-го класса.

Значения P_{ij} представляют собой, строго говоря, не вероятности, а относительные частоты, которые, однако, при достаточно большом объеме выборки, незначительно отличаются от вероятностей [2]. Кроме того, элементы P_{ij} можно выражать и в процентах. После формирования матрицы (2) можно вычислить:

$P_{\Sigma j} = \frac{N_{\Sigma j}}{N_{\Sigma\Sigma}}$ – безусловную вероятность того, что объект принадлежит j-му классу;

$P_{i\Sigma} = \frac{N_{i\Sigma}}{N_{\Sigma\Sigma}}$ – безусловную вероятность наблюдения i-го значения признака по всей выборке.

Для расчета значений элементов P_{ij} матрицы (2) в качестве $N_{\Sigma j}$ можно использовать либо суммарное количество признаков по классу, либо суммарное

количество объектов обучающей выборки по классу. Соответственно, получаются две различных матрицы условных и безусловных вероятностей (процентных распределений), которые в терминологии АСК-анализа называются «Статистическая модель PRC 1» и «Статистическая модель PRC 2».

С помощью статистических моделей ABS, PRC 1 и PRC 2 можно синтезировать ряд системно-когнитивных моделей, отражающих количество информации, содержащейся в фактах наблюдения определенных значений признаков о принадлежности объекта анализа определенному классу.

На основе матриц (1) и (2) формируется матрица $\mathbf{I}_{[M,W]}$ системно-когнитивной модели:

$$\mathbf{I}_{[M,W]} = \begin{bmatrix} I_{11} & \dots & I_{1j} & \dots & I_{1W} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_{i1} & \dots & I_{ij} & \dots & I_{iW} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_{M1} & \dots & I_{Mj} & \dots & I_{MW} \end{bmatrix}. \qquad (3)$$

Если сравнить условные и безусловные относительные частоты путем деления, то получается частный критерий – «количество знаний по А. А. Харкевичу»

(в терминологии АСК-анализа – системно-когнитивные модели INF1 и INF2). В этих моделях значения I_{ij} рассчитываются по формулам:

$$I_{ij} = \Psi \log_2 \frac{P_{ij}}{P_{i\Sigma}}; \qquad (4)$$

$$I_{ij} = \Psi \log_2 \frac{N_{ij} N_{\Sigma\Sigma}}{N_{i\Sigma} N_{\Sigma j}}, \qquad (5)$$

где $\Psi = \dfrac{\log_2 W^{\varphi}}{\log_2 N_{\Sigma\Sigma}}$ – коэффициент эмерджентности Харкевича;

$\varphi = \dfrac{\log_2 \sum_{m=1}^{M} C_W^m}{\log_2 W}$ – коэффициент эмерджентности Хартли [1].

Отличие этих моделей заключается в том, что в модели INF1 в качестве $N_{\Sigma j}$ при расчетах по формулам (4) и (5) используется суммарное количество признаков

по классу, а в модели INF2 – суммарное количество объектов обучающей выборки по классу.

Количественные значения элементов I_{ij} матрицы $\mathbf{I}_{[M,W]}$ являются знаниями о том, что анализируемый объект будет находиться в j-м состоянии, если наблюдается i-е значение признака.

Другими словами, значения I_{ij} представляют собой частные критерии знаний – они показывают, какое количество знаний о том, что объект принадлежит j-му классу, содержится в факте наблюдения i-го значения признака.

Когда $I_{ij} > 0$ – i-й признак способствует принадлежности объекта j-му классу, когда $I_{ij} < 0$ – препятствует этому, когда же $I_{ij} = 0$ – не влияет на это. В векторе i-го признака (строка матрицы $\mathbf{I}_{[M,W]}$) отображается, какое количество знаний о принадлежности объекта анализа к каждому из классов содержится в том факте, что данный признак наблюдается. В векторе j-го класса (столбец матрицы $\mathbf{I}_{[M,W]}$) отображается, какое количество знаний о принадлежности объекта анализа соответствующему классу содержится в каждом из признаков.

Модели INF 1 и INF 2 позволяют рассчитать, какое количество информации (или знаний) содержится в любом факте о наступлении любого события, причем для этого не требуется повторности этих фактов и событий.

Если сравнивать фактические и теоретически ожидаемые абсолютные частоты путем вычитания, то получается частный критерий знаний: «хи-квадрат» (Системно-когнитивная модель INF 3). Элементы I_{ij} в этой модели рассчитываются по формуле

$$I_{ij} = N_{ij} - \frac{N_{i\Sigma} N_{\Sigma j}}{N_{\Sigma\Sigma}} . \qquad (6)$$

В моделях INF 4 и INF 5 значения I_{ij} рассматриваются как частные критерии – аналоги ROI (Return On Investment – коэффициент возврата вложений), и вычисляются по формулам:

$$I_{ij} = \frac{P_{ij} - P_{i\Sigma}}{P_{i\Sigma}} ; \qquad (7)$$

$$I_{ij} = \frac{N_{ij} N_{\Sigma\Sigma}}{N_{i\Sigma} N_{\Sigma j}} - 1. \quad (8)$$

Значения I_{ij} в системно-когнитивных моделях INF 6 и INF 7 представляют собой разности условной и безусловной вероятностей и рассчитываются по формулам:

$$I_{ij} = P_{ij} - P_{i\Sigma}; \quad (9)$$

$$I_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_{\Sigma j}} - \frac{N_{i\Sigma}}{N_{\Sigma\Sigma}} = \frac{N_{ij} N_{\Sigma\Sigma} - N_{i\Sigma} N_{\Sigma j}}{N_{\Sigma j} N_{\Sigma\Sigma}}. \quad (10)$$

В моделях INF 4 и INF 6 в качестве $N_{\Sigma j}$ используется суммарное количество признаков по классу, а в моделях INF 5 и INF 7 – суммарное количество объектов обучающей выборки по классу.

Взаимосвязь статистических и системно-когнитивных моделей иллюстрируется рисунком 1.

