

На правах рукописи



Космынина Наталья Александровна

**ЯЗЫКОВЫЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА СОЗДАНИЯ И
ИСПОЛНЕНИЯ СЦЕНАРИЕВ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ
АППАРАТАМИ**

Специальность 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

Научный руководитель: **Легалов Александр Иванович,**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Ноженкова Людмила Федоровна,**
доктор технических наук, профессор,
Федеральный исследовательский центр
«Красноярский научный центр Сибирского
отделения Российской академии наук»,
г. Красноярск, Отдел прикладной
информатики, заведующий отделом;

Шелехов Владимир Иванович,
кандидат технических наук, Федеральное
государственное бюджетное учреждение
науки Институт систем информатики
им. А.П. Ершова Сибирского отделения
Российской академии наук, г. Новосибирск,
Лаборатория системного программирования,
старший научный сотрудник

Ведущая организация: Публичное акционерное общество «Ракетно
- космическая корпорация «Энергия» имени
С.П. Королёва», г. Королев

Защита состоится «27» февраля 2020 года в 14⁰⁰ часов в конференц-зале на заседании диссертационного совета Д 212.173.06 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по адресу 630073, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Новосибирского государственного технического университета и на сайте <http://www.nstu.ru>.

Автореферат разослан « » января 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Андрей Владимирович Фаддеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время космические аппараты (КА) применяются в самых разных областях: связь, навигация, геодезия, телевидение и другие. Для выполнения КА целевых функций необходимо обеспечить решение задач управления: удержание КА на заданной орбите, обеспечение живучести КА, включение/отключение различных режимов работы полезной нагрузки, выполнение регламентных работ по подсистемам КА.

Командный метод управления КА обеспечивает решение задач управления КА выдачей соответствующих команд с Земли, с учетом текущего состояния, анализируемого на основе непрерывно получаемой телеметрии. Программные средства управления КА, помимо автоматизации выдачи команд и анализа телеметрии, выполняют также и сервисные задачи: сбор и сохранение статистики о выданных командах управления КА и средствами наземного комплекса управления (НКУ), планирование работ с КА на произвольный промежуток времени и другие.

Последовательность команд, обеспечивающую решение каждой отдельной задачи управления, принято называть сценарием управления. Для описания таких сценариев широко используются языковые средства управления КА, позволяющие описать логику выдачи команд. Примеры предметно-ориентированных языков: ЯОТР (АО «ИСС»), Python (GMV), PLUTO (ESA), SCL (Interface & Control Systems), STOL (NASA), TAO (Kratos Integral Systems International), CSTOL (LASP), CCL (Harris), JAS (L-3 Telemetry-West), Cecil (Raytheon Company), CIL (Jet Propulsion Laboratory), TOPE/tcl (ESA), UCL (Airbus Defence & Space), Elisa (Astrium), PIL (Astrium).

Функциональные возможности языков управления связаны, в первую очередь, с необходимостью обеспечения автоматизации процесса управления, что обеспечивается языковой поддержкой выполнения следующих задач: выдачи команд, анализа текущих значений телеметрических параметров, выдачи сообщений оператору, пауз между командами. Применение такой технологии ведет к снижению суммарного времени, затрачиваемого на поиск и выдачу отдельных команд управления, и повышению надежности часто повторяемых «ручных» операций управления полетом.

В связи с расширением и усложнением спектра задач, выполняемых современными КА, усложняется и процесс их управления. В связи с этим, актуальной является задача повышения эффективности языковых и инструментальных средств управления КА.

Работа посвящена повышению эффективности и надежности процессов подготовки и выполнения сценариев управления КА, в частности, исследованию, проектированию и разработке языковых и инструментальных средств создания и исполнения сценариев управления КА.

Цель и задачи исследования. Основной целью исследования является повышение эффективности и надежности процесса подготовки сценариев

управления космическими аппаратами за счет новых языковых и инструментальных средств подготовки и исполнения сценариев управления КА.

Задачи исследования:

- анализ специфики командного метода управления КА;
- формирование требований, определяемых предметной областью, к языковой и инструментальной поддержке командного метода управления КА;
- создание языковых и инструментальных средств, обеспечивающих повышение эффективности процесса подготовки сценариев управления КА.

Объектом исследования является процесс управления КА.

Предметом исследования являются языковые и инструментальные средства создания и исполнения сценариев управления КА.

Методы исследования. В диссертационной работе использовались теория языков и формальных грамматик, теория разработки трансляторов. В качестве средства моделирования предметной области применялись UML-диаграммы. Для описания синтаксиса языка программирования использовались расширенные формы Бэкуса-Наура (РБНФ).

В экспериментальной части применялись методы синтаксического анализа и компиляции, методы объектно-ориентированного и событийно-ориентированного программирования.

Научная новизна:

- на основе анализа предметной области предложена модель предметной области, включающая структуру командного метода управления КА, и определяющая функциональный состав языковых и инструментальных средств управления КА;
- разработан предметно-ориентированный язык программирования, повышающий эффективность разработки сценариев управления КА;
- разработаны инструментальные средства подготовки и выполнения сценариев управления КА, обеспечивающие повышение надежности и эффективности поддержки командного метода управления КА.

