



Информационная система поддержки предварительного проектирования малых космических аппаратов

© 2023, И.С. Ткаченко ✉, С.Л. Сафронов, М.Д. Коровин, М.А. Иванушкин, А.В. Крестина

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, Самара, Россия

Аннотация

С развитием информационных технологий значительно выросла роль систем поддержки процесса проектирования технических изделий. Возможности систем управления знаниями позволяют обеспечивать общность терминологии, определений объектов и отношений между ними. Использование формальной семантики необходимо для поддержки многократного использования знаний. В статье рассматриваются пути повышения эффективности процесса проектирования малых космических аппаратов и создания средств для обмена знаниями о функциональных характеристиках типовых подсистем таких аппаратов. Рассматривается создание информационной системы поддержки предварительного проектирования малых космических аппаратов, которая содержит информацию, связанную с отношениями между функциями и компонентами подсистем и их характеристиками. Созданная система позволит упростить синтез различных конфигураций изделий. При разработке информационной системы использовались современные подходы в области структурных и функциональных классификаций систем малых космических аппаратов, существующие в отрасли таксономии, подходы к созданию структур баз данных. База данных информационной системы содержит набор характеристик широкой номенклатуры оборудования малых космических аппаратов. В качестве примера применения информационной системы поддержки проектирования малых космических аппаратов рассмотрен процесс выбора характеристик системы электропитания для перспективного малого космического аппарата, предназначенного для обеспечения связи между подвижными наземными терминалами

Ключевые слова: информационная система, проектирование, малый космический аппарат, космическая платформа, база данных, бортовая система, пользовательский интерфейс.

Цитирование: Ткаченко И.С., Сафронов С.Л., Коровин М.Д., Иванушкин М.А., Крестина А.В. Информационная система поддержки предварительного проектирования малых космических аппаратов // Онтология проектирования. 2023. Т.13, №1(47). С.75-89. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-1-75-89.

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке Программы развития Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва на 2021-2030 годы в рамках Программы стратегического академического лидерства “Приоритет 2030”, соглашение ПР-НУ/2.1-17-2022 от 11.07.2022 г.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Исследования Земли из космоса с применением космических аппаратов (КА) проводятся уже более 60 лет, предоставляя людям всё большее количество необходимой и полезной информации. Без актуальной и качественной информации о состоянии объектов и явлений, связанных с поверхностью Земли и атмосферой, становится невозможным ведение эффективной деятельности в области метеорологии, экологии, экономики и других областях.

Всё большую популярность при решении актуальных задач приобретает использование малых КА (МКА) и космических группировок на их основе. По сравнению с относительно

большими КА они быстрее проходят стадии жизненного цикла [1], требуют значительно меньших затрат, что достигается информационной поддержкой проектно-конструкторской деятельности, начиная от технических предложений и заканчивая функционированием на орбите. МКА максимально используют коммерчески доступные современные технологии, обеспечивающие требуемую функциональность.

Разработка новых способов и развитие технологий проектирования и конструирования на базе подходов системной инженерии позволит не только решить актуальную проблему создания лёгких, эффективных и надёжных МКА, но и способствует снижению стоимости серийных изделий. За последние десятилетия было проведено много исследований в области повышения эффективности системной инженерии [2]. Системы управления знаниями позволяют упростить представление природы и структуры инженерных систем и их компонентов, помочь различным заинтересованным сторонам лучше понять проблемы, характерные для сложных технических систем и их социотехнического окружения [3].

1 Контекст задачи проектирования

С формальной точки зрения контекст представляет собой определённую систему отсчёта, пространство имён. В более широком значении контекст — среда, в которой существует объект [4]. В большинстве моделей систем в области инженерного проектирования контекст оценивается редко или просто определяется как нечто, окружающее результаты проектной деятельности и придающее им смысл [5]. В настоящее время компании развиваются в условиях жёсткой конкуренции и постоянно меняющейся среды, и организациям приходится непрерывно адаптировать свои структуры, процессы и продукты для достижения успеха. Следовательно, сложность моделей, необходимых для представления систем, растёт, понятие контекста становится решающим.

Известны стандарты и обзоры, посвящённые различным аспектам системной инженерии: задачи и инструменты на основе моделей для сервис-ориентированной системной инженерии [6, 7]; подходы к архитектуре типа «система из систем» [8] и представлению знаний [9, 10], атрибутам качества [11], системной интеграции [12] и разработке требований [13, 14].

По результатам анализа приведённых работ можно заключить, что общие подходы к информационной поддержке проектирования при применении в конкретной области должны быть адаптированы под её специфику. Для этого необходимы разработка как подробных моделей предметной области (ПрО), так и описаний подходов в целом.

Хотя методы системной инженерии и своды лучших практик формализованы и широко представлены в различных монографиях и стандартах, на сегодняшний момент всё ещё не преодолены два существенных вызова: трудности с разработкой систем в рамках бюджета и в срок [15] и значительные потери ресурсов, связанные с исправлением ошибок [16-18].

В [15] выделены причины отсутствия успеха в преодолении этих вызовов, среди которых: ограниченность описаний лучших практик в форме метамоделей, отсутствие общепринятой и согласованной терминологии, неэффективное сотрудничество из-за непонимания и неправильной интерпретации.

В частности, отмечается необходимость гармонизации в интерпретации многочисленных стандартов и различных моделей [19]. Онтологии используются для обеспечения семантической совместимости как между людьми, так и между людьми и компьютерами. В [20] отмечается, что «системная наука и инженерия нуждаются в чётко определённой фундаментальной, универсальной, общей, необходимой и достаточной онтологии, которая бы лежала в основе понятий и терминов, которые она использует, чтобы они были точными и однозначными».

ми». В [21] подчёркивается ключевая роль единой информационной среды в контексте проектирования сложных технических систем.

Целью создания информационной системы (ИС) поддержки предварительного проектирования МКА является формирование единого информационного пространства, которое содержит сведения о работе МКА, его бортовых систем (БС) и об эффективности их совместного функционирования.

Настоящая работа посвящена обеспечению общего *пользовательского* контекста процессов предварительного проектирования МКА при помощи традиционных ИС на основе таксономических моделей Про.

2 Модель Про

МКА разрабатываются в соответствии с техническими заданиями, в которых определены их тактико-технические характеристики. Эти характеристики определяются по результатам проектирования системы, состоящей из наземного и космического компонентов.

Одним из направлений в проектировании, обеспечивающих эффективное решение задач создания МКА в короткие сроки, является использование платформенных принципов. Переход к построению МКА на базе крупных компонентов позволяет создавать семейство МКА, отличающихся по составу целевой аппаратуры, но имеющих общую платформу, включающую в себя набор обеспечивающих систем.