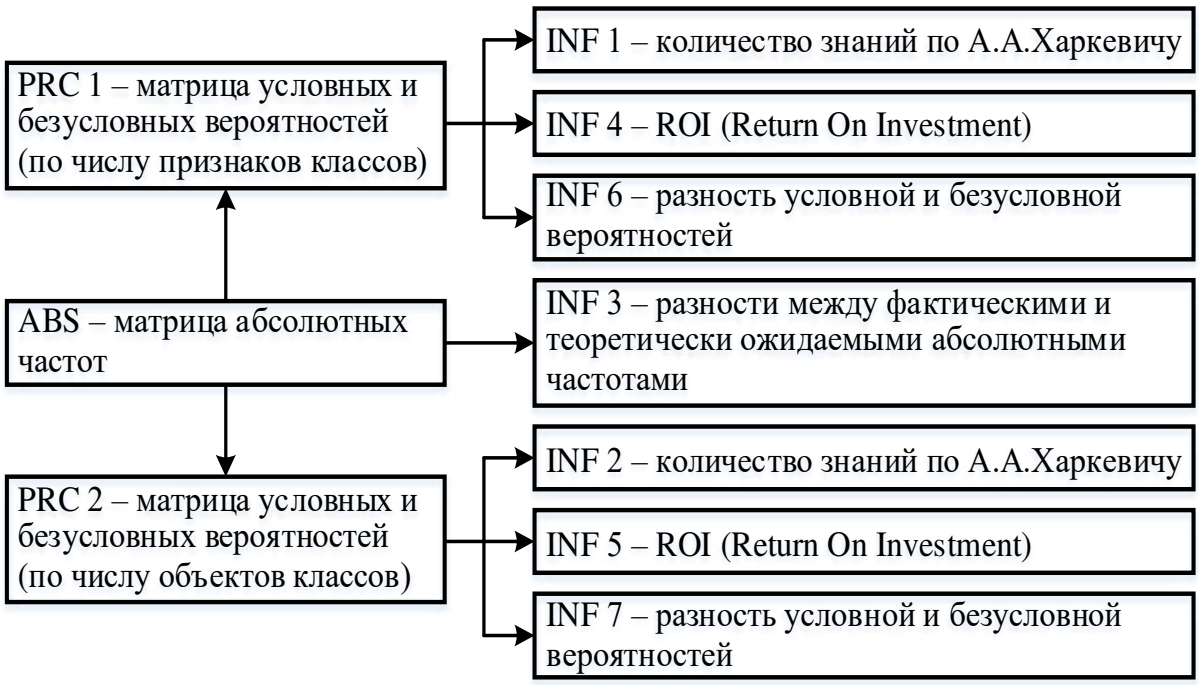

Рисунок 1 – Взаимосвязи статистических и системно-когнитивных моделей объекта анализа.

На основе сформированной матрицы (3) для каждой из системно-когнитивных моделей можно рассчитать вариабельность значений частных критериев значений фактора, класса или модели в целом:

– значимость (ценность) значения признака для решения задачи идентификации (для каждой из строк матрицы $\mathbf{I}_{[M,W]}$):

$$\sigma_{i\Sigma} = \sqrt{\frac{1}{W-1}\sum_{j=1}^{W}\left(I_{ij} - \overline{I}_i\right)^2}, \quad (11)$$

где $\overline{I}_i = \frac{1}{W}\sum_{j=1}^{W} I_{ij}$ – среднее значение координат вектора признака;

– степень детерминированности (обусловленности) класса (для каждого из столбцов матрицы $\mathbf{I}_{[M,W]}$):

$$\sigma_{\Sigma j} = \sqrt{\frac{1}{M-1}\sum_{i=1}^{M}\left(I_{ij} - \overline{I}_j\right)^2}, \quad (12)$$

где $\overline{I}_j = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} I_{ij}$ – среднее значение координат вектора класса;

– качество (ценность) модели:

$$H = \sqrt{\frac{1}{(W \cdot M - 1)}\sum_{j=1}^{W}\sum_{i=1}^{M}\left(I_{ij} - \overline{I}\right)^2}, \quad (13)$$

где $\overline{I} = \frac{1}{W \cdot M}\sum_{i=1}^{W}\sum_{j=1}^{M} I_{ij}$ – средняя информативность признаков по матрице информативностей (3).

Практическая значимость разработанных моделей заключается в их способности решать широкий спектр задач анализа технического состояния: от оперативной диагностики и прогнозирования до поддержки принятия управленческих решений [3]. Дополнительно модели служат инструментом исследования закономерностей функционирования разгонного блока через анализ взаимосвязей в системно-когнитивной модели.

Пример построения моделей бортовых обеспечивающих систем разгонного блока

Для примера построим комплекс статистических и системно-когнитивных моделей разгонного блока типа «Бриз».

Для создания обучающей выборки будем использовать телеметрическую информацию (ТМИ), полученную от разгонного блока по результатам запуска 69 объектов.В качестве классификационных шкал (классов) использованы отклонения от параметров целевых орбит разгонного блока в точке выведения по перигею, апогею и наклонению орбиты. В качестве описательных шкал использованы значения 79 телеметрируемых параметров (ТМП) одной из бортовых обеспечивающих систем разгонного блока. Фрагмент обучающей выборки представлен в таблице 1.

Таблица 1

Обучающая выборка (фрагмент)

№ Объекта	Отклонение Перигей, км	Отклонение Апогей, км	Отклонение Наклонение, мин	Давление в шаробаллонах на ЦТБ, кгс/см²	Давление в магистрали наддува БНДГ, кгс/см²		…	Температура кронштейнов ДМТ в точках: 1, 2, 3, 4, °С		
				ТМП_1	ТМП_2	ТМП_3	…	ТМП_77	ТМП_78	ТМП_79
				23ДШБ1	23ДНГН33	23ДНГН33	…	12ТКДМТ50	12ТКДМТ51	12ТКДМТ52
1	-4,3	18	-0,5	293,09	1,34	1,48	…	74,41	66,35	74,67
2	-0,4	-2	-2,4	284,32	1,32	1,54	…	74,51	59,03	60,98
3	-21,1	27,5	-0,9	294,58	1,02	1,84	…	53,00	56,18	53,00
4	-34	-6,4	-0,6	319,06	1,21	1,54	…	22,64	20,59	19,36
5	-422,3	30	5	-	-	-	…	26,62	29,47	29,09
6	-1,7	-0,7	0	-	-	-	…	18,67	19,70	19,12
7	-159,7	336,2	7	-	-	-	…	18,67	19,70	19,12
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
64	-192	33,6	2,5	219,16	1,28	1,92	…	33,06	32,47	31,50
65	-139,1	-43,7	3,4	235,06	1,33	1,97	…	34,54	35,50	33,62
66	8,7	76,4	-1,7	231,21	1,26	1,73	…	29,53	32,75	29,85
67	-0,7	17,9	0,5	238,50	1,31	1,67	…	29,54	33,41	30,46
68	-2406,3	-0,9	89,5	223,97	1,27	1,82	…	32,75	30,07	32,64
69	-431,5	-33,5	23,3	246,12	1,25	1,77	…	29,25	29,57	31,24

Таким образом, исходные данные для синтеза трех статистических и семи системно-когнитивных моделей представляют собой таблицу размерностью 69 строк и 82 столбца. Следует отметить также, что не все ячейки таблицы являются заполненными, ввиду отсутствия отдельных значений ТМП по некоторым объектам.

Для каждого из трех классов сформированы по 4 их градации. Для отклонений по перигею и апогею: «меньше 60 км.»; «от 60 до 120 км.»; «от 120 до 180 км.»; «больше 180 км.». Для отклонений по наклонению орбиты: «меньше 4 угл. мин.»; «от 4 до 8 угл. мин.»; «от 8 до 12 угл. мин.»; «больше 12 угл. мин.».

Для каждого из 79 ТМП выделены 3 градации, полученные путем деления всего диапазона их значений на 3 одинаковых интервала. Описательные шкалы и их градации представлены в таблице 2 (частично, ввиду их большого объема).

Таблица 2

Описательные шкалы и их градации (фрагмент)

Наименование и код ТМП			Диапазон значений	Название ТМП
23ДШБ1	ТМП_1	ТМП_1-1	[202,595; 241,417]	Давление в шаробаллонах на ЦТБ, кгс/см^2
		ТМП_1-2	[241,417; 280,238]	
		ТМП_1-3	[280,238; 319,060]	
23ДНСПУ6	ТМП_2	ТМП_2-1	[35,250; 36,740]	Давление после редуктора СПУ, кгс/см^2
		ТМП_2-2	[36,740; 38,230]	
		ТМП_2-3	[38,230; 39,720]	
23ДНРВ7	ТМП_3	ТМП_3-1	[15,945; 16,777]	Давление после редуктора ВД, кгс/см^2
		ТМП_3-2	[16,777; 17,608]	
		ТМП_3-3	[17,608; 18,440]	
…	…	…	…	…
12ТКДМТ52	ТМП_78	ТМП_78-1	[15,690; 35,350]	Температура кронштейнов ДМТ в точках: 3, 4, °С
		ТМП_78-2	[35,350; 55,010]	
		ТМП_78-3	[55,010; 74,670]	
12ТКДМТ53	ТМП_79	ТМП_79-1	[16,020; 33,657]	
		ТМП_79-2	[33,657; 51,293]	
		ТМП_79-3	[51,293; 68,930]	

Сначала сформируем статистические модели ABS, PRC 1 и PRC 2.

Элементы матрицы $\mathbf{N}_{[237,12]}$ абсолютных частот вида (1) указывают число встреч различных значений (градаций) признаков по всем градациям классов.

Элементы матрицы $\mathbf{P}_{[237,12]}$ условных и безусловных вероятностей (процентных распределений) вида (2), указанные в процентах, отражают относительные частоты встреч градаций признаков по градациям классов. При этом для расчета значений матрицы $\mathbf{P}_{[237,12]}$ в модели PRC 1 использовалось суммарное количество признаков по классу, а в модели PRC 2 – суммарное количество объектов обучающей выборки по классу.

После формирования матриц для моделей ABS, PRC 1 и PRC 2 можно приступить к синтезу системно-когнитивных моделей INF 1 – INF 7, т.е. матриц информативности $\mathbf{I}_{[237,12]}$ вида (3).

При построении моделей INF 1 и INF 2 элементы матриц информативности $\mathbf{I}_{[237,12]}$ рассчитывались по формулам (4) и (5).

Для модели INF 3 элементы I_{ij} матрицы (3) рассчитывались по формуле (6).

Для моделей INF 4 и INF 5 при расчетах использовались формулы (7) и (8), а для моделей INF 6 и INF 7 – формулы (9) и (10).

Отметим, что для моделей INF 1, INF 4 и INF 6 в качестве $N_{\sum j}$ при расчетах использовалось суммарное количество признаков по классу, а для моделей INF 2, INF 5 и INF 7 – суммарное количество объектов обучающей выборки по классу.

Результаты моделирования, а именно – матрицы $\mathbf{N}_{[237,12]}$, $\mathbf{P}_{[237,12]}$ и $\mathbf{I}_{[237,12]}$ – в виде их фрагментов, представлены на рисунках 2 – 6.

Описательные шкалы и их градации	Классы и их градации												Сумма
	Перигей > 180 км	Перигей < 60 км	Перигей от 120 до 180 км	Перигей от 60 до 120 км	Апогей > 180 км	Апогей < 60 км	Апогей от 120 до 180 км	Апогей от 60 до 120 км	Наклонение > 12 мин	Наклонение < 4 мин	Наклонение от 4 до 8 мин	Наклонение от 8 до 12 мин	
ТМП_1-1	8	16	4	4	1	30	0	1	4	18	8	2	96
ТМП_1-2	1	5	0	2	0	7	0	1	1	3	4	0	24
ТМП_1-3	8	11	0	4	2	18	1	2	3	15	2	3	69
ТМП_2-1	6	10	2	4	2	16	1	3	5	13	3	1	66
ТМП_2-2	10	16	1	2	0	28	0	1	2	15	9	3	87
ТМП_2-3	1	6	1	4	1	11	0	0	1	8	2	1	36
ТМП_3-1	1	3	0	0	0	3	1	0	0	2	0	2	12
ТМП_3-2	13	22	3	8	3	40	0	3	6	25	12	3	138
ТМП_3-3	3	7	1	2	0	12	0	1	2	9	2	0	39
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
ТМП_78-1	15	26	4	6	3	44	1	3	15	26	4	6	153
ТМП_78-2	2	5	1	2	0	10	0	0	2	5	1	2	30
ТМП_78-3	1	5	0	2	1	6	0	1	1	5	0	2	24
ТМП_79-1	15	23	3	7	3	42	1	2	15	23	3	7	144
ТМП_79-2	2	10	2	2		14	0	2	2	10	2	2	48
ТМП_79-3	1	3	0	1	1	4	0	0	1	3	0	1	15
Сумма числа признаков	1314	2570	363	747	269	4356	70	299	598	2812	1221	363	14982
Сумма числа объектов обучающей выборки	18	36	5	10	4	60	1	4	8	39	17	5	207

Описательные шкалы и их градации	Классы и их градации												Безусловная вероятность признака, %
	Перигей > 180 км	Перигей < 60 км	Перигей от 120 до 180 км	Перигей от 60 до 120 км	Апогей > 180 км	Апогей < 60 км	Апогей от 120 до 180 км	Апогей от 60 до 120 км	Наклонение > 12 мин	Наклонение < 4 мин	Наклонение от 4 до 8 мин	Наклонение от 8 до 12 мин	
ТМП_1-1	0,61	0,623	1,102	0,535	0,372	0,689	0,000	0,334	0,669	0,640	0,655	0,551	0,641
ТМП_1-2	0,08	0,195	0,000	0,268	0,000	0,161	0,000	0,334	0,167	0,107	0,328	0,000	0,160
ТМП_1-3	0,61	0,428	0,000	0,535	0,743	0,413	1,429	0,669	0,502	0,533	0,164	0,826	0,461
ТМП_2-1	0,46	0,389	0,551	0,535	0,743	0,367	1,429	1,003	0,836	0,462	0,246	0,275	0,441
ТМП_2-2	0,76	0,623	0,275	0,268	0,000	0,643	0,000	0,334	0,334	0,533	0,737	0,826	0,581
ТМП_2-3	0,08	0,233	0,275	0,535	0,372	0,253	0,000	0,000	0,167	0,284	0,164	0,275	0,240
ТМП_3-1	0,08	0,117	0,000	0,000	0,000	0,069	1,429	0,000	0,000	0,071	0,000	0,551	0,080
ТМП_3-2	0,99	0,856	0,826	1,071	1,115	0,918	0,000	1,003	1,003	0,889	0,983	0,826	0,921
ТМП_3-3	0,23	0,272	0,275	0,268	0,000	0,275	0,000	0,334	0,334	0,320	0,164	0,000	0,260
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
ТМП_78-1	1,14	1,012	1,102	0,803	1,115	1,010	1,429	1,003	1,171	0,960	1,147	0,826	1,021
ТМП_78-2	0,15	0,195	0,275	0,268	0,000	0,230	0,000	0,000	0,000	0,213	0,164	0,551	0,200
ТМП_78-3	0,08	0,195	0,000	0,268	0,372	0,138	0,000	0,334	0,167	0,213	0,082	0,000	0,160
ТМП_79-1	1,14	0,895	0,826	0,937	1,115	0,964	1,429	0,669	1,171	0,747	1,310	1,102	0,961
ТМП_79-2	0,15	0,389	0,551	0,268	0,000	0,321	0,000	0,669	0,000	0,533	0,000	0,275	0,320
ТМП_79-3	0,08	0,117	0,000	0,134	0,372	0,092	0,000	0,000	0,167	0,107	0,082	0,000	0,100
безусловная вероятность класса, %	8,77	17,15	2,423	4,986	1,795	29,07	0,467	1,996	3,991	18,77	8,150	2,423	