Основные положения, выносимые на защиту:

- модель предметной области, на основе которой были сформулированы требования к языковым и инструментальным средствам управления КА;
- предметно-ориентированный язык создания сценариев управления КА;
- инструментальные средства, обеспечивающие повышение эффективности подготовки и выполнения сценариев управления.

Практическая значимость работы. В рамках выполнения исследования был спроектирован язык управления КА «Дельта». Разработаны программные продукты, осуществляющие поддержку процесса создания и исполнения сценариев управления КА:

- интерпретатор, поддерживающий выполнение сценариев управления в реальном времени в ручном и автоматизированном режимах во время сеанса связи с КА, что обеспечивает практическое использование полученных результатов;

- библиотека стандартных сценариев управления КА, для создания наборов сценариев управления перспективными КА;
- программная система, обеспечивающая инструментальную поддержку процессов создания и выполнения сценариев управления КА, а также конвертер, в автоматизированном режиме преобразующий эксплуатационную документацию по управлению КА в набор сценариев управления.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- XIX Научно-практическая конференция на тему «Научно-практические аспекты совершенствования управления КА и информационного обеспечения запусков КА», г. Краснознаменск, 2009 (диплом за лучший доклад, представленный на конференции);

- Научно-техническая конференция молодых специалистов ОАО ИСС «Разработка, производство, испытания и эксплуатация космических аппаратов и систем», г. Железнодорожск, 2011 (диплом за лучший доклад, представленный на конференции);

- V Общероссийская молодежная научно-техническая конференция «Молодежь. Техника. Космос», Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, 2013г. (диплом за лучший доклад на секции «Системы управления и информационные системы»);

- III Научно-техническая конференция молодых специалистов ОАО «ИСС», г. Железнодорожск, 2014 (диплом за I место на секции «Средства выведения, управления и эксплуатация космических аппаратов и систем»);

- Международная научная конференция «Решетневские чтения», ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, 2015;

- IX ежегодная научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов, Центр управления полетами ФГУП ЦНИИмаш, г. Королев, 2019 (диплом лауреата II степени).

Практическое применение разработанных программных продуктов подтверждено актом о внедрении.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 14 работ, из них 3 в изданиях Перечня ВАК. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, включающего 81 наименование, и двух приложений. Работа изложена на 127 листах машинописного текста, содержит 32 рисунка, 10 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлена актуальность работы, цель и задачи исследования, раскрыта научная новизна, теоретическая и практическая ценность исследования, приведено краткое содержание работы.

В первой главе проведен анализ специфики предметно-ориентированных языков управления КА, описаны некоторые из существующих языков управления КА. Выделены недостатки существующих программных средств и языков управления в плане применения, обоснована необходимость в разработке нового языка и инструментальных средств управления.

Функциональные возможности языков управления КА обоснованы необходимостью решения задач управления КА с Земли. Выдача команд производится из центра управления полетами (ЦУП) с использованием наземных радиосредств. Для обеспечения решения задач управления КА языки управления должны поддерживать следующие возможности:

- выдача команд управления на КА;
- анализ текущего состояния КА на основе телеметрии, поступающей по радиоканалу с борта КА;
- выдача сообщений оператору согласно логике, заложенной в сценарии;
- паузы между командами;
- вызов другого сценария управления из данного;
- комментарии к тексту сценария.

Примеры зарубежных языков автоматизации управления КА в ходе сеанса связи с КА из ЦУП: Python (GMV), PLUTO (ESA), SCL (Interface & Control Systems), STOL (NASA), TAO (Kratos Integral Systems International), CSTOL (LASP), CCL (Harris), JAS (L-3 Telemetry-West), Cecil (Raytheon Company), CIL (Jet Propulsion Laboratory), TOPE/tcl (ESA), UCL (Airbus Defence & Space), Elisa (Astrium), PIL (Astrium), и др.

Несмотря на сходные функциональные задачи, связанные с выдачей команд на КА, реализация языков управления КА сильно различается:

- языки управления могут быть как общего назначения, так и специализированными (разработанными специально для автоматизации процесса управления КА);
- возможно использование процедурного и объектно-ориентированного стиля программирования;
- отдельные языки поддерживают только последовательное выполнение сценариев управления, другие – как последовательное, так и параллельное;
- для написания сценариев может применяться текстовое, табличное и графическое представление.

Были выявлены недостатки в языке управления КА, эксплуатируемом на базе АО «ИСС», связанные с тем, что язык не поддерживает изменившиеся требования предметной области.

Применение зарубежных аналогов языков управления является нецелесообразным ввиду несовпадения решаемых задач управления КА, а также

ориентированности на технологии управления КА, специфичные для организации-разработчика. Данные причины вызвали необходимость создания нового предметно-ориентированного языка управления.

На основании достоинств и недостатков существующих языковых средств управления КА был сформулирован следующий перечень требований к перспективным языковым и инструментальным средствам управления КА.

Требования к перспективным языковым средствам управления:

- перспективный язык управления должен относиться к классу предметно-ориентированных (специализированных) языков, предназначенных для целей автоматизации процесса управления КА, что позволит упростить процесс обучения конечных пользователей;

- текстовая форма представления, что обеспечит хорошую читаемость даже объемных сценариев управления с нелинейной логикой выполнения, строгость, компактность записи, простоту хранения;

- использование лексических единиц, соответствующих терминологии предметной области, что облегчит процесс создания сценариев управления;

- поддержка как русскоязычного, так и англоязычного синтаксиса для соответствия требованиям международных контрактов.