Платформа является базовой частью создаваемого на её основе МКА и представляет собой несущую конструкцию, снабжённую служебными системами и устройствами для функционирования целевой аппаратуры различного назначения, но с близкими эксплуатационными требованиями. Платформа должна состоять из базового и целевого состава обеспечивающих БС. Базовый состав одинаков для всего семейства МКА, целевой формируется на этапе адаптации платформы под конкретную задачу. Создание МКА на базе универсальных платформ широко применяется отечественными и зарубежными проектными организациями. Перечень основных технических требований, которые должны быть учтены при составлении задания на проектирование МКА, включает [22]: назначение; живучесть и стойкость к внешним воздействиям; надёжность; удобство технического обслуживания; транспортабельность; безопасность; технологичность; конструктивные требования; технико-экономические характеристики и др.

На рисунке 1 представлена таксономическая схема подсистем МКА, использованная при создании ИС. На схеме элементы без рамок представляют собой группы конкретных компонентов, информация о которых содержится в базе данных (БД) разработанной ИС. Блоки в рамках представляют абстрактные системы, необходимые для наглядности схемы.

Обеспечивающими системами являются системы, общие для МКА различного назначения: система управления, система ориентации и стабилизации, система электропитания, система обеспечения теплового режима, двигательная установка, ряд механических систем и элементов, таких как средства отделения от ракеты-носителя, антенные устройства, механизмы фиксации и раскрытия подвижных устройств, экранно-вакуумная теплоизоляция (ЭВТИ) и т.д. Солнечная батарея и её конструкция, аккумуляторная батарея, высокоскоростная радиоперелиния, исполнительные органы системы управления движением и др. элементы выбираются в зависимости от характеристик и требований целевой аппаратуры [1].

При выборе параметров для описания каждого из типов подсистем МКА в качестве основы использовался приведённый выше перечень требований из [22]. Информация для БД собиралась из каталогов продукции предприятий, выпускающих оборудование для изделий космической техники [23-27].

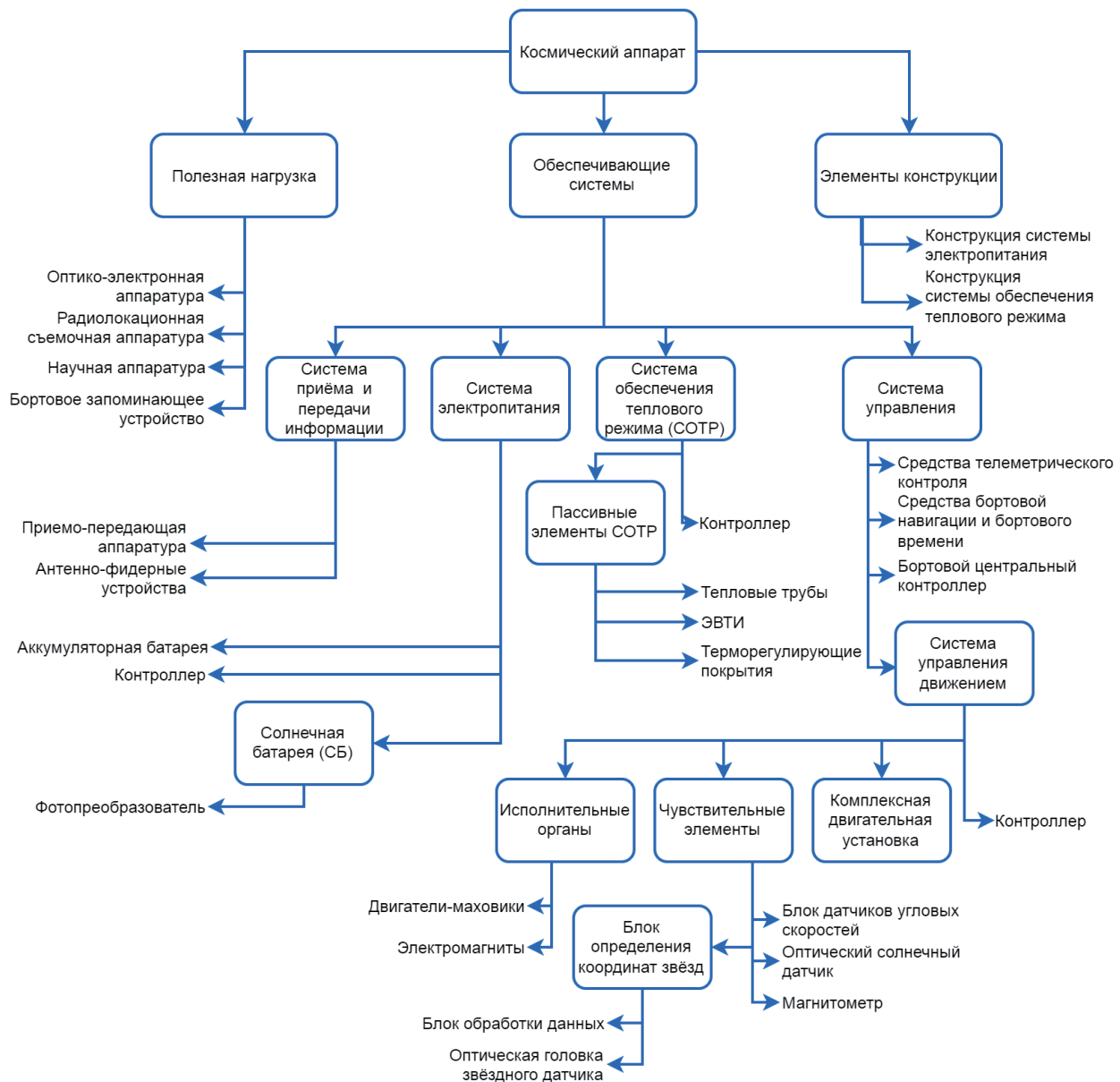


Рисунок 1 – Таксономическая схема подсистем МКА

3 Информационная система

Большинство БД, созданных для обмена проектной информацией и поддержки процесса проектирования, не содержат данные о функциональных характеристиках изделий, их стоимости, совместимости и надёжности, которые играют решающую роль в получении успешного продукта [28].

Этап проектирования характерен тем, что рассматривается множество возможных вариантов изделия. На ранних стадиях важно исключить очевидно неоптимальные варианты и сосредоточить ресурсы разработчиков на тех вариантах, которые могут получить дальнейшее развитие. Время, затраченное на разработку того или иного варианта, является показателем эффективности проектного подразделения и предприятия в целом. Для повышения эффективности проектных работ предприятия повсеместно применяют современные информационные технологии, такие как автоматизированное управление инженерными данными,

управление и работа с большими сборками, параллельное проектирование при реализации комплексных проектов с участием большого количества исполнителей [29]. БД, содержащая информацию о функциональности изделий, может стать важным подспорьем в повышении эффективности проектной деятельности.

В большинстве случаев пользователи не взаимодействуют напрямую с БД и пользуются дополнительным слоем абстракции над БД в виде пользовательского приложения. Такой подход позволяет упростить взаимодействие пользователей с БД, например, за счёт того, что при запросах через клиентский интерфейс от пользователя как правило не требуются навыки применения языка запросов (например, *SQL*) или знания информации о схеме БД. Приложение может представлять пользователю информацию в наглядной форме.

Использование клиент-серверной архитектуры позволяет пользователям ИС взаимодействовать с БД (*Postgres*) без необходимости установки СУБД на локальный компьютер. Кроме того, отделение клиентской части от приложения и БД позволит в будущем реализовать интерфейсы, адаптированные под мобильные устройства.