Рисунок - 2 Статистические модели ABS и PRC 1 (матрицы $\mathbf{N}_{[237,12]}$, и $\mathbf{P}_{[237,12]}$).

Описательные шкалы и их градации	Классы и их градации												Безусловная вероятность признака, %
	Перигей > 180 км	Перигей < 60 км	Перигей от 120 до 180 км	Перигей от 60 до 120 км	Апогей > 180 км	Апогей < 60 км	Апогей от 120 до 180 км	Апогей от 60 до 120 км	Наклонение > 12 мин	Наклонение < 4 мин	Наклонение от 4 до 8 мин	Наклонение от 8 до 12 мин	
ТМП_1-1	44,44	44,44	80,00	40,00	25,00	50,00	0,00	25,00	50,00	46,15	47,06	40,00	46,377
ТМП_1-2	5,56	13,89	0,00	20,00	0,00	11,67	0,00	25,00	12,50	7,69	23,53	0,00	11,594
ТМП_1-3	44,44	30,56	0,00	40,00	50,00	30,00	100,00	50,00	37,50	38,46	11,76	60,00	33,333
ТМП_2-1	33,33	27,78	40,00	40,00	50,00	26,67	100,00	75,00	62,50	33,33	17,65	20,00	31,884
ТМП_2-2	55,56	44,44	20,00	20,00	0,00	46,67	0,00	25,00	25,00	38,46	52,94	60,00	42,029
ТМП_2-3	5,56	16,67	20,00	40,00	25,00	18,33	0,00	0,00	12,50	20,51	11,76	20,00	17,391
ТМП_3-1	5,56	8,33	0,00	0,00	0,00	5,00	100,00	0,00	0,00	5,13	0,00	40,00	5,797
ТМП_3-2	72,22	61,11	60,00	80,00	75,00	66,67	0,00	75,00	75,00	64,10	70,59	60,00	66,667
ТМП_3-3	16,67	19,44	20,00	20,00	0,00	20,00	0,00	25,00	25,00	23,08	11,76	0,00	18,841
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
ТМП_78-1	83,33	72,22	80,00	60,00	75,00	73,33	100,00	75,00	87,50	69,23	82,35	60,00	73,913
ТМП_78-2	11,11	13,89	20,00	20,00	0,00	16,67	0,00	0,00	0,00	15,38	11,76	40,00	14,493
ТМП_78-3	5,56	13,89	0,00	20,00	25,00	10,00	0,00	25,00	12,50	15,38	5,88	0,00	11,594
ТМП_79-1	83,33	63,89	60,00	70,00	75,00	70,00	100,00	50,00	87,50	53,85	94,12	80,00	69,565
ТМП_79-2	11,11	27,78	40,00	20,00	0,00	23,33	0,00	50,00	0,00	38,46	0,00	20,00	23,188
ТМП_79-3	5,56	8,33	0,00	10,00	25,00	6,67	0,00	0,00	12,50	7,69	5,88	0,00	7,246
безусловная вероятность класса, %	8,70	17,39	2,42	4,83	1,93	28,99	0,48	1,93	3,86	18,84	8,21	2,42	

Описательные шкалы и их градации	Классы и их градации												Значимость признака
	Перигей > 180 км	Перигей < 60 км	Перигей от 120 до 180 км	Перигей от 60 до 120 км	Апогей > 180 км	Апогей < 60 км	Апогей от 120 до 180 км	Апогей от 60 до 120 км	Наклонение > 12 мин	Наклонение < 4 мин	Наклонение от 4 до 8 мин	Наклонение от 8 до 12 мин	
ТМП_1-1	-0,02	-0,01	0,202	-0,067	-0,203	0,027	0,000	-0,242	0,016	0,000	0,008	-0,056	0,113
ТМП_1-2	-0,28	0,072	0,000	0,192	0,000	0,001	0,000	0,274	0,016	-0,152	0,267	0,000	0,158
ТМП_1-3	0,104	-0,03	0,000	0,056	0,179	-0,040	0,422	0,139	0,032	0,055	-0,385	0,218	0,190
ТМП_2-1	0,013	-0,05	0,083	0,073	0,195	-0,068	0,439	0,307	0,239	0,018	-0,218	-0,175	0,195
ТМП_2-2	0,101	0,026	-0,28	-0,289	0,000	0,038	0,000	-0,206	-0,206	-0,032	0,089	0,132	0,151
ТМП_2-3	-0,43	-0,01	0,051	0,299	0,163	0,019	0,000	0,000	-0,135	0,063	-0,143	0,051	0,178
ТМП_3-1	-0,02	0,140	0,000	0,000	0,000	-0,056	1,074	0,000	0,000	-0,044	0,000	0,719	0,360
ТМП_3-2	0,027	-0,03	-0,04	0,056	0,071	-0,001	0,000	0,032	0,032	-0,013	0,024	-0,040	0,036
ТМП_3-3	-0,05	0,017	0,021	0,010	0,000	0,021	0,000	0,093	0,093	0,077	-0,173	0,000	0,071
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
ТМП_78-1	0,042	-0,004	0,028	-0,090	0,033	-0,004	0,125	-0,007	0,051	-0,023	0,043	-0,079	0,058
ТМП_78-2	-0,10	-0,01	0,119	0,108	0,000	0,051	0,000	0,000	0,000	0,024	-0,075	0,377	0,123
ТМП_78-3	-0,28	0,072	0,000	0,192	0,314	-0,056	0,000	0,274	0,016	0,107	-0,250	0,000	0,180
ТМП_79-1	0,064	-0,03	-0,06	-0,009	0,055	0,001	0,148	-0,135	0,073	-0,094	0,116	0,051	0,085
ТМП_79-2	-0,28	0,072	0,202	-0,067	0,000	0,001	0,000	0,274	0,000	0,190	0,000	-0,056	0,145
ТМП_79-3	-0,10	0,057	0,000	0,108	0,489	-0,032	0,000	0,000	0,191	0,024	-0,075	0,000	0,157
Степень редукции класса	0,135	0,089	0,152	0,177	0,230	0,056	0,258	0,148	0,166	0,096	0,139	0,182	

Рисунок 3 - Статистическая модель PRC 2, системно-когнитивная модель INF 1 (матрицы $\mathbf{P}_{[237,12]}$ и $\mathbf{I}_{[237,12]}$).