Требования к перспективным инструментальным средствам управления КА:

- обеспечение проверки синтаксиса сценариев управления КА;

- ручной и автоматизированный режимы выполнения сценариев управления во время проведения сеанса связи с КА, что позволит выполнять как заранее созданные последовательности команд управления в соответствии с логикой, заложенной в сценарии управления, так и произвольно менять ее, выдавая команды управления в ручном режиме.

- переносимость разрабатываемых инструментальных средств на базу операционных систем различного типа.

Во второй главе проводится анализ процесса управления КА, на основе которого предложена структура командного метода управления КА, а также модель предметной области, описывающая организацию сценария управления для поддержки командного метода управления КА. Формирование такой модели позволило определить основные требования к предметно-ориентированному языку программирования и его инструментальной поддержке.

Управление КА – комплекс мер организационного и технического характера, направленных на выполнение запланированной программы полета на всех этапах жизненного цикла КА:

- выведение КА на целевую орбиту;

- начальные операции по приведению подсистем КА в рабочее состояние;

- проведение проверок, летных или приемосдаточных испытаний;

- штатная эксплуатация на орбите согласно целевому назначению;

- проведение заключительных операций с КА.

Структура процесса управления полетом одинакова для отечественных и зарубежных КА различного назначения, и включает в себя следующие мероприятия:

- планирование проведения работ по управлению КА;
- навигационные измерения и баллистические расчеты;
- контроль параметров состояния КА;
- выдача на КА команд управления;
- реагирование на обнаруженные нештатные ситуации.

В число задач управления КА, выполняемых с помощью командного метода, входят следующие:

- обеспечение движения КА по требуемой орбите;
- поддержание работоспособности систем КА в целом;
- обеспечение выполнения целевой задачи;
- обнаружение и парирование аномальных ситуаций, препятствующих решению перечисленных задач, ликвидация их последствий.

На основе описания процесса управления КА была разработана структура процесса управления, применимая для КА различного класса и назначения, представленная на рисунке 1.

Периодически выполняемые процедуры управления можно описать в виде отдельных сценариев управления, включив в разрабатываемую библиотеку сценариев. В зависимости от особенностей структуры, а также процесса управления конкретным КА к указанным сценариям управления добавляются другие сценарии управления, обеспечивающие выполнение целевой задачи.

Сценарий управления представляет собой последовательность команд управления, выдаваемых с Земли на бортовые системы КА. Выдача каждой следующей команды зависит от некоторого набора условий, например:

- параметров текущего сеанса, например, наличие или отсутствие дополнительного шифрования (открытый или закрытый режим) выдачи команд;
- текущего значения телеметрических параметров, характеризующего состояние бортовых систем;
- значения телеметрических параметров, сохраненных оператором на какой-либо момент времени (необходимо, например, для восстановления состояния приборов полезной нагрузки до определенной конфигурации).

Темп выдачи команд, если это не оговорено специально, определяется темпом получения подтверждения, свидетельствующего об исполнении команды на борту КА.

Если состояние какого-либо признака не допускает выдачи очередной команды, алгоритм выполнения операции имеет ответвление, обеспечивающее либо продолжение операции по другой ветви алгоритма, либо ее прерывание, регламентированное нужным образом.

На основе анализа предметной области (задач по управлению КА) был предложен набор наиболее востребованных сценариев по управлению КА. На основании этого набора разработана библиотека сценариев по управлению КА, которая может использоваться при создании наборов исходных данных управления для вновь создаваемых КА, с учетом расширения за счет специализированных сценариев, отражающих специфику процесса управления разрабатываемого КА.



Рисунок 1 – Структура процесса управления КА

Для рассматриваемой предметной области значимым является следующий набор понятий:

«Сценарий управления» – последовательность команд, обеспечивающая решение отдельных задач управления.

«Декодер» – оборудование, предназначенное для кодирования и передачи команд по радиоканалу на борт КА. У декодера есть имя, которое может принимать значение «А» или «В».

«Команда» – команды различных форматов и назначения, для выдачи на КА. Каждая команда характеризуется типом команды и номером команды. Типы команд: РК (команды управления для исполнения аппаратурой КА); ПК (программные команды для исполнения бортовым программным обеспечением). Номер команды – целое число. Назначение диапазона номеров команд определяется при разработке КА.

«Сообщение» – текстовое сообщение оператору, выдаваемое в ходе выполнения сценария управления. Важность сообщения указывается с помощью цвета, которым оно будет подсвечено при выводе на экран.

«Пауза» – временная задержка выполнения сценария управления.

«Проверка» – сравнение значений параметров, указанных в тексте сценария, с их реальными значениями. В качестве сравниваемых параметров могут использоваться следующие параметры: «ТМ-параметр», «Сохраненный ТМ-параметр», «Состояние команды», «Параметр сеанса», «Номер КА».

«Сохраненный ТМ-параметр» – значение ТМ-параметра, принудительно сохраненное на определенный момент времени.