Клиентский интерфейс приложения представлен на рисунке 2. Условия для поиска интересующих пользователя объектов задаются взаимодействием пользователя с графическими компонентами экрана. Из описания конкретного изделия существует возможность перейти на сайт его производителя.

Каждая страница клиентского интерфейса ИС содержит обязательные элементы: название системы; логотипы организаций, участвующих в разработке; навигационное меню по системам МКА; блок для задания параметров поиска; поле для выдачи результатов поиска.

Блок для задания параметров поиска включает в себя: фильтры поиска в БД; поле поиска по запросу; кнопки для запуска процесса поиска в БД и для очистки заданных фильтров поиска.

БАЗА ДАННЫХ СИСТЕМ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА
СИСТЕМА ЭНЕРГОПИТАНИЯ
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
СИСТЕМА ПРИЕМА И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ
ЦЕЛЕВАЯ АППАРАТУРА
ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ

Система управления движением

☐ Контроллер

☐ Чувствительные элементы

☐ Блок датчиков угловых скоростей
☐ Блок обработки данных звёздного датчика
☐ Оптическая головка звёздного датчика
☐ Оптический солнечный датчик
☐ Магнитометр

☐ Исполнительные органы

☐ Двигатели-манипуляторы
☐ Электромагниты

Производитель

☐ ОАО «Пеленг»
☐ АО «Корпорация «НИИИЗМ»
☐ ООО «НИЛАКТ ДОСААФ»
☐ НПП «АНТАРЕС»
☐ ООО «СПУТНИКС»
☐ ОАО «Рамenskoe ПКБ»
☐ ИКИ РАН
☐ АО НПП «Геофизика-Космос»
☐ ООО «Азмерит»
☐ НПК «Оптолинк»

Поиск

ПРИМЕНИТЬ

ОЧИСТИТЬ

Подсистема	Наименование	Производитель
Блок датчиков угловых скоростей	Датчик угловой скорости (НИЛАКТ)	ООО «НИЛАКТ ДОСААФ»
Блок датчиков угловых скоростей	SX-VMS-03 (Спутникс)	ООО «СПУТНИКС»
Блок датчиков угловых скоростей	SX-WR-03 (Спутникс)	ООО «СПУТНИКС»
Блок датчиков угловых скоростей	Одноосный измеритель угловой скорости (ОИУС)	НПП «АНТАРЕС»
Блок датчиков угловых скоростей	Одноосный волоконно-оптический гироскоп ОИУС200	НПК «Оптолинк»
Блок датчиков угловых скоростей	Одноосный волоконно-оптический гироскоп ОИУС501	НПК «Оптолинк»
Блок датчиков угловых скоростей	Одноосный волоконно-оптический гироскоп ОИУС1000	НПК «Оптолинк»
Блок датчиков угловых скоростей	Одноосный волоконно-оптический гироскоп ОИУС2000	НПК «Оптолинк»
Блок датчиков угловых скоростей	Одноосный волоконно-оптический гироскоп ОИУС5000	НПК «Оптолинк»
Блок датчиков угловых скоростей	Одноосный волоконно-оптический гироскоп ОИУС1001	НПК «Оптолинк»
Блок датчиков угловых скоростей	Прецизионный измеритель угла поворота ВЕ 112 (ФЦПУ)	АО НПП «Геофизика-Космос»
Блок датчиков угловых скоростей	Оптико-электронный датчик угла ОЗДУ-2М	АО НПП «Геофизика-Космос»
Блок датчиков угловых скоростей	Унифицированный ряд приборов БИУС ВОА	НПП «АНТАРЕС»
Блок датчиков угловых скоростей	Унифицированный ряд приборов БИУС ВО	НПП «АНТАРЕС»
Блок обработки данных звёздного датчика	мБОКЗ-2 Блок обработки данных (БОД-2)	ИКИ РАН
Блок обработки данных звёздного датчика	Блок управления и синхронизации	ОАО «Пеленг»
Оптическая головка звёздного датчика	АЗДК-1 (Азмерит)	ООО «Азмерит»
Оптическая головка звёздного датчика	SX-MICROBOKZ-01 (Спутникс)	ООО «СПУТНИКС»
Оптическая головка звёздного датчика	мБОКЗ-2 Оптическая головка (ОГ 32/2000)	ИКИ РАН
Оптическая головка звёздного датчика	Прибор звездной ориентации БОКЗ-М60	ИКИ РАН

© Названный комплекс разработан Самарского университета 2022

Рисунок 2 – Клиентский интерфейс приложения ИС поддержки проектирования МКА

4 База данных

БД обеспечивающих БС и полезных нагрузок МКА различного целевого назначения разработана как часть веб-приложения. Клиентская часть выполнена на *JavaScript* и *HTML5*¹, работает в веб-браузере и взаимодействует с БД через *Django Backend*².

Семантическая структура ПрО описана в разделе 2. В дополнение к схеме ПрО, приведённой на рисунке 1 в БД добавлены описания аппаратных интерфейсов, обеспечивающих работу подсистем в составе МКА. Под аппаратными интерфейсами подразумеваются способы физического соединения элементов МКА, например, шины и разъёмы. Соответствие интерфейсов используется в качестве одного из критериев совместимости компонентов. В случае если отобранные системы не совместимы, пользователь будет об этом уведомлен.

Фрагмент *ER*³-диаграммы разработанной БД ИС поддержки проектирования приведён на рисунке 3.

В таблицах, описывающих аппаратуру и компоненты КА, используются суррогатные первичные ключи. В промежуточных таблицах, отражающих связи вида «многие ко многим», используются составные первичные ключи.

В силу относительно малых размеров некоторых таблиц, промежуточные таблицы универсальных интерфейсов используются для связи всех подсистем, т.е. отдельные промежуточные таблицы «подсистема-интерфейс» не создавались. Вместо этого в промежуточной таблице *interface* введено дополнительное поле *subsystem*, являющееся частью составного ключа и содержащее имя соответствующей таблицы, что позволяет обеспечивать условие уникальности первичного ключа. Подробная информация об интерфейсах содержится в отдельной таблице.

Ввиду относительно малого количества записей в БД, обусловленного спецификой ПрО, при поиске каждая таблица может быть обработана системой управления БД (СУБД) за один проход. В связи с этим индексирование таблиц не проводилось (за исключением индексов, автоматически создаваемых СУБД для первичных ключей), так как в рассматриваемом случае они не способны обеспечить значимый прирост производительности.

При анализе планов выполнения запросов было отмечено, что СУБД выполняет поиск по таблицам за сопоставимое время вне зависимости от использования фильтров по индексированным и неиндексированным полям.

5 Работа с системой

В качестве примера применения ИС поддержки проектирования МКА рассмотрен процесс выбора характеристик системы электропитания (СЭП) для перспективного МКА, предназначенного для обеспечения связи между подвижными наземными терминалами. В первом приближении МКА представляется как совокупность платформы обеспечивающих систем и модуля полезной нагрузки (МПН).