Описательные шкалы и их градации	Классы и их градации												Значимость признака
	Перигей > 180 км	Перигей < 60 км	Перигей от 120 до 180 км	Перигей от 60 до 120 км	Апогей > 180 км	Апогей < 60 км	Апогей от 120 до 180 км	Апогей от 60 до 120 км	Наклонение > 12 мин	Наклонение < 4 мин	Наклонение от 4 до 8 мин	Наклонение от 8 до 12 мин	
ТМП_1-1	-0,03	-0,03	0,37	-0,10	-0,42	0,05	0,00	-0,42	0,05	0,00	0,01	-0,10	0,208
ТМП_1-2	-0,49	0,12	0,00	0,37	0,00	0,00	0,00	0,52	0,05	-0,28	0,48	0,00	0,289
ТМП_1-3	0,19	-0,06	0,00	0,12	0,27	-0,07	0,74	0,27	0,08	0,10	-0,70	0,40	0,339
ТМП_2-1	0,03	-0,09	0,15	0,15	0,30	-0,12	0,77	0,58	0,45	0,03	-0,40	-0,31	0,350
ТМП_2-2	0,19	0,04	-0,50	-0,50	0,00	0,07	0,00	-0,35	-0,35	-0,06	0,16	0,24	0,265
ТМП_2-3	-0,77	-0,03	0,09	0,56	0,24	0,04	0,00	0,00	-0,22	0,11	-0,26	0,09	0,318
ТМП_3-1	-0,03	0,24	0,00	0,00	0,00	-0,10	1,91	0,00	0,00	-0,08	0,00	1,30	0,643
ТМП_3-2	0,05	-0,06	-0,07	0,12	0,08	0,00	0,00	0,08	0,08	-0,03	0,04	-0,07	0,066
ТМП_3-3	-0,08	0,02	0,04	0,04	0,00	0,04	0,00	0,19	0,19	0,14	-0,32	0,00	0,134
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
ТМП_78-1	0,08	-0,02	0,05	-0,14	0,01	-0,01	0,20	0,01	0,11	-0,04	0,07	-0,14	0,099
ТМП_78-2	-0,18	-0,03	0,22	0,22	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,04	-0,14	0,68	0,225
ТМП_78-3	-0,49	0,12	0,00	0,37	0,52	-0,10	0,00	0,52	0,05	0,19	-0,46	0,00	0,322
ТМП_79-1	0,12	-0,06	-0,10	0,00	0,05	0,00	0,24	-0,22	0,15	-0,17	0,20	0,09	0,146
ТМП_79-2	-0,49	0,12	0,37	-0,10	0,00	0,00	0,00	0,52	0,00	0,34	0,00	-0,10	0,263
ТМП_79-3	-0,18	0,09	0,00	0,22	0,83	-0,06	0,00	0,00	0,37	0,04	-0,14	0,00	0,274
Степень редукции класса	0,243	0,160	0,274	0,321	0,410	0,101	0,458	0,270	0,300	0,174	0,251	0,329	

Описательные шкалы и их градации	Классы и их градации												Значимость признака
	Перигей > 180 км	Перигей < 60 км	Перигей от 120 до 180 км	Перигей от 60 до 120 км	Апогей > 180 км	Апогей < 60 км	Апогей от 120 до 180 км	Апогей от 60 до 120 км	Наклонение > 12 мин	Наклонение < 4 мин	Наклонение от 4 до 8 мин	Наклонение от 8 до 12 мин	
ТМП_1-1	-0,42	-0,47	1,67	-0,79	-0,72	2,09	-0,45	-0,92	0,17	-0,02	0,18	-0,33	0,949
ТМП_1-2	-1,10	0,88	-0,58	0,80	-0,43	0,02	-0,11	0,52	0,04	-1,50	2,04	-0,58	0,965
ТМП_1-3	1,95	-0,84	-1,67	0,56	0,76	-2,06	0,68	0,62	0,25	2,05	-3,62	1,33	1,717
ТМП_2-1	0,21	-1,32	0,40	0,71	0,81	-3,19	0,69	1,68	2,37	0,61	-2,38	-0,60	1,612
ТМП_2-2	2,37	1,08	-1,11	-2,34	-1,56	2,70	-0,41	-0,74	-1,47	-1,33	1,91	0,89	1,714
ТМП_2-3	-2,16	-0,18	0,13	2,21	0,35	0,53	-0,17	-0,72	-0,44	1,24	-0,93	0,13	1,093
ТМП_3-1	-0,05	0,94	-0,29	-0,60	-0,22	-0,49	0,94	-0,24	-0,48	-0,25	-0,96	1,71	0,783
ТМП_3-2	0,90	-1,67	-0,34	1,12	0,52	-0,12	-0,64	0,25	0,49	-0,90	0,75	-0,34	0,824
ТМП_3-3	-0,42	0,31	0,06	0,06	-0,70	0,66	-0,18	0,22	0,44	1,68	-1,18	-0,94	0,774
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
ТМП_78-1	1,58	-0,25	0,29	-1,63	0,25	-0,48	0,29	-0,05	0,89	-1,72	1,53	-0,71	1,056
ТМП_78-2	-0,63	-0,15	0,27	0,50	-0,54	1,28	-0,14	-0,60	-1,20	0,37	-0,44	1,27	0,765
ТМП_78-3	-1,10	0,88	-0,58	0,80	0,57	-0,98	-0,11	0,52	0,04	1,50	-0,96	-0,58	0,855
ТМП_79-1	2,37	-1,70	-0,49	-0,18	0,41	0,13	0,33	-0,87	1,25	-6,03	4,26	0,51	2,453
ТМП_79-2	-2,21	1,77	0,84	-0,39	-0,86	0,04	-0,22	1,04	-1,92	5,99	-3,91	-0,16	2,443
ТМП_79-3	-0,32	0,43	-0,36	0,25	0,73	-0,36	-0,07	-0,30	0,40	0,18	-0,22	-0,36	0,383
Степень редукции класса	1,400	1,753	0,839	1,243	0,833	1,048	0,425	0,724	0,989	1,704	1,447	0,882	

Рисунок 4 - Системно-когнитивные модели INF 2 и INF 3 (матрицы $\mathbf{I}_{[237,12]}$).

Описательные шкалы и их градации	Классы и их градации												Значимость признака
	Перигей > 180 км	Перигей < 60 км	Перигей от 120 до 180 км	Перигей от 60 до 120 км	Апогей > 180 км	Апогей < 60 км	Апогей от 120 до 180 км	Апогей от 60 до 120 км	Наклонение > 12 мин	Наклонение < 4 мин	Наклонение от 4 до 8 мин	Наклонение от 8 до 12 мин	
ТМП_1-1	-0,05	-0,03	0,72	-0,16	-0,42	0,07	0,00	-0,48	0,04	0,00	0,02	-0,14	0,296
ТМП_1-2	-0,52	0,21	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00	1,09	0,04	-0,33	1,05	0,00	0,500
ТМП_1-3	0,32	-0,07	0,00	0,16	0,61	-0,10	2,10	0,45	0,09	0,16	-0,64	0,79	0,672
ТМП_2-1	0,04	-0,12	0,25	0,22	0,69	-0,17	2,24	1,28	0,90	0,05	-0,44	-0,37	0,780
ТМП_2-2	0,31	0,07	-0,53	-0,54	0,00	0,11	0,00	-0,42	-0,42	-0,08	0,27	0,42	0,336
ТМП_2-3	-0,68	-0,03	0,15	1,23	0,55	0,05	0,00	0,00	-0,30	0,18	-0,32	0,15	0,474
ТМП_3-1	-0,05	0,46	0,00	0,00	0,00	-0,14	16,84	0,00	0,00	-0,11	0,00	5,88	4,997
ТМП_3-2	0,07	-0,07	-0,10	0,16	0,21	0,00	0,00	0,09	0,09	-0,03	0,07	-0,10	0,101
ТМП_3-3	-0,12	0,05	0,06	0,03	0,00	0,06	0,00	0,28	0,28	0,23	-0,37	0,00	0,180
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
ТМП_78-1	0,12	-0,01	0,08	-0,21	0,09	-0,01	0,40	-0,02	0,15	-0,06	0,12	-0,19	0,184
ТМП_78-2	-0,24	-0,03	0,38	0,34	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,07	-0,18	1,75	0,354
ТМП_78-3	-0,52	0,21	0,00	0,67	1,32	-0,14	0,00	1,09	0,04	0,33	-0,49	0,00	0,567
ТМП_79-1	0,19	-0,07	-0,14	-0,03	0,16	0,00	0,49	-0,30	0,22	-0,22	0,36	0,15	0,334
ТМП_79-2	-0,52	0,21	0,72	-0,16	0,00	0,00	0,00	1,09	0,00	0,66	0,00	-0,14	0,391
ТМП_79-3	-0,24	0,17	0,00	0,34	2,71	-0,08	0,00	0,00	0,67	0,07	-0,18	0,00	0,537
Степень редукции класса	0,435	0,252	0,726	0,707	1,668	0,117	4,306	0,736	0,781	0,253	0,426	1,027	

Описательные шкалы и их градации	Классы и их градации												Значимость признака
	Перигей > 180 км	Перигей < 60 км	Перигей от 120 до 180 км	Перигей от 60 до 120 км	Апогей > 180 км	Апогей < 60 км	Апогей от 120 до 180 км	Апогей от 60 до 120 км	Наклонение > 12 мин	Наклонение < 4 мин	Наклонение от 4 до 8 мин	Наклонение от 8 до 12 мин	
ТМП_1-1	-0,04	-0,04	0,73	-0,14	-0,46	0,08	0,00	-0,46	0,08	0,00	0,01	-0,14	0,300
ТМП_1-2	-0,52	0,20	0,00	0,73	0,00	0,01	0,00	1,16	0,08	-0,34	1,03	0,00	0,513
ТМП_1-3	0,33	-0,08	0,00	0,20	0,50	-0,10	2,00	0,50	0,13	0,15	-0,65	0,80	0,645
ТМП_2-1	0,05	-0,13	0,25	0,25	0,57	-0,16	2,14	1,35	0,96	0,05	-0,45	-0,37	0,766
ТМП_2-2	0,32	0,06	-0,52	-0,52	0,00	0,11	0,00	-0,41	-0,41	-0,08	0,26	0,43	0,331
ТМП_2-3	-0,68	-0,04	0,15	1,30	0,44	0,05	0,00	0,00	-0,28	0,18	-0,32	0,15	0,480
ТМП_3-1	-0,04	0,44	0,00	0,00	0,00	-0,14	16,25	0,00	0,00	-0,12	0,00	5,90	4,840
ТМП_3-2	0,08	-0,08	-0,10	0,20	0,13	0,00	0,00	0,13	0,13	-0,04	0,06	-0,10	0,101
ТМП_3-3	-0,12	0,03	0,06	0,06	0,00	0,06	0,00	0,33	0,33	0,22	-0,38	0,00	0,191
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
ТМП_78-1	0,13	-0,02	0,08	-0,19	0,01	-0,01	0,35	0,01	0,18	-0,06	0,11	-0,19	0,152
ТМП_78-2	-0,23	-0,04	0,38	0,38	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,06	-0,19	1,76	0,529
ТМП_78-3	-0,52	0,20	0,00	0,73	1,16	-0,14	0,00	1,16	0,08	0,33	-0,49	0,00	0,553
ТМП_79-1	0,20	-0,08	-0,14	0,01	0,08	0,01	0,44	-0,28	0,26	-0,23	0,35	0,15	0,225
ТМП_79-2	-0,52	0,20	0,73	-0,14	0,00	0,01	0,00	1,16	0,00	0,66	0,00	-0,14	0,460
ТМП_79-3	-0,23	0,15	0,00	0,38	2,45	-0,08	0,00	0,00	0,73	0,06	-0,19	0,00	0,733
Степень редукции класса	0,439	0,249	0,729	0,732	1,544	0,117	4,159	0,765	0,808	0,252	0,422	1,031	

Рис. 5 Системно-когнитивные модели INF 4 и INF 5 (матрицы $\mathbf{I}_{[237,12]}$)

Описательные шкалы и их градации	Классы и их градации												Значимость признака
	Перигей > 180 км	Перигей < 60 км	Перигей от 120 до 180 км	Перигей от 60 до 120 км	Апогей > 180 км	Апогей < 60 км	Апогей от 120 до 180 км	Апогей от 60 до 120 км	Наклонение > 12 мин	Наклонение < 4 мин	Наклонение от 4 до 8 мин	Наклонение от 8 до 12 мин	
ТМП_1-1	-0,03	-0,02	0,46	-0,11	-0,27	0,05	0,00	-0,31	0,03	0,00	0,01	-0,09	0,190
ТМП_1-2	-0,08	0,03	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,17	0,01	-0,05	0,17	0,00	0,080
ТМП_1-3	0,15	-0,03	0,00	0,07	0,28	-0,05	0,97	0,21	0,04	0,07	-0,30	0,37	0,310
ТМП_2-1	0,02	-0,05	0,11	0,09	0,30	-0,07	0,99	0,56	0,40	0,02	-0,19	-0,17	0,344
ТМП_2-2	0,18	0,04	-0,31	-0,31	0,00	0,06	0,00	-0,25	-0,25	-0,05	0,16	0,25	0,195
ТМП_2-3	-0,16	-0,01	0,04	0,30	0,13	0,01	0,00	0,00	-0,07	0,04	-0,08	0,04	0,114
ТМП_3-1	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	-0,01	1,35	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,47	0,400
ТМП_3-2	0,07	-0,07	-0,09	0,15	0,19	0,00	0,00	0,08	0,08	-0,03	0,06	-0,09	0,093
ТМП_3-3	-0,03	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02	0,00	0,07	0,07	0,06	-0,10	0,00	0,047
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
ТМП_78-1	0,12	-0,01	0,08	-0,22	0,09	-0,01	0,41	-0,02	0,15	-0,06	0,13	-0,19	0,167
ТМП_78-2	-0,05	-0,01	0,08	0,07	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,04	0,35	0,105
ТМП_78-3	-0,08	0,03	0,00	0,11	0,21	-0,02	0,00	0,17	0,01	0,05	-0,08	0,00	0,091
ТМП_79-1	0,18	-0,07	-0,13	-0,02	0,15	0,00	0,47	-0,29	0,21	-0,21	0,35	0,14	0,227
ТМП_79-2	-0,17	0,07	0,23	-0,05	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	0,21	0,00	-0,04	0,144
ТМП_79-3	-0,02	0,02	0,00	0,03	0,27	-0,01	0,00	0,00	0,07	0,01	-0,02	0,00	0,080
Степень редукции класса	0,103	0,068	0,186	0,144	0,259	0,024	0,417	0,187	0,154	0,060	0,113	0,203	

Описательные шкалы и их градации	Классы и их градации												Значимость признака
	Перигей > 180 км	Перигей < 60 км	Перигей от 120 до 180 км	Перигей от 60 до 120 км	Апогей > 180 км	Апогей < 60 км	Апогей от 120 до 180 км	Апогей от 60 до 120 км	Наклонение > 12 мин	Наклонение < 4 мин	Наклонение от 4 до 8 мин	Наклонение от 8 до 12 мин	
ТМП_1-1	-1,93	-1,93	33,62	-6,38	-21,38	3,62	0,00	-21,38	3,62	-0,22	0,68	-6,38	13,925
ТМП_1-2	-6,04	2,29	0,00	8,41	0,00	0,07	0,00	13,41	0,91	-3,90	11,94	0,00	5,951
ТМП_1-3	11,11	-2,78	0,00	6,67	16,67	-3,33	66,67	16,67	4,17	5,13	-21,57	26,67	21,495
ТМП_2-1	1,45	-4,11	8,12	8,12	18,12	-5,22	68,12	43,12	30,62	1,45	-14,24	-11,88	24,437
ТМП_2-2	13,53	2,42	-22,03	-22,03	0,00	4,64	0,00	-17,03	-17,03	-3,57	10,91	17,97	13,912
ТМП_2-3	-11,84	-0,72	2,61	22,61	7,61	0,94	0,00	0,00	-4,89	3,12	-5,63	2,61	8,350
ТМП_3-1	-0,24	2,54	0,00	0,00	0,00	-0,80	94,20	0,00	0,00	-0,67	0,00	34,20	28,058
ТМП_3-2	5,56	-5,56	-6,67	13,33	8,33	0,00	0,00	8,33	8,33	-2,56	3,92	-6,67	6,747
ТМП_3-3	-2,17	0,60	1,16	1,16	0,00	1,16	0,00	6,16	6,16	4,24	-7,08	0,00	3,596
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
ТМП_78-1	9,42	-1,69	6,09	-13,91	1,09	-0,58	26,09	1,09	13,59	-4,68	8,44	-13,91	11,268
ТМП_78-2	-3,38	-0,60	5,51	5,51	0,00	2,17	0,00	0,00	0,00	0,89	-2,73	25,51	7,663
ТМП_78-3	-6,04	2,29	0,00	8,41	13,41	-1,59	0,00	13,41	0,91	3,79	-5,71	0,00	6,416
ТМП_79-1	13,77	-5,68	-9,57	0,43	5,43	0,43	30,43	-19,57	17,93	-15,72	24,55	10,43	15,665
ТМП_79-2	-12,1	4,59	16,81	-3,19	0,00	0,14	0,00	26,81	0,00	15,27	0,00	-3,19	10,668
ТМП_79-3	-1,69	1,09	0,00	2,75	17,75	-0,58	0,00	0,00	5,25	0,45	-1,36	0,00	5,310
Степень редукции класса	7,532	4,935	13,485	10,71	18,14	1,75	28,75	14,02	11,49	4,374	8,135	14,741	

Рис. 6 Системно-когнитивные модели INF 6 и INF 7 (матрицы $\mathbf{I}_{[237,12]}$)

Заключение

По сути, в представленной работе описан процесс выполнения 3-х первых этапов автоматизированного системно-когнитивного анализа, а именно:

1) проведена когнитивно-целевая структуризация предметной области;

2) формализована предметная область (сконструированы классификационные и описательные шкалы и их градации, подготовлена обучающая выборка);

3) синтезированы статистические и системно-когнитивные модели РБ, как объекта анализа.

На первом этапе было определено, что в качестве факторов, характеризующих объект анализа, будут использоваться ТМП, а в качестве результата совместного действия этих факторов – отклонения от целевых параметров орбиты в точке выведения.

В рамках второго этапа с применением предложенных классификационных и описательных шкал и их градаций исходные данные были закодированы, т.е. была подготовлена обучающая выборка.

И, наконец, на третьем этапе проведен синтез 3-х статистических и 7 системно-когнитивных моделей в виде матриц абсолютных частот, условных и безусловных вероятностей (процентных распределений) и матриц информативностей (знаний).

В качестве предмета для дальнейшего рассмотрения будут выбраны последующие этапы АСК-анализа:

4) оценка достоверности (верификация) синтезированных моделей;

5) повышение достоверности моделей, в том числе их адаптация и пересинтез;

6) решение задач идентификации, прогнозирования и поддержки принятия решений;

7) исследование анализируемого объекта путем исследования его моделей (кластерно-конструктивный анализ классов и признаков; содержательное сравнение классов и признаков; изучение системы детерминации состояний объекта и т.д.).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Список источников

1. Дмитриев А.К., Гальцев С.В. Синтез оптимальной программы диагностирования по критерию максимума достоверности // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 1991. Т. 34. № 9. С. 3–12.
2. Копкин Е.В., Мышко В.В. Алгоритм построения оптимальной по достоверности гибкой программы анализа технического состояния объекта на основе принципа максимума // Авиакосмическое приборостроение. 2024. № 3. С. 29–43.
3. Дмитриев А.К. Синтез гибкой программы диагностирования методом ветвей и границ // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 1989. Т. 32. № 11. С. 29-34.
4. Дмитриев А.К., Мышко В.В. Синтез гибкой программы контроля технического состояния объекта по информационному показателю // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 1998. Т. 41. № 5. С. 36–46.
5. Копкин Е.В., Кобзарев И.М., Зверева Е.Е. Квазиоптимальный алгоритм построения гибкой программы анализа технического состояния объекта // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т.9.№3. С.4–12.
6. Копкин Е.В., Попов Д.В., Мышко В.В. Квазиоптимальный алгоритм выбора многозначных диагностических признаков на основе учета ценности информации, получаемой в процессе анализа технического состояния объекта // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2021. № 2. С. 31–42.
7. Дмитриев А.К. Принципы алгебраического агрегирования в задачах диагностирования / А.К. Дмитриев // Изв. вузов. Приборостроение. – 1997. – Т. 40, № 8. – С. 5-13.
8. Шмелев В.В. Систематизация требований к разработке перспективных аппаратно-программных комплексов обработки телеметрической информации

ракетно-космической техники // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – Выпуск 646. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2015. – С. 38-46.