«Параметр сеанса» – набор характеристик текущего сеанса управления (например, необходимость дополнительного специализированного шифрования выдаваемых команд управления).

«ТМ-параметр» – поименованный элемент данных, отображающий некоторую характеристику функционирования КА в реальном времени (например, температуры, или состояния отдельно взятого прибора: включен или выключен).

«Состояние команды» – состояние предыдущей выданной на КА команды. В случае нештатного выполнения команды управления процесс управления должен быть приостановлен до выяснения и устранения причин нештатной ситуации.

«Номер КА» – номер КА, управление которым производится с помощью данного сценария управления. Применяется для создания универсальных сценариев управления КА различных группировок, содержащих несколько КА с различными номерами.

Модель предметной области, разработанная с учетом основных понятий, значимых для автоматизируемой предметной области, определяющая функциональный состав языковых средств поддержки командного метода управления КА, представлена на рисунке 2.

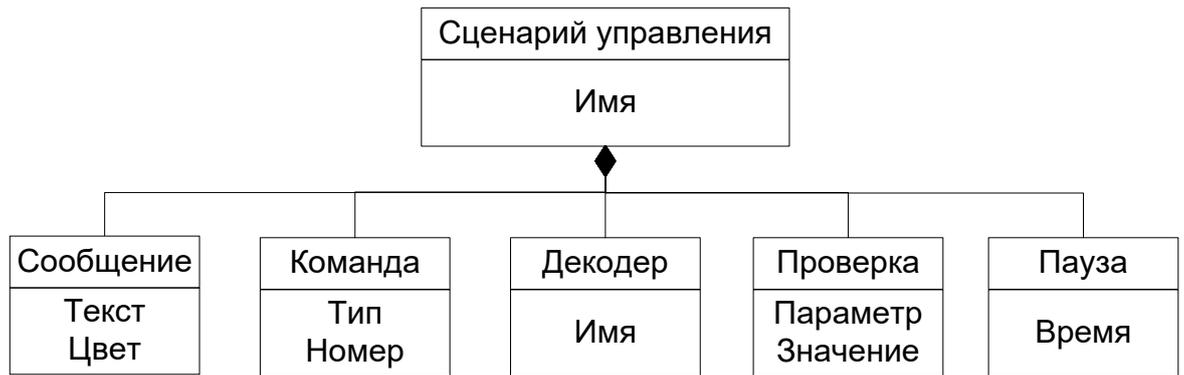


Рисунок 2 – Модель предметной области

Предложенная модель предметной области позволила в дальнейшем выделить основные операторы языка управления, обеспечивающие поддержку процесса управления КА, что обеспечивает предметную ориентированность разрабатываемых языковых средств.

В третьей главе предложен предметно-ориентированный язык управления КА «Дельта», синтаксис которого описан с помощью РБНФ.

Для обеспечения выполнения целевой задачи (автоматизация процесса управления КА) разрабатываемый язык должен соответствовать модели предметной области, и при этом включать в себя управляющие конструкции, определяющие последовательность выполнения отдельных предметно-ориентированных операторов языка.

К разрабатываемому языку предъявляется следующий набор требований.

1. Требования, определяемые моделью предметной области:

- язык должен оперировать набором сущностей, достаточных для написания сценариев по управлению КА, в следующем составе: «Команда», «Сообщение», «Пауза», «Проверка», «Декодер» и их параметрами;

- язык должен поддерживать остановку выполнения сценария управления, для прерывания стандартного хода выполнения сценария управления, в случае, когда необходимо вмешательство оператора для анализа сложившейся ситуации.

2. Наличие управляющих конструкций, определяющих последовательность выполнения отдельных предметно-ориентированных операторов языка:

- язык должен обеспечивать проверку многовариантного ветвления, включая случай, когда ни один из предложенных вариантов не подошел;

- язык должен поддерживать проверку выполнения нескольких заданных логических условий «И», «ИЛИ», «НЕ»;

- язык должен обеспечивать возможность включения в текст сценария управления комментариев, содержащих пояснения к тексту программы;

- язык должен поддерживать вызов других сценариев управления из данного с возможностью передачи некоторых параметров, что обеспечивает повторное использование уже созданных и отлаженных сценариев, например, путем вызова на выполнение одного сценария из другого;

– язык должен поддерживать циклы, необходимые для выполнения повторяющихся действий.

Рассмотренные выше требования были реализованы в предметно-ориентированном языке управления КА «Дельта». Многие ключевые слова, используемые в языке, совпадают с терминами предметной области.

Сценарий управления является процедурой, в текстовом виде хранящейся в базе данных, и обладающей уникальным именем, по которому ее можно вызвать на исполнение в реальном времени в ходе сеанса управления. Также сценарий можно вызывать из других сценариев, для чего в состав сценария могут входить формальные параметры, которые при вызове должны быть заменены на фактические. В случае отсутствия такой замены выдается сообщение об ошибке.

Разработанный язык управления КА «Дельта» поддерживает следующие функции:

- выдачу команд управления КА (оператор «ВЫДАТЬ»);
- проверку выполнения заданного условия, например, попадания текущего значения указанного телеметрического параметра в допустимый интервал (оператор «ЕСЛИ»);
- оператор смены декодера – комплекта наземного оборудования, предназначенного для кодирования и передачи команд по радиоканалу на борт КА (оператор «ДЕКОДЕР»);
- проверку многовариантного ветвления, включая случай, когда ни один вариант из предложенных не подошел (оператор «ВЫБОР»);
- проверку выполнения нескольких заданных логических условий (операторы «И», «ИЛИ», «НЕ»);
- задание паузы на заранее заданный промежуток времени (оператор «ПАУЗА»);
- печать текстовых сообщений оператору (оператор «ПЕЧАТЬ»);
- комментарии, содержащие пояснения к тексту программы (оператор «К»);
- вызов других сценариев управления из данного с возможностью передачи некоторых параметров, что обеспечивает повторное использование уже созданных и отлаженных сценариев (оператор «ВЫЗВАТЬ»);
- остановку выполнения типовой работы, что применяется для обработки нештатной ситуации в управлении, прерывания стандартного хода выполнения сценария управления, в случае, когда необходимо вмешательство оператора для анализа сложившейся ситуации (оператор «СТОП»);
- циклы, необходимые для выполнения повторяющихся действий (оператор «ЦИКЛ»).

Пример сценария управления на разработанном языке управления Дельта:

ПРОГРАМ

К Пример написания типовой работы

ВЫЗВАТЬ РТР_Вкл_1

ВЫЗВАТЬ РТР_АКТ(40, 5)

ПАУЗА 00:00:10

ЕСЛИ АТМ1 = 1 ЗА 00:00:20

```

ПЕЧАТЬ #ЗЕЛЕНЬЙ Параметр АТМ1 = 1
КЕСЛИ
ПАУЗА 00:00:10
ЕСЛИ АТМ1 = 1 И АТМ2 В (-5,1) И АТМ3 В [-5,1] ЗА 00:00:20
    ПЕЧАТЬ ТМ-параметры в норме
    СТОП
КЕСЛИ
ДЕКОДЕР А
ЦИКЛ (8)
    ВЫДАТЬ РК 40
    ПАУЗА 00:01:00
КЦИКЛ
ВЫБОР АТМ2
ВАРИАНТ (-5;1)
    ПЕЧАТЬ Параметр АТМ2 находится в границах (-5,1)
ВАРИАНТ [1,8)
    ПЕЧАТЬ Параметр АТМ2 находится в границах [1,8)
ОСТАЛЬНОЕ
    ПЕЧАТЬ #КРАСНЫЙ Параметр АТМ2 не принял требуемых значений
    СТОП
КВЫБОР
КПРОГРАМ

```

Для соответствия требованиям международных контрактов была реализована поддержка англоязычной версии языка управления КА «Дельта». Синтаксис языка для англоязычной и русскоязычной версий не различается.

В четвертой главе предложена инструментальная система создания и исполнения сценариев управления, а также система автоматизации создания сценариев управления на основе анализа эксплуатационной документации. Представлен интерфейс пользователя разработанной системы, приведена структура разработанных программ, особенности реализации предложенных алгоритмов.

Разработанные инструментальные средства содержат следующие компоненты (рисунок 3):

- «Интерпретатор» – отвечает за проверку синтаксиса сценариев управления, а также за их выполнение в реальном времени;
- «Помощник» по вводу сценариев – предназначен для упрощения ввода текстов сценариев управления, осуществляет подстановку введенных пользователем данных в соответствующие конструкции языка и добавление этих конструкций к тексту редактируемого сценария;
- «Текстовый редактор» – отвечает за отображение, редактирование и последующее сохранение текстов сценариев;
- «Библиотека процедур управления» – содержит стандартные, наиболее применимые процедуры управления, подлежащие редактированию, изменению и дополнению;
- «Конвертер» – транслятор, в автоматизированном режиме преобразующий эксплуатационную документацию по управлению КА в набор сценариев управления.

Разработанный комплекс программ был интегрирован в состав программного обеспечения управления КА разработки АО «ИСС», состоящего из следующих компонент:

- СПО ИТО – программный комплекс обработки и отображения ТМИ;
- СПО ПКПО – программный комплекс управления КА;
- СПО САО – система автоматизированного сетевого обмена;
- БД – база данных.

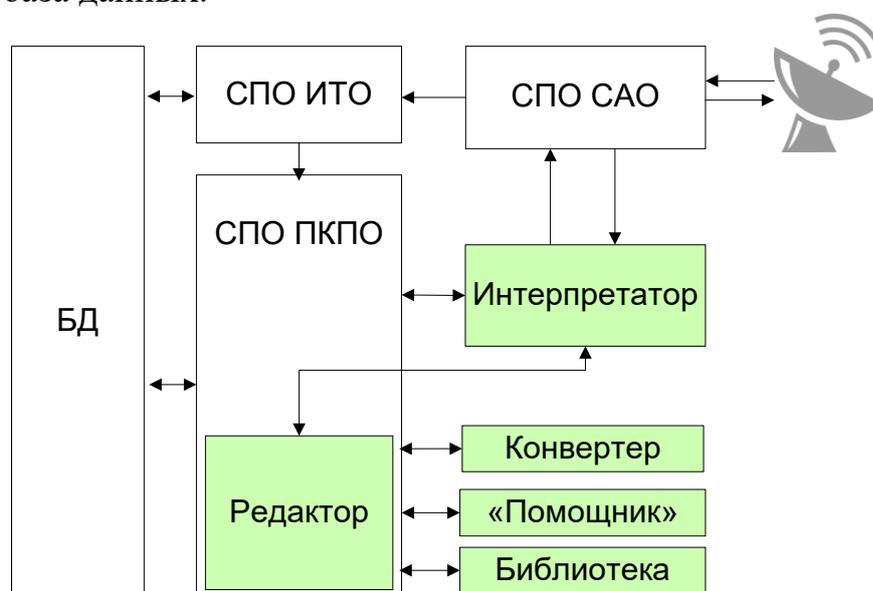


Рисунок 3 – Структура инструментальных средств

Сценарии управления создаются на основе эксплуатационной документации вручную. Данный процесс занимает значительное время, а также подвержен влиянию человеческого фактора (итоговые сценарии управления могут содержать ошибки). Данный факт вызвал необходимость в разработке алгоритма автоматизированного заведения сценариев управления на основе анализа эксплуатационной документации.

Пример описания сценария управления, входящего в состав ЭД по управлению КА представлен в таблице 1. Описание сценария представлено в виде таблицы, содержащей набор выдаваемых команд, описание действия оператора, время выдачи команды, а также перечень ТМ-параметров, контроль которых производится для подтверждения успешности прохождения текущего шага.

Столбцы в данном формате описания сценариев управления имеют следующее назначение:

- «Номер шага» – порядковый номер выполняемого шага;
- «Действие оператора» – текстовое описание выполняемого действия;
- «Время» – задержка между выполнением предыдущего шага сценария управления, и текущего;
- «Операция управления» – столбец, который может содержать следующие данные: номер выдаваемой команды или имя вызываемого сценария управления;

– «Контроль» – перечень ТМ-параметров, меняющих свое состояние в случае успешного выполнения операции, и их значений. Если в графе «Контроль» ТМ-параметр отсутствует, то контроль данного действия не производится.

Таблица 1 – Пример сценария управления

Номер шага	Действие оператора	Время	Команда	Контроль
1	Подрыв основного и резервного ПП в узле зачековки 1		1	ПП171=1; ПП172=1
2	Подрыв основного и резервного ПП в узле зачековки 2	00:00:10	2	ПП181=1; ПП182=1
3	Подрыв основного и резервного ПП в узле зачековки 3		3	ПП191=1; ПП192=1

Был разработан алгоритм подготовки сценариев управления с помощью автоматизированного анализа эксплуатационной документации, заключающийся в следующем: вместо ручного набора сценариев управления создавать их в автоматизированном режиме, на основе данных, содержащихся в эксплуатационной документации путем подстановки в соответствующие синтаксические конструкции языка.

Предложенный инструментарий был реализован с использованием языка С++ и библиотеки Qt. Для реализации разработанного алгоритма был выбран объектно-ориентированный подход, как метод, обеспечивающий наименее затратную модификацию программы и обновление её функциональности.

В качестве системы хранения сценариев управления применяется существующая схема БД, содержащая исходные данные управления, а также статистику управления.

Также приведены результаты сравнения характеристик существующих и предложенных языковых и инструментальных средств управления КА, применяемых на базе АО «ИСС» (рисунки 4 – 6). В качестве критериев сравнения были выбраны следующие характеристики:

- время, затрачиваемое на заведение сценариев управления с использованием существующего (ручного) и разработанного (автоматизированного) методов заведения сценариев;

- количество символов в итоговых сценариях управления, составленных с использованием эксплуатируемого на базе АО «ИСС» языка ЯОТР и разработанного языка «Дельта»;

- количество строк в итоговых сценариях управления, составленных с использованием языка ЯОТР и разработанного языка «Дельта».

Анализ проводился на основе случайной выборки документов из состава эксплуатационной документации по управлению КА, относящихся к различным проектам АО «ИСС».

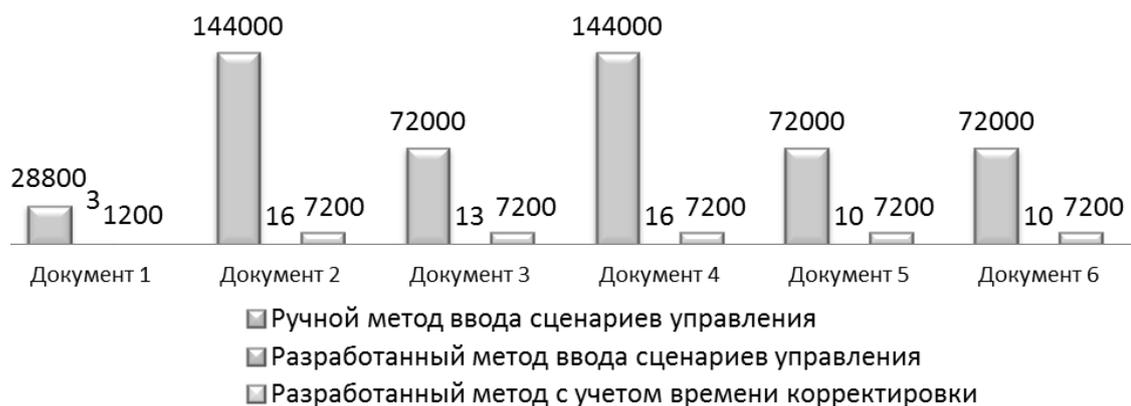


Рисунок 4 – Оценка времени, затрачиваемого на составление сценариев управления по существующим эксплуатационным документам, в секундах