Одним из подходов к предварительному проектированию МКА является метод проектирования с использованием заимствованных элементов.

¹ *HTML5* (англ. *HyperText Markup Language, version 5*) — язык для структурирования и представления содержимого всемирной паутины (англ. *World Wide Web*). *HTML5* предназначен для поддержки мультимедиа-технологий с одновременным сохранением обратной совместимости, удобочитаемости кода для человека и простоты анализа для парсеров.

² *Django* — свободный полнофункциональный фреймворк для создания веб-приложений, написанный на *Python*.

³ *ER* от англ. *Entity-Relationship model*, модель «сущность — связь». В программной инженерии *ER*-модель часто выступает абстрактной моделью ПрО, определяющей структуру данных или информации, которая может быть реализована в БД, обычно реляционной.

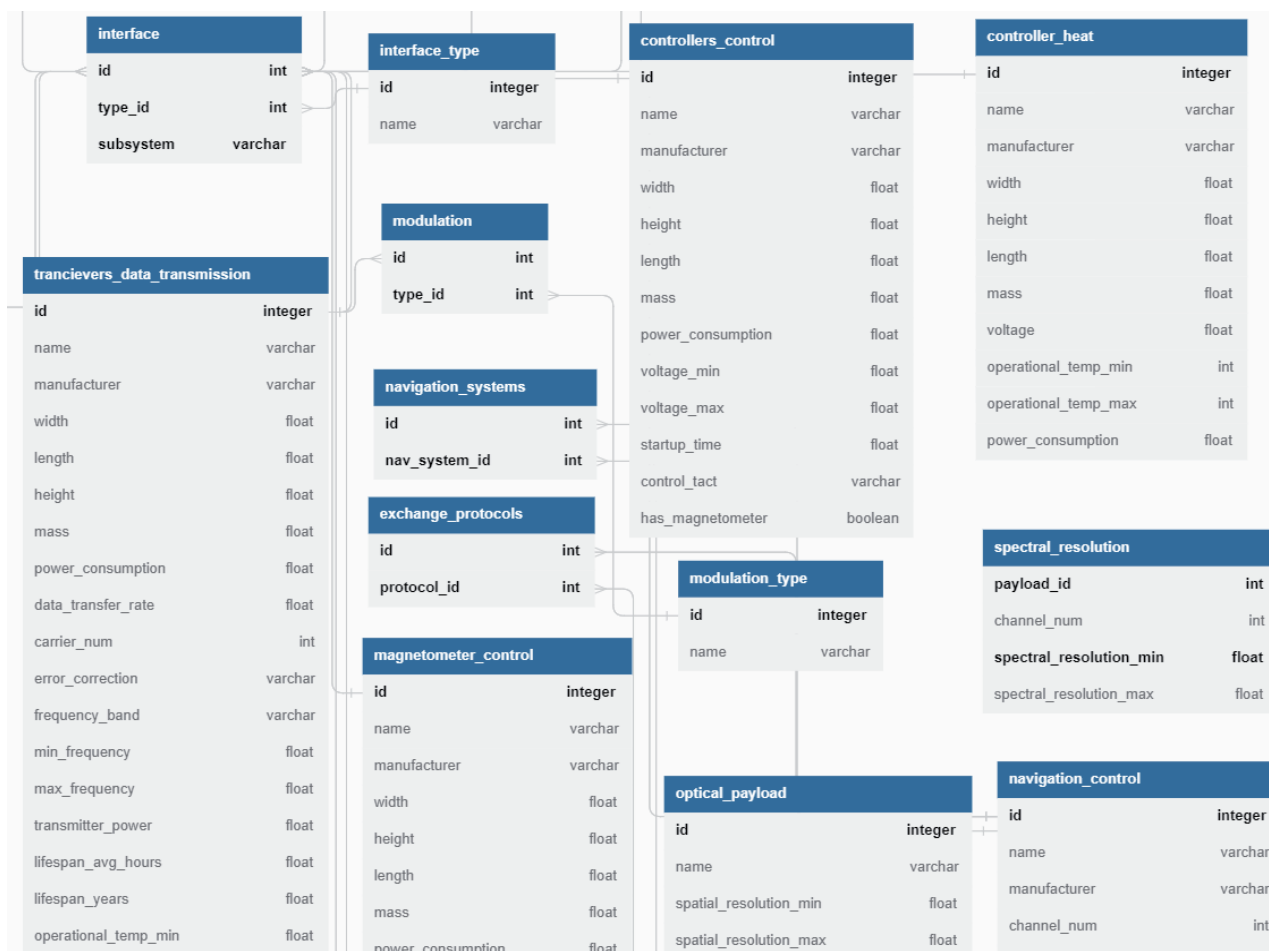


Рисунок 3 – Фрагмент ER-диаграммы БД подсистем МКА

При формировании проектного облика МКА с использованием заимствованных элементов, характерного для МКА на базе платформ, задача определения проектных параметров МКА может быть сведена к поиску множества компонентов подсистем МКА, характеристики которых обеспечивают функционирование МПН.

В общем случае задача проектирования может формулироваться в терминах нелинейного программирования [30, 31]. Необходимо найти вектор проектных переменных X^* , при котором выполняется условие:

$$f(X^*) \leq f(X) \forall X \in \Omega$$

$$\Omega = \{X : g_j(X) \leq 0, j = 1, 2, \dots, m\},$$

где $f(X)$ – целевая функция, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – вектор проектных параметров, Ω – область допустимых значений, определяемая комплексом ограничений – $g_j(X) \leq 0$.

Для определения основных характеристик СЭП в качестве проектных параметров принимаются: масса аккумуляторной батареи (m_{AB}), масса солнечных батарей (m_{CB}), масса контроллера заряда-разряда (m_K).

В качестве критерия оптимальности в настоящей работе используется минимум массы СЭП, обеспечивающей функционирование МПН. Таким образом, целевая функция: $M_{СЭП} = m_{AB} + m_{CB} + m_K \rightarrow \min$.

Условия функционирования МПН определяются из режимов работы, приведённых в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные по электропотреблению МПН

Режимы работы МПН	Длительность на рабочем витке, мин	Электропотребление, Вт		Допустимое время работы в сутки, мин
		при работе	среднесуточное	
1 Режим включения (РВ)	3	450	3,75	12
2 Режим ретрансляции (РР)	13	2090	75,5	52
3 Режим выключения (РВЫК)	3	450	3,75	12
4 Дежурный режим (ДР)	77,7	100	94,7	1364

Согласно исходным данным, в сутки предполагается до четырёх рабочих сеансов с максимальной длительностью сеанса ретрансляции до 13 минут при пролёте региона интереса: два сеанса на двух последовательных восходящих витках и через ~ 12 часов на двух последовательных нисходящих витках. График электропотребления МПН для типовых суток полёта МКА приведён на рисунке 4.

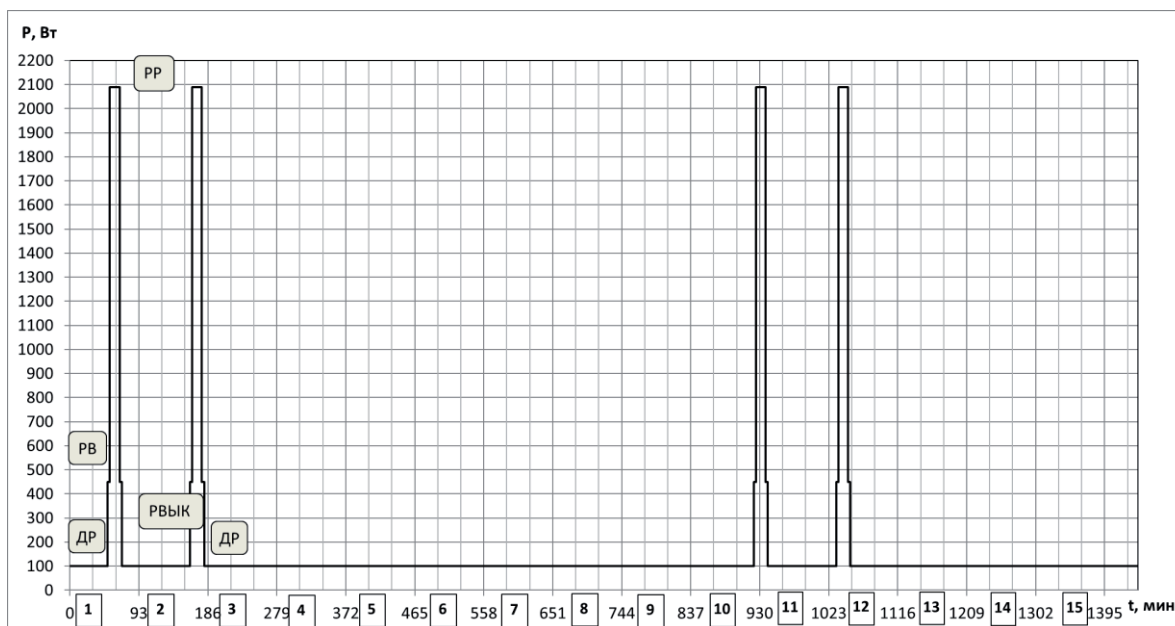


Рисунок 4 – График электропотребления МПН

График электропотребления бортовой аппаратуры МКА и уровня освещённости солнечных панелей приведён на рисунке 5.

В качестве исходных данных, необходимых для определения параметров СЭП используются сводка электропотребления и характеристики компонентов СЭП. Возможности разработанной ИС поддержки проектирования позволяют вместо усреднённых значений использовать характеристики реально существующих изделий, что позволяет снизить время на поиск информации и повысить точность первых проектных приближений.

В таблице 2 приведены исходные данные для определения параметров СЭП, полученных как в результате разработанной циклограммы работы МКА, так и из ИС. В таблице характеристики удельной мощности и деградации фотоэлектрического преобразователя (ФЭП), а также значения коэффициентов полезного действия (КПД) аккумуляторной батареи и разрядного/зарядного устройства соответствуют значениям, хранящимся в разработанной БД ИС поддержки проектирования.

Схема рабочего процесса использования системы представлена на рисунке 6. При работе с ИС пользователь задаёт значения или диапазоны значений интересующих его параметров, используя интерфейс приложения (1). Приложение формирует запрос к БД (2) и представляет полученную информацию пользователю (3).

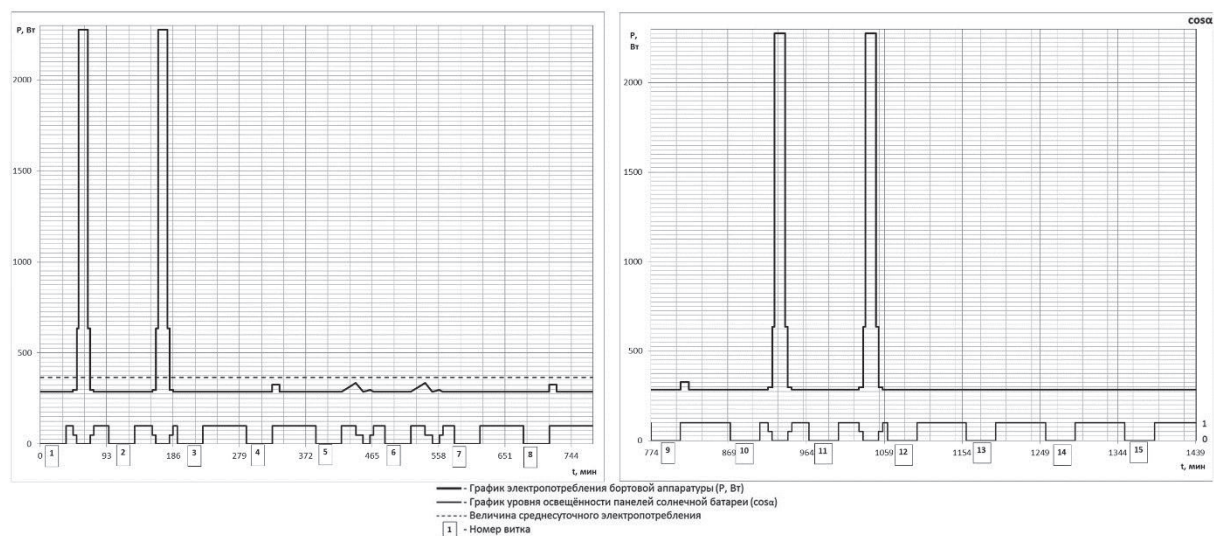


Рисунок 5 – График электропотребления бортовой аппаратуры МКА и уровня освещённости

Таблица 2 – Исходные данные для определения параметров СЭП

Характеристика	Значение
Среднесуточное электропотребление бортовой аппаратуры, Вт	418,7
1 МПН	177,7
2 БС контроля и управления	55
3 Система управления движением	55
4 Система электропитания	20
5 Система обеспечения теплового режима	96
Резерв	15
Среднее напряжение бортовой сети, В	27
Среднесуточный уровень освещённости панелей БС ($\cos \alpha$)	0,51
Удельная мощность ФЭП (арсенид-галлиевые), Вт/м ²	255
Удельная мощность ФЭП (кремний), Вт/м ²	150
Среднее значение КПД аккумуляторной батареи	0,9
Среднее значение КПД разрядного/зарядного устройства	0,95
Коэффициент деградации ФЭП	1,2

Дальнейший расчёт параметров СЭП проводится с учётом данных, приведённых в таблице 2. Пример результатов расчёта требуемых для обеспечения работы МПН параметров СЭП приведён в нижней таблице на рисунке 6. Полученные значения параметров СЭП позволяют определить границы областей, в которых может находиться искомое проектное решение для МКА.

Заключение

В работе описана ИС поддержки проектирования и представлена структура БД обеспечивающих БС и полезных нагрузок МКА. ИС может быть использована для повышения эффективности проектирования МКА на базе платформ.

Набор требований к описанию ПрО разработан на основе существующих таксономий. Элементы БД идентифицируются уникальными кодами для каждого элемента. Конструкторская информация группируется в функциональные блоки. Развитие проекта предполагает работы по дальнейшему наполнению конструктивными решениями всех таблиц БД и расширению возможностей веб-платформы.



Характеристика	Значение
Среднесуточное электропотребление БА, Вт	418,7
Среднее напряжение бортовой сети, В	27
Требуемая мощность ФЭП, Вт	1116,5
Площадь под размещение ФЭП (арсенид-галлиевые), м ²	4,4
Площадь под размещение ФЭП (кремний), м ²	7,4
Ёмкость АБ, А·ч	51,6
Собственное потребление СЭП, Вт	20

Рисунок 6 – Схема работы ИС поддержки проектирования МКА

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Ткаченко И.С.** Анализ ключевых технологий создания многоспутниковых орбитальных группировок малых космических аппаратов // *Онтология проектирования*. 2021. Т.11, №4(42). С.478-499. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-4-478-499.
- [2] **Hallberg N., Jungert E., Pilemalm S.** Ontology for Systems Development // *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*. 2014. P.329-345. DOI:10.1142/S0218194014500132.
- [3] **Mezhuyev V.** Ontology Based Development of Domain Specific Languages for Systems Engineering // 2014 International Conference on Computer and Information Sciences (ICCOINS). Kuala Lumpur, Malaysia, 2015. P.1-6. DOI:10.1109/ICCOINS.2014.6868825.
- [4] The MOKA Consortium, "Managing engineering knowledge: MOKA: methodology for knowledge-based engineering applications", ASME Press, New York, 2001.
- [5] **Gu Q., Lago P.** Exploring service-oriented system engineering challenges: a systematic literature review // *Service Oriented Computing and Applications (SOCA)*. 2009. №3. P.171-188. DOI:10.1007/s11761-009-0046-7.
- [6] ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Система менеджмента качества – Требования.
- [7] **Ma J., Wang G., Jinzhi L., Vangheluwe H., Kiritsis D., Yan Y.** Systematic Literature Review of MBSE Tool-Chains // *Applied Sciences*. 2022. №12. P.3431. DOI:10.3390/app12073431.
- [8] **Klein J.** A systematic review of system-of-systems architecture research // *QoSA 2013 - Proceedings of the 9th International ACM Sigsoft Conference on the Quality of Software Architectures*. 2013. P.13-22. DOI:10.1145/2465478.2465490.
- [9] **Abdalla M., Bellare M., Neven G.** Robust encryption. TCC 2010, LNCS 5978, Springer, 2010. P.480-497.
- [10] **O'Neill A.** Definitional issues in functional encryption. Cryptology ePrint Archive, Report 2010/556, 2010. <http://eprint.iacr.org/2010/556>.
- [11] **Bianchi T., Santos D.S., Felizardo K.R.** Quality Attributes of Systems-of-Systems: A Systematic Literature Review // 2015 IEEE/ACM 3rd International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems. 2015. P.23-30, DOI:10.1109/SESoS.2015.12.
- [12] **Vargas I., Gottardi T., Braga R.** Approaches for integration in system of systems: a systematic review. // In *Proceedings of the 4th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems (SESoS '16)*. Association for Computing Machinery. New York, NY, USA, 2016. P.32–38. DOI:10.1145/2897829.2897835.
- [13] **Vierhauser, M., Rabiser, R., Grünbacher, P.** Requirements monitoring frameworks: a systematic review // *Inf. Softw. Technol.* 2016. №80. P.89-109. DOI:10.1016/j.infsof.2016.08.005.
- [14] **de Lima R.M., de Vargas D., Fontoura L.M.** System of systems requirements: a systematic literature review using snowballing. Knowledge Systems Institute Graduate School. 2017. P.97-100. DOI:10.18293/SEKE2017-114.
- [15] **Lan Yang, Kathryn Cormican, Ming Yu,** Ontology-based systems engineering: A state-of-the-art review, *Computers in Industry*, Volume 111, 2019, P.148-171, DOI:10.1016/j.compind.2019.05.003.
- [16] **Dwivedi Y.K., Ravichandran K., Williams M.D., Miller S., Lal B., Antony G.V., Kartik M.** IS/IT project failures: a review of the extant literature for deriving a taxonomy of failure factors // In: Dwivedi, Y.K., Henriksen, H.Z., Wastell, D., Dé, R. (Eds.), *Gd. Successes Fail. IT. Public Priv. Sect. TDIT 2013*. IFIP Adv. Inf. Commun. Technol.. Springer, Berlin, Heidelberg. P.73–88. DOI:10.1007/978-3-642-38862-0_5.
- [17] **Hallberg N., Pilemalm S., Timpka T.** Quality driven requirements engineering for development of crisis management systems // *Int. J. Inf. Syst. Cris. Response Manag.* 2012. №4. P.35-52. DOI:10.4018/jiscrm.2012040103.
- [18] **Гвоздев В.Е., Бежаева О.Я., Насырова Р.А.** Модели возникновения ошибок на предпроектной стадии разработки компонент информационно-вычислительных систем // *Онтология проектирования*. 2020. Т.10, №1. С.73-86. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-73-86.
- [19] **Pardo C., Pino F.J., García F., Piattini M., Baldassarre M.T.** An ontology for the harmonization of multiple standards and models // *Comput. Stand. Interfaces*. 2012. №34. P.48-59. DOI:10.1016/j.csi.2011.05.005.
- [20] **Dori D., Sillitto H.** What is a system? An ontological framework // *Syst. Eng.* 2017. №20. P.207–219. DOI:10.1002/sys.21383.
- [21] **Axelsson J.** Achieving System-of-Systems Interoperability Levels Using Linked Data and Ontologies // *INCOSE International Symposium*. 2020. P.651-665. DOI:10.1002/j.2334-5837.2020.00746.x.
- [22] **Сафронов С.Л., Ткаченко И.С., Иванушкин М.А., Волгин С.С.** Современные подходы к созданию малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли на базе унифицированных платформ. Самара: Изд-во Самарского университета, 2019. 276 с.
- [23] Бортовая аппаратура. Сайт Российские космические системы. <https://russianspacesystems.ru/bussines/cosmostroy/bortovaya-apparatura/>.
- [24] Навигационная аппаратура. Сайт АО «ИРЗ». <https://www.irz.ru/products/12/index.htm>.
- [25] Отдел оптико-физических исследований ИКИ РАН. <http://ofo.ikiweb.ru/>.
- [26] АО «НПЦ «Полус». <https://polus-tomsk.ru/?id=212>.

- [27] Артериальные тепловые трубы. Сайт ООО НПП «Тепловые агрегаты и системы». <http://npptais.ru/artt/>.
- [28] **Zhang L, Tan R, Peng Q, Shao P, Dong Y, Wang K.** Construction and Application of Enterprise Knowledge Base for Product Innovation Design // Applied Sciences. 2022. №12(13). DOI:10.3390/app12136358.
- [29] **Комарова Л.А., Филатов А.Н.** Применение технологии нисходящего проектирования, основанной на решениях Windchill PDMLink и САПР Pro/ENGINEER, для разработки изделий ракетно-космической техники // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. №1-2.
- [30] **Есипов Б.А.** Методы оптимизации и исследование операций. Самара: Изд-во Самарского университета. 2007. 180 с.
- [31] **Salmin V.V. et al** Determination of the main design parameters of cost-effective remote sensing satellite systems at the stage of preliminary design // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1745. Issue 1. 012089. DOI: 10.1088/1742-6596/1745/1/012089.

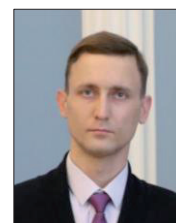
Сведения об авторах



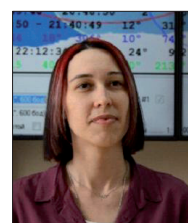
Ткаченко Иван Сергеевич, 1985 г. рождения. Окончил Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (2008), к.т.н. (2012). Доцент кафедры космического машиностроения Самарского университета, директор института авиационной и ракетно-космической техники, В списке научных трудов более 70 работ в области исследования и создания МКА. Author ID (РИНЦ): 602393; Author ID (Scopus): 12645515700, ORCID: 0000-0001-8892-7975. Tkachenko.is@ssau.ru. ✉.



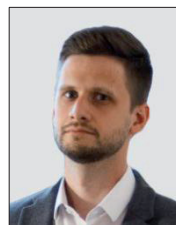
Сафронов Сергей Львович, 1984 г. рождения. Окончил Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (2007), к.т.н. (2012), доцент кафедры космического машиностроения, заведующий лабораторией наземных испытаний летательных аппаратов. В списке научных трудов более 60 публикаций в области проектирования космической техники. Научные интересы: платформы МКА, системный анализ. AuthorID (РИНЦ): 723511. Author ID (Scopus): 56940457200, ORCID:0000-0002-7530-0636. safronov@ssau.ru.



Коровин Максим Дмитриевич, 1988 г. рождения. Окончил Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (2013). Автор более 30 публикаций. Author ID (РИНЦ): 746456; Author ID (Scopus): 56566556100, ORCID: 0000-0002-2298-8457. korovin.md@ssau.ru.



Иванушкин Максим Александрович, 1991 г. рождения. Окончил Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (2015), ассистент кафедры космического машиностроения, младший научный сотрудник научно-исследовательского института космического машиностроения. Автор более 25 публикаций. Научные интересы: проектирование МКА, многоспутниковые космические системы. Author ID (РИНЦ): 882454. Author ID (Scopus): 57188855864, ORCID: 0000-0001-9525-0229. ivanushkin.ma@ssau.ru.



Крестина Анастасия Владимировна, 1995 г. рождения. Окончила Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (2017), ассистент кафедры космического машиностроения. Автор более 15 научных работ в области малых космических аппаратов. Научные интересы: космический мусор, уход МКА с орбиты. Author-ID (РИНЦ): 1047564. Author-ID (Scopus): 57210124218, ORCID: 0000-0002-6892-9903. stasy2403@yandex.ru.

Поступила в редакцию 19.11.2022, после рецензирования 30.01.2023. Принята к публикации 11.02.2023.



An information system to support preliminary design of small spacecraft

© 2023, I.S. Tkachenko ✉, S.L. Safronov, M.D. Korovin, M.A. Ivanushkin, A.V. Krestina

Samara University (Samara National Research University named after academician S.P. Korolev), Samara, Russia

Abstract

With the development of information technology, the role of support systems for the technical products design process has increased significantly. The capabilities of knowledge management systems make it possible to ensure the commonality of terminology, object definitions and relations between them. In addition, the use of formal semantics is necessary to support the reuse of knowledge. The article discusses ways to improve the efficiency of the small spacecraft design process and a creation of tools for the knowledge exchange about the functional characteristics of typical subsystems of such vehicles. The creation of an information system to support the preliminary design of small spacecraft, which contains information linked to the relationship between the functions and components of subsystems and their characteristics, is considered. The created system facilitates the synthesis of various product configurations. When developing the information system, modern approaches in the field of structural and functional classifications of small spacecraft systems and approaches existing in the field of taxonomy to create database structures were used. The information system database contains a set of characteristics for a wide range of small spacecraft equipment. As an example of the use of an information system to support the design of small spacecraft, the process of choosing the characteristics of a power supply system for a promising small spacecraft designed to provide communication between mobile ground terminals is considered.

Key words: information system, small spacecraft, space platform, database, onboard system, design, user interface.

For citation: Tkachenko IS, Safronov SL, Korovin MD, Ivanushkin MA, Krestina AV. An information system to support preliminary design of small spacecraft [In Russian]. *Ontology of designing*. 2023; 13(1): 75-89. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-1-75-89.

Financial Support: The work was carried out with the financial support of the Program of Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev for 2021-2030 within the Program of Strategic Academic Leadership «Priority 2030», Agreement № 30/22B from 15.06.2022.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

List of figures and tables

Figure 1 – Taxonomic scheme of small spacecraft subsystems

Figure 2 – Application user interface

Figure 3 – An ER-diagram fragment of the spacecraft subsystems database

Figure 4 – Payload module power graph

Figure 5 – Power consumption graph of the onboard equipment of the small spacecraft and the level of illumination

Figure 6 – Block diagram of the design support information system

Table 1 – Input data of the payload module power consumption

Table 2 – Initial data for determining the power supply system parameters

References

- [1] **Tkachenko IS.** Analysis of key technologies for creating multisatellite orbital constellations of small spacecraft [In Russian]. *Ontology of designing*. 2021; 11(4): 478-499. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-4-478-499.
- [2] **Hallberg N, Jungert E, Pilemalm S.** Ontology for Systems Development // International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering. 2014. pp.329-345. DOI:10.1142/S0218194014500132.

