

# Когнитивно-интегрированная аналитическая платформа адаптивно-вариабельного проактивного управления синергетическими ресурсами бортовых систем автоматических космических аппаратов

В. С. Ковтун

Ракетно-космическая корпорация «Энергия»  
имени С.П. Королёва (РКК «Энергия»)  
vladimir.s.kovtun@rsce.ru

Б. В. Соколов

Санкт-Петербургский федеральный исследовательский  
центр Российской академии наук;  
Санкт-Петербургский институт информатики  
и автоматизации Российской академии наук  
sokolov\_boris@inbox.ru

**Аннотация.** В докладе описана новая методология и технология проектирования и использования 6 базовых подсистем, вошедших в состав созданной когнитивно-синергетической аналитической платформы. В состав этих подсистем вошли: подсистемы декомпозиции и стратификации процесса управления полётом автоматическими космическими аппаратами (АКА); подсистемы построения когнитивной агрегативно-поточковой метамодели процесса управления полётом АКА; подсистемы когнитивно-синергетических наблюдений и анализа процесса управления полётом АКА; подсистемы адаптивного вариабельно-синергетического планирования проактивного управления полётом АКА; подсистемы ситуационной адаптации управления полётом АКА; подсистемы когнитивно-графического визуального представления результатов моделирования процессов управления полётом АКА.

**Ключевые слова:** когнитивно-синергетическая аналитическая платформа; автоматические космические аппараты

## I. ВВЕДЕНИЕ

Система адаптивно-вариабельного проактивного управления синергетическими ресурсами, направленная на решение задач по 4-м фундаментальным проблемам – моделирования – анализа – наблюдения – выбора варианта, лежащих в основе системно-кибернетических исследований [1], построена по технологии следования, применяемой при разработке информационно-аналитических платформ проактивного управления жизненным циклом космических средств [2]:

Данные → Информация → Знания → Решение → Действие.

---

Результаты исследований, представленные в данной публикации, были выполнены при частичной финансовой поддержке государственной темы 0073–2019–0004.

Архитектура построения системы базируется на подсистемах (таблица 1).

## II. ПОДСИСТЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ

### A. Подсистема декомпозиции и стратификации процесса управления полётом АКА

Задача: формирование электронной базы данных из множеств значений измеряемых и вычисляемых параметров физических процессов в функциональных объектах\* для оценивания их технического состояния.

Методы решения задачи:

- Создание образа АКА логико-лингвистическими моделями функциональных объектов с применением схемы деления, 4-х уровней, где на верхнем уровне находится АКА, ниже располагаются соответственно системы, элементы систем и внутриэлементные материальные устройства.
- Построение реляционной базы данных простых процессов, представляемых одной концептуальной, материальной и/или математической моделью, происходящих на уровне АКА (базовых процессов (БП) (1-й уровень); процессов, происходящих на системном (2-й уровень), элементном (3-й уровень) и внутриэлементном (4-й уровень) уровнях.
- Формирование информационной базы данных из множеств измеряемых и вычисляемых параметров простых процессов, определяющих техническое состояние ФО.

\* Функциональный объект (ФО) – модельный образ материального объекта (АКА, системы, элемента системы, внутриэлементного устройства), которому приписывается некоторая ролевая сущность – функция.

Подсистема декомпозиции и стратификации	Подсистема построения когнитивной агрегативно-поточковой модели	Подсистема когнитивно-синергетических наблюдений и анализа	Подсистема адаптивного вариабельно-синергетического планирования КА	Подсистема ситуационной адаптации управления полетом АКА	Подсистема когнитивно-графического визуального представления результатов
<i>Формирование электронной базы данных</i>	<i>Формирование электронной базы знаний</i>	<i>Оценивание технического состояния ФО при прямых и синергетических наблюдениях</i>	<i>Выбор ситуационно-адаптированного варианта управления полетом АКА</i>	<i>Обеспечение формирования выбранного варианта коррекцией процессов на борту</i>	<i>Интерактивная и пространственная визуализация отчетности</i>
<p>Отображение образа АКА логико-лингвистическими моделями ФО по схеме деления состоящей из 4-х уровней описания АКА, систем, элементов систем, внутриэлементных устройств.</p> <p>Построение реляционной базы данных процесса управления полетов АКА иерархической организации 4-х уровней с доменами простых процессов, представляемых одной концептуальной, материальной и/или математической моделью.</p> <p>Формирование информационной базы данных из множеств измеряемых и вычисляемых параметров простых процессов, определяющих техническое состояние ФО.</p>	<p>Формирование иерархической когнитивной карты в виде множеств ориентированных функциональных графов.</p> <p>Построение справочников-классификаторов иерархических отношений между УВ и ВВ.</p> <p>Моделирование процесса управления полетом АКА в виде «динамической когнитивной карты» при отображении процессов через матрицы инцидентности графов.</p>	<p>Агрегирование первичных простых процессов с целью получения более сложных процессов, обобщающих свойства исследуемых ФО в кластерных объединениях.</p> <p>Построение метрических и топологических пространств для множеств параметров технического состояния ФО при непосредственных и синергетических наблюдениях за процессами.</p> <p>Проведение полимодельного исследования процессов в агрегатах с переходом от предметной формализованной метамодели к следующим этапам моделирования – формально-математическому и материально-функциональному моделированию.</p>	<p>Агрегирование на определенных n-х интервалах вариантов процессов управления полетными операциями АКА.</p> <p>Исследования вариантов агрегатов сложных процессов аналитическими моделями целенаправленных динамических систем.</p> <p>Проведение дискретной динамической оптимизации вариантов выполнения полетных операций АКА по расходу бортовых ресурсов.</p>	<p>Опознация anomального процесса в ФО на основе сличения и идентификации и парирования до наступления критической фазы.</p> <p>Уменьшение интенсивности расхода ресурсов ФО через обеспечения оптимальных условий эксплуатации и проведение выравнивания ресурсного обеспечения ФО за счет перераспределения.</p> <p>Образно-символическое управление ресурсами бортовых систем в условиях anomальных полетных ситуаций на основе информационных ситуаций на основе информационных процессов.</p> <p>Использование принципа синергетически-вариабельного управления.</p> <p>Использование постановормальных безопасных процессов для обеспечения решения новых функциональных задач.</p>	<p>Визуализация результатов моделирования агрегатов процессов «категорией кода» в виде диаграмм Эйлера-Венна.</p> <p>Построение интерактивного электронного детального плана в динамике реализации полетных операций.</p> <p>Построение иерархии форматов поагрегатного контроля технического состояния ФО.</p>

**В. Подсистема построения когнитивной агрегативно-поточковой метамодели процесса управления полетом АКА**

Задача: Формирование электронной базы знаний о взаимовлиянии процессов с учётом синергетических

причинно-следственных информационных, энергетических и материальных связей между отдельными ФО.

Методы решения задачи:

- Формирование иерархической когнитивной карты в виде множеств ориентированных

функциональных графов, распределённых по уровням страт, в каждом из которых установлены материальные, энергетические и информационные связи между процессами во множествах вершин через дуги графа в физической интерпретации бинарных отношений, построенных на декартовом произведении множеств управляющих (УВ) и возмущающих воздействий (ВВ).

- Построение справочников-классификаторов парных отношений между УВ и ВВ, с формированием множеств входных воздействий на процессы через бинаризацию парных отношений на дугах функциональных графов.
- Создание модели процесса управления полётом АКА в виде «динамической когнитивной карты», отображением процессов матрицами инцидентности функциональных графов с использованием частного случая динамической системы – конечного автомата.

#### *С. Подсистема когнитивно-синергетических наблюдений и анализа процесса управления полётом АКА*

Задача: Оценивание технического состояния ФО при прямых и синергетических наблюдениях по измеряемым и вычисляемым параметрам процессов внутри ФО, отражающим физические энергетические воздействия и отображающим информационные взаимодействия со смежными ФО.

Методы решения задачи:

- Агрегирование первичных простых процессов с целью получения более сложных процессов, объединяющих свойства исследуемых ФО; агрегирование управления производится снизу-вверх по иерархии декомпозиции сложного процесса с выполнением операции покрытия агрегатов семейством множеств параметров простых процессов и определением кластерных объединений.
- Построение метрических и топологических пространств множеств параметров технического состояния ФО при непосредственных и синергетических наблюдениях за процессами.
- Проведение исследования процессов в агрегатах с переходом от предметной формализованной метамоделей к следующим этапам моделирования – формально-математическому и материально-функциональному моделированию, с целью получения информации о потенциально существующих возможностях управления состоянием аппаратов в различных условиях реализации номинальных и аномальных процессов.

#### *Д. Подсистема адаптивного вариационно-синергетического планирования проактивного управления полётом АКА*

Задача: Выбор из множества вариантов управления полётом АКА одного, ситуационно адаптированного к

условиям самоорганизации и саморазвития процессов на борту, обеспечивающего эффективное использование бортовых ресурсов АКА за счёт равномерности и минимизации интенсивности их расхода, а также получение дополнительных синергетических ресурсов при номинальных и аномальных условиях работы ФО в соответствии с логико-вербальной постановкой задачи.

Методы решения задачи:

- Агрегирование на определённых  $n$ -х интервалах вариантов построения процессов управления полётными операциями АКА из множеств простых процессов сверху вниз по иерархии декомпозиции сложного процесса для последующего теоретического и практического исследования каждого варианта на предмет расхода бортовых ресурсов.
- Исследования агрегатов сложных процессов с помощью аналитических моделей целенаправленных динамических систем с переходом от формально-аналитических моделей к алгоритмическим и материально-функциональным моделям с непосредственным оцениванием технического состояния ФО.
- Проведение дискретной динамической оптимизации вариантов выполнения полётных операций АКА по расходу бортовых ресурсов с выбором варианта проактивного управления на определённых  $n$ -х интервалах по критерию максимизации располагаемого полётного времени.

#### *Е. Подсистема ситуационной адаптации управления полётом АКА*

Задача: Обеспечения формирования выбранного варианта развития «ситуация-решение» для проактивного управления полётом АКА коррекцией процессов на борту через изменение конфигурации и проведение реконфигурации бортовых систем.

Методы решения задачи:

- Опознавание аномального процесса в ФО на основе сличения, идентификации и парирования до наступления критической фазы.
- Уменьшение интенсивности расхода ресурсов ФО за счёт обеспечения оптимальных условий эксплуатации и проведения выравнивания расходования ресурсного обеспечения ФО путём перераспределения нагрузки между разными видами ресурсов.
- Образно-символическое управление ресурсами бортовых систем в условиях аномальных полётных ситуаций на основе информационных моделей утраченных процессов, оставшихся в моделях кластеров в виде взаимосвязей информационных моделей процессов отказавшего ФО с информационными моделями процессов в работающих ФО.

- Использование принципа синергетически-вариабельного управления – одновременного управления несколькими ФО одной подсистемой управления.
- Использование постанормальных безопасных процессов для обеспечения решения новых функциональных задач.

*F. Подсистема когнитивно-графического визуального представления результатов моделирования процессов управления полётом АКА*

Задача: Интерактивная и пространственная визуализация отчётности по результатам моделирования и проактивного управления полётом АКА.

Методы решения задачи:

- Визуализация результатов моделирования агрегатов процессов "категорией кода" в виде диаграмм Эйлера-Венна с выделением кластерных образований через окрашивание отдельных элементов и площадей, соразмерных коэффициентам функциональной пропорциональности процессов в ФО.
- Построение интерактивного электронного детального плана полётных операций с отображением расчётного и реального расхода бортовых ресурсов, прохождением управляющих команд, реакций ФО и других атрибутов программы полёта.

- Построение иерархии форматов поагрегатного контроля технического состояния ФО с инфографическим мнемосхемным и табличным представлением при окрашивании отдельных параметров по результатам наблюдения.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В докладе описывается состав и структура разработанной и частично реализованной на практике когнитивно-интегрированной аналитической платформы адаптивно-вариабельного проактивного управления синергетическими ресурсами бортовых систем автоматических космических аппаратов (АКА). Главное достоинство разработанной платформы состоит в том, что в ее основу положены фундаментальные и прикладные научные результаты, полученные в современной системологии, теории управления и теории управления. Данные результаты применительно к космической сфере позволили с единых методологических, методических и технологических позиций подойти ко всему комплексу задач мониторинга, прогнозирования, планирования и оперативного управления АКА.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Калинин В.Н. Морфологический анализ проблематики теории системных исследований // Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 1(24). С. 89–107.
- [2] Искусственный интеллект в космической технике. Состояние. Перспективы применения. / Под редакцией докт. техн. наук А.Н. Балухто. М. Радиотехника. 2021. С. 436.