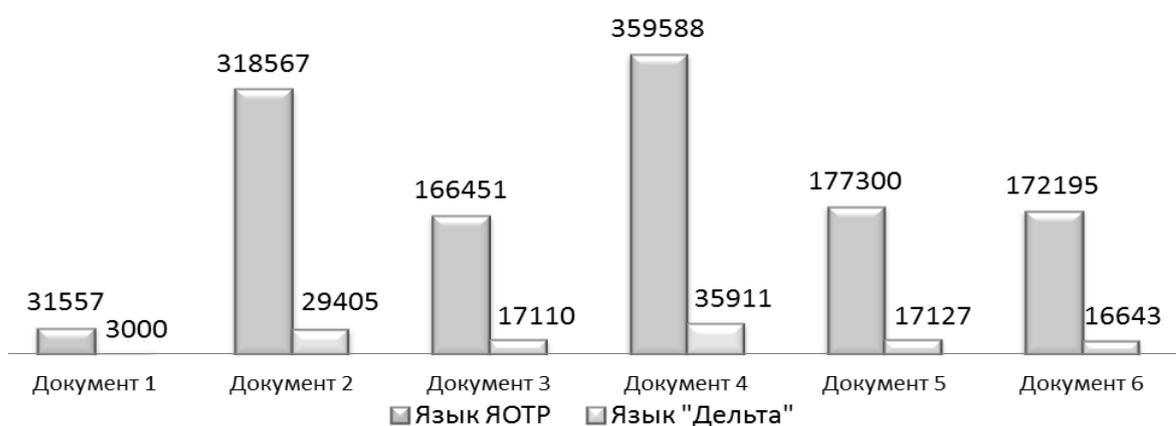


Рисунок 5 – Оценка количества символов в итоговых сценариях управления, составленных с использованием эксплуатируемого языка ЯОТР и разработанного языка «Дельта»

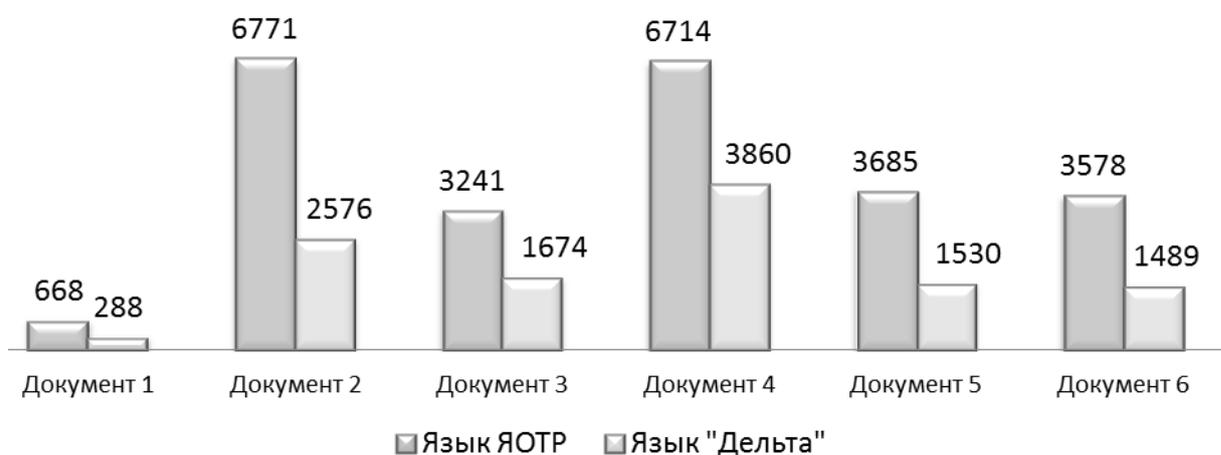


Рисунок 6 – Оценка количества строк в итоговых сценариях управления, составленных с использованием эксплуатируемого языка ЯОТР и разработанного языка «Дельта»

Проведенный анализ полученных данных показал значительное уменьшение времени, затраченного на создание сценариев управления КА, а также уменьшение размерности сценариев управления: количество строк сократилось в два раза, количество символов сократилось в десять раз, без потери информационной составляющей, что показывает преимущества разработанного языка и метода автоматизированного анализа документации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа посвящена повышению эффективности и надежности процессов подготовки сценариев управления космическими аппаратами, в частности, исследованию, проектированию и разработке языковых и инструментальных средств создания и исполнения сценариев управления космическими аппаратами.

В результате выполнения работы были получены следующие научные результаты:

- на основе анализа предметной области предложена модель предметной области, включающая структуру командного метода управления КА, и определяющая функциональный состав языковых и инструментальных средств управления КА;

- разработан предметно-ориентированный язык программирования, повышающий эффективность разработки сценариев управления КА;

- разработаны инструментальные средства подготовки и выполнения сценариев управления КА, обеспечивающие повышение надежности и эффективности поддержки командного метода управления КА.