- [3] **Mezhuyev V.** Ontology Based Development of Domain Specific Languages for Systems Engineering // 2014 International Conference on Computer and Information Sciences (ICCOINS). Kuala Lumpur, Malaysia, 2015. p.1-6. DOI:10.1109/ICCOINS.2014.6868825.
- [4] The MOKA Consortium, "Managing engineering knowledge: MOKA: methodology for knowledge-based engineering applications", ASME Press, New York, 2001.
- [5] **Gu Q, Lago P.** Exploring service-oriented system engineering challenges: a systematic literature review // Service Oriented Computing and Applications (SOCA). 2009; 3: 171-188. DOI:10.1007/s11761-009-0046-7.
- [6] ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Quality Management System – Requirements [In Russian].
- [7] **Ma J, Wang G, Jinzhi L, Vangheluwe H, Kiritsis D, Yan Y.** Systematic Literature Review of MBSE Tool-Chains // Applied Sciences. 2022; 12: 3431. DOI:10.3390/app12073431.
- [8] **Klein J.** A systematic review of system-of-systems architecture research // QoSA 2013 - Proceedings of the 9th International ACM Sigsoft Conference on the Quality of Software Architectures. 2013. pp. 13-22. DOI:10.1145/2465478.2465490.
- [9] **Abdalla M, Bellare M, Neven G.** Robust encryption. TCC 2010, LNCS 5978, Springer, 2010. pp. 480-497.
- [10] **O'Neill A.** Definitional issues in functional encryption. Cryptology ePrint Archive, Report 2010/556, 2010. <http://eprint.iacr.org/2010/556>.
- [11] **Bianchi T, Santos DS, Felizardo KR.** Quality Attributes of Systems-of-Systems: A Systematic Literature Review // 2015 IEEE/ACM 3rd International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems. 2015. pp.23-30, DOI:10.1109/SESOS.2015.12.
- [12] **Vargas I, Gottardi T, Braga R.** Approaches for integration in system of systems: a systematic review. // In Proceedings of the 4th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems (SESOS '16). Association for Computing Machinery. New York, NY, USA, 2016. pp. 32–38. DOI:10.1145/2897829.2897835.
- [13] **Vierhauser M, Rabiser R, Grünbacher P.** Requirements monitoring frameworks: a systematic review // Inf. Softw. Technol. 2016. №80, pp. 89-109. DOI:10.1016/j.infsof.2016.08.005.
- [14] **de Lima RM, de Vargas D, Fontoura LM.** System of systems requirements: a systematic literature review using snowballing. Knowledge Systems Institute Graduate School. 2017. pp.97-100. DOI:10.18293/SEKE2017-114.
- [15] **Lan Yang, Kathryn Cormican, Ming Yu,** Ontology-based systems engineering: A state-of-the-art review, Computers in Industry, Volume 111, 2019, P.148-171, DOI:10.1016/j.compind.2019.05.003.
- [16] **Dwivedi YK, Ravichandran K, Williams MD, Miller S, Lal B, Antony GV, Kartik M.** IS/IT project failures: a review of the extant literature for deriving a taxonomy of failure factors // In: Dwivedi, Y.K., Henriksen, H.Z., Wastell, D., Dé, R. (Eds.), Gd. Successes Fail. IT. Public Priv. Sect. TDIT 2013. IFIP Adv. Inf. Commun. Technol.. Springer, Berlin, Heidelberg, pp.73–88. DOI:10.1007/978-3-642-38862-0_5.
- [17] **Hallberg N, Pilemalm S, Timpka T.** Quality driven requirements engineering for development of crisis management systems // Int. J. Inf. Syst. Cris. Response Manag. 2012; 4: 35-52. DOI:10.4018/jiscrm.2012040103.
- [18] **Gvozdev VE, Bezhaeva OY, Nasyrova RA.** Models of errors at the pre-design stage of the development of information and computing systems components [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(1): 73-86. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-73-86.
- [19] **Pardo C, Pino FJ, García F, Piattini M, Baldassarre MT.** An ontology for the harmonization of multiple standards and models // Comput. Stand. Interfaces. 2012; 34: 48-59. DOI:10.1016/j.csi.2011.05.005.
- [20] **Dori D, Sillitto H.** What is a system? An ontological framework // Syst. Eng. 2017; 20: 207–219. DOI:10.1002/sys.21383.
- [21] **Axelsson J.** Achieving System-of-Systems Interoperability Levels Using Linked Data and Ontologies // INCOSE International Symposium. 2020. pp. 651-665. DOI:10.1002/j.2334-5837.2020.00746.x.
- [22] **Safronov SL, Tkachenko IS, Ivanushkin MA, Volgin SS.** Modern approaches to the creation of small satellites for remote sensing of the Earth on the basis of unified platforms [In Russian]: monograph. Samara: Samara University publ.; 2019. 276 p.
- [23] Onboard equipment. The site of Russian space systems. <https://russianspacesystems.ru/bussines/cosmostroy/bortovaya-pparatura/>.
- [24] Navigation equipment. Website of JSC "Irz". <https://www.irz.ru/products/12/index.htm>.
- [25] Department of Optical and Physical Research of IKI RAS. <http://ofo.ikiweb.ru/>.
- [26] JSC "NPC" Polus ". <https://polus-tomsk.ru/?id=212>.
- [27] Arterial heat pipes. The site of the NPP LLC "Heat Aggregates and Systems". <http://npptais.ru/artt/>.
- [28] **Zhang L, Tan R, Peng Q, Shao P, Dong Y, Wang K.** Construction and Application of Enterprise Knowledge Base for Product Innovation Design // Applied Sciences. 2022. №12(13). DOI:10.3390/app12136358.
- [29] **Komarova LA, Filatov AN.** The application of the technology of downward design based on the solutions of Windchill PdmLink and CAD Pro/Engineer for the development of products of rocket and space technology [In Russian] // News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2011. No. 1-2.

- [30] **Esipov BA.** Optimization methods and operations research. Samara: Publishing House of the Samara University. 2007. 180 p.
- [31] **Salmin VV et al.** Determination of the main design parameters of cost-effective remote sensing satellite systems at the stage of preliminary design // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1745. Issue 1. 012089 DOI: 10.1088/1742-6596/1745/1/012089.
-

About the authors

Ivan Sergeevich Tkachenko (b. 1985), Graduated from Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolev (2008), Candidate of Technical Sciences (2012). Associate Professor of the Department of Space Engineering of Samara University, Director of Institute of Aviation and Rocket-Space Engineering. He has more than 70 works in the field of research and creation of small spacecrafts. Author ID (RSCI): 602393; Author ID (Scopus): 12645515700, ORCID: 0000-0001-8892-7975. tkachenko.is@ssau.ru. ✉

Sergey Lvovich Safronov, (b. 1984), Graduated from Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolev (2007), Candidate of Technical Sciences (2012), Associate Professor of Space Engineering Department, Head of Aircraft Ground Test Laboratory. He has more than 60 publications in the field of space technology design. Research interests are: small spacecraft platforms, systems analysis. AuthorID (RSCI): 723511. Author ID (Scopus): 56940457200, ORCID:0000-0002-7530-0636. safronov@ssau.ru.

Maxim Dmitrievich Korovin, (b. 1988), Graduated from Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolev (2013). He is the author of more than 30 publications. Research interests are: database design, information processing, small satellite design. Author ID (RSCI): 746456; Author ID (Scopus): 56566556100, ORCID: 0000-0002-2298-8457. korovin.md@ssau.ru.

Maxim Alexandrovich Ivanushkin, (b. 1991), Graduated from Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolev (2015), Assistant of Space Engineering Department, Junior Researcher of Space Engineering Research Institute. He is the author of more than 25 publications. Research interests are: design of small spacecraft, multi-satellite space systems. Author ID (RSCI): 882454. Author ID (Scopus): 57188855864, ORCID: 0000-0001-9525-0229. ivanushkin.ma@ssau.ru.

Anastasiya Vladimirovna Krestina, (b. 1995), Graduated from Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolev (2017), Assistant of Space Engineering Department. She is the author of more than 15 scientific works in the field of small spacecraft. Scientific interests are: space debris, small spacecraft orbital insertion. Author-ID (RSCI): 1047564. Author-ID (Scopus): 57210124218, ORCID: 0000-0002-6892-9903. stasy2403@yandex.ru.

Received November 19, 2022. Revised January 30, 2023. Accepted February 11, 2023.