9. 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.

10. Мальцев В.Б. Анализ состояния технических систем. – МО РФ, 1992.

11. 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.

12. Шмелев В.В. Решение задачи оптимизации на сетевой модели технологического процесса / В.В. Шмелев // Труды МАИ. – 2016. – № 88. – С.12.

13. Баркалов А.Ю. Решение задачи распределения ресурсов дискретного типа методами линейного программирования // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2020. – Т. 20. – № 2. – С. 26-35.

14. Шиндина Е.А, Применение метода ветвей и границ для решения задачи целочисленного линейного программирования // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2016. – № 3. – С. 319-321.

15. Назаров А.В., Козырев Г.И., Шитов И.В. Современная телеметрия в теории и на практике – СПб.: Наука и техника, 2007. 627с. Мальцев В.Б. Анализ состояния технических систем. – МО РФ, 1992.

References

1. Dmitriev A.K., Galtsev S.V. Sintez optimal'noy programmy diagnostirovaniya po kriteriyu maksimuma dostovernosti [Synthesis of an optimal diagnostic program based on the maximum reliability criterion] // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie [News of higher educational institutions. Instrumentation]. – 1991. – vol. 34. – No. 9. – P. 3-12.

2. Kopkin E.V., Myshko V.V. Algoritm postroyeniya optimal'noy po

dostovernosti gibkoy programmy analiza tekhnicheskogo sostoyaniya ob"yekta na osnove printsipa maksimuma [An algorithm for constructing an optimal flexible reliability program for analyzing the technical state of an object based on the maximum principle] // Aviakosmicheskoe priborostroenie [Aerospace instrumentation]. – 2024. – No. 3. – P. 29-43.

3. Dmitriev A.K. Sintez gibkoy programmy diagnostirovaniya metodom vetvey i granits [Synthesis of a flexible diagnostic program using the branch and bound method] // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie [News of higher educational institutions. Instrumentation]. – 1989. – vol. 32. – No. 11. – P. 29-34.

4. Dmitriev A.K., Myshko V.V. Sintez gibkoy programmy kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya ob"yekta po informatsionnomu pokazatelyu [Synthesis of a flexible program for monitoring the technical condition of an object based on an information indicator] // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie [News of higher educational institutions. Instrumentation]. – 1998. – vol. 41. – No. 5. – P. 36-46.

5. Kopkin E.V., Kobzarev I.M., Zvereva E.E. Kvazioptimal'nyy algoritm postroyeniya gibkoy programmy analiza tekhnicheskogo sostoyaniya ob"yekta [Quasi-optimal algorithm for constructing a flexible analisis program of an object technical state] // Naukoyemkiye tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh Zemli [H&ES Research] – 2017. – vol. 9. – No. 3. – P. 4–12.

6. Kopkin E.V., Popov D.V., Myshko V.V. Kvazioptimal'nyy algoritm vybora mnogoznachnykh diagnosticheskikh priznakov na osnove ucheta tsennosti informatsii, poluchayemoy v protsesse analiza tekhnicheskogo sostoyaniya ob"yekta [Quasioptimal algorithm for selecting multi-valued diagnostic features based on taking into account the value of information obtained in the process of analyzing the technical condition of an object] // Izvestiya SPbGETU «LETI» [LETI Transactions on Electrical Engeneering & Computer Sceence] – 2021. – No. 2. – P. 31–42.

7. Dmitriev A.K. Principles of algebraic aggregation in diagnostic problems / A.K. Dmitriev // News of universities. Instrument-making. – 1997. – Vol. 40, No. 8. – Pp. 5-13.

8. Shmelev V.V. Systematization of requirements for the development of promising hardware and software systems for processing telemetry information of rocket and space technology // Proceedings of the A.F. Mozhaisky Military Space

Academy. - Issue 646. - St. Petersburg: A.F. Mozhaisky Military Space Academy, 2015. - Pp. 38-46.

9. Shmelev V.V., Tkachenko V.V. Methodology for Assessing the Significance of Telemetered Parameters for Identifying Observed Objects – Proceedings of the Second Scientific and Practical Conference of the Ministry of Defense of the Russian Federation – Military Academy of the General Staff. Moscow. 2011, pp. 152-161. – Mirny: 1st State Examination Committee of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2016. pp. 239-243.

10. Mal'tsev VB Analysis of the State of Technical Systems. – Ministry of Defense of the Russian Federation, 1992.

11. Jucheng Xu, Kanglin Ku, Meng Yuan. Feature selection using information theory and an algebraic approach in a neighborhood decision making system // Entropy – 2020. – No. 23, Pp. 204-213.

12. Shmelev V.V. Solution of the Optimization Problem on the Network Model of the Technological Process / V.V. Shmelev // Proceedings of MAI. - 2016. - No. 88. - P. 12.

13. Barkalov, A. Yu. Solution of the problem of allocation of discrete types of resources by methods of linear programming // Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technologies, control, radio electronics. - 2020. - Vol. 20. - No. 2. - Pp. 26-35.

14. Shindina E.A. Application of the branch and bound method for solving an integer linear programming problem // Scientific progress – creativity of the young. – 2016. – No. 3. – P. 319-321.

15. Nazarov AV, Kozyrev GI, Shitov IV Modern Telemetry in Theory and Practice – St. Petersburg: Science and Technology, 2007. 627 p. Mal'tsev VB Analysis of the State of Technical Systems. – Ministry of Defense of the Russian Federation, 1992.

Информация об авторах

Михаил Павлович Бирюков, начальник управления, Главный испытательный космический центр имени Г.С.Титова, г. Краснознаменск, Россия; e-mail: birykov2005@yandex.ru

Олег Анатольевич Плахин, адъюнкт кафедры технологий и средств автоматизации обработки и анализа информации космических средств, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия; e-mail: olegplakhin9652@mail.ru

Евгений Вениаминович Копкин, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий и средств автоматизации обработки и анализа информации космических средств, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия.

Information about the authors

Mikhail P. Biryukov, Head of Department, G.S. Titov Main Test and Space Systems Control Centre, Krasnoznamensk, Russia; e-mail: birykov2005@yandex.ru

Oleg A. Plakhin, Adjunct Assistant, Department of Technologies and Automation of Spacecraft Information Processing and Analysis, Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg, Russia; e-mail: olegplakhin9652@mail.ru

Evgeny V. Kopkin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Technologies and Automation of Information Processing and Analysis for Space Systems, Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg, Russia.

Получено 26 ноября 2025 ● Принято к публикации 24 декабря 2025 ● Опубликовано 30 декабря 2025
Received 26 November 2025 ● Accepted 24 December 2025 ● Published 30 December 2025