Разработаны программные продукты, осуществляющие поддержку процесса создания и исполнения сценариев управления КА:

- интерпретатор, поддерживающий выполнение сценариев управления в реальном времени в ручном и автоматизированном режимах во время сеанса связи с КА;

- библиотека стандартных сценариев управления КА, для создания наборов сценариев управления перспективными КА;

- программная система, обеспечивающая инструментальную поддержку процессов создания и выполнения сценариев управления КА, а также конвертер, в автоматизированном режиме преобразующий эксплуатационную документацию по управлению КА в набор сценариев управления.

Опыт эксплуатации разработанных языковых и инструментальных средств создания и исполнения сценариев управления КА показал, что их применение минимизирует факт появления ошибок, так как исключает ввод текстов сценариев управления вручную. Также снижается суммарное время, затрачиваемое на подготовку сценариев управления КА.

Предложенный подход к организации языковых и инструментальных средств создания и исполнения сценариев управления КА применим для автоматизации процесса управления КА различного назначения для предприятий ракетно-космической отрасли.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Издания из Перечня ВАК ведущих рецензируемых научных изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций:

1 Космынина, Н.А. Метод автоматизации подготовки типовых работ по управлению космическими аппаратами / Н.А.Космынина // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2015. – С.183-187.

2 Космынина, Н.А. Языки управления космическими аппаратами / Н.А.Космынина // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2015. – № 81.

3 Космынина, Н.А. Разработка языка управления космическими аппаратами / Н.А.Космынина, А.И.Легалов, А.В.Барков, А.А.Лапин // Информационно-управляющие системы / Санкт-Петербург, 2015, №5(78) – С. 82 – 90.

Сборники научных трудов:

4 Космынина, Н.А. Разработка программного обеспечения автоматизации управления космическими аппаратами / Н.А.Космынина // Сборник трудов VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Молодёжь и современные информационные технологии. – 2010. – С.15-17.

5 Космынина, Н.А. Разработка языка и инструментальных средств управления КА / Н.А.Космынина, А.А.Лапин, А.И.Легалов // Актуальные проблемы космонавтики: Труды XXXIX академических чтений по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых-пионеров освоения космического пространства. – 2015. – С. 305.

Другие издания:

6 Космынина, Н.А. Разработка интерпретатора командных скриптов по управлению КА как части специального программного обеспечения центра управления полётами / Н.А.Космынина, А.А.Лапин // Материалы научно-технической конференции молодых специалистов ОАО «Информационные Спутниковые Системы» имени академика М.Ф.Решетнева «Разработка, производство, испытания и эксплуатация космических аппаратов и систем». – 2011. – С. 22-23.

7 Космынина, Н.А. Разработка интерпретатора командных скриптов для обеспечения автоматизированного управления космическим аппаратом / Н.А.Космынина, А.И.Легалов // Теоретические и прикладные проблемы науки и образования в 21 веке. – 2012. – С.57-58.

8 Космынина, Н.А. Разработка интерпретатора скриптов управления космическим аппаратом / Н.А.Космынина, А.И.Легалов // Решетневские чтения: материалы XVI Международной научной конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем акад. М.Ф. Решетнева. – 2012. Ч. 2 – С. 572-573.

9 Космынина, Н.А. Разработка интерпретатора скриптов управления

космическим аппаратом / Н.А.Космынина, А.А.Лапин, А.И.Легалов // Общероссийская молодежная научно-техническая конференция «Молодежь. Техника. Космос». – 2013. – С.221-222.

10 Савенко, И.И. Метод автоматизации процесса реконфигурации бортового ретранслятора спутника связи / И.И.Савенко, М.С.Суходоев, Н.А.Космынина, Д.Н.Рыжков, С.Г.Цапко // Глобальный научный потенциал. – 2013. – № 11 (32) – С. 94-98.

11 Космынина, Н.А. Разработка метода автоматизации подготовки исходных данных и эксплуатационной документации по управлению КА / Н.А.Космынина, А.А.Лапин // III Научно-техническая конференция молодых специалистов «Разработка, производство, испытания и эксплуатация космических аппаратов и систем». – 2014. – С. 56-57.

12 Космынина, Н.А. Разработка средств автоматизации управления космическими аппаратами / Н.А.Космынина // Решетневские чтения; материалы XIX Международной Научно-практической конференции, посвященной 55-летию Сибирского Государственного Аэрокосмического Университета им. акад. М.Ф. Решетнева. – 2015. – С.180-181.

13 Зюзина, В.И. Методы управления космическими аппаратами / В.И.Зюзина, Н.А.Космынина // Материалы XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии» – 2015. – С. 32-33.

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ:

14 Космынина, Н.А. Специальное программное обеспечение планирования и командно-программного обеспечения / А.А.Лапин, А.В.Петров, Н.А.Космынина и др. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № №2014619652. – М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. – 2014.

Отпечатано в типографии «Диамант»
662971, г. Железногорск, ул. Восточная, 26а,
Тел./факс (3919) 71-41-91
Формат 60x84 1/16. Объем 1,5 п.л., Тираж 100 экз.
Подписано в печать 28.11.2019 г.