

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 2019

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

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Легалов Александр Иванович

Официальные оппоненты: **Ноженкова Людмила Федоровна**,
доктор технических наук, профессор,
Институт вычислительного моделирования
СО РАН, заведующий отделом прикладной
информатики

Шелехов Владимир Иванович, кандидат
технических наук, Институт систем
информатики имени А.П. Ершова СО РАН,
старший научный сотрудник

Ведущая организация: Ракетно-космическая Корпорация
"Энергия" им. С. П. Королёва, г. Королев

Защита состоится « » 2019 года в часов 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 « » 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Фаддеенков Андрей Владимирович

Общая характеристика работы

Актуальность темы. 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 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 зарубежных проблемно-ориентированных языков: 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). Описаний отечественных языковых средств управления КА в открытом доступе не представлено.

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.

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.

Цель работы – повышение эффективности и надежности процесса подготовки сценариев управления космическими аппаратами.

Задачи работы:

- провести анализ методов управления КА, а также языковых и инструментальных средств, реализующих указанные методы;
- разработать модель процесса управления КА;

– создать языковые и инструментальные средства на основе разработанной модели, обеспечивающие решение задач управления КА.

Объектом исследования является процесс управления космическими аппаратами.

Предметом исследования является языковые и инструментальные средства создания и исполнения сценариев управления космическими аппаратами.

Методы исследования. В диссертационной работе использовались теория языков и формальных грамматик, теории 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 (Qt) программирования.

Научная новизна:

– на основе анализа предметной области предложена модель процесса управления КА, позволившая определить требования к создаваемым языковым средствам управления КА;

– разработан предметно-ориентированный язык управления КА, обладающий расширенными функциональными возможностями в сравнении с существующими языковыми средствами, что обеспечивает повышение эффективности создания и применения сценариев управления КА;

– разработана инструментальная система, обеспечивающая поддержку создания сценариев управления КА, включающая интерпретатор сценариев управления, средства отладки, а также транслятор, в автоматизированном режиме преобразующий эксплуатационную документацию по управлению КА в набор сценариев управления.

Положения, выносимые на защиту.

– модель процесса управления КА, позволившая определить требования к языковым и инструментальным средствам управления КА;

– проблемно-ориентированный язык управления КА, обеспечивающий повышение эффективности создания сценариев управления по сравнению с существующими языковыми и инструментальными средствами за счет более гибкого синтаксиса и расширенных функциональных возможностей;

– архитектура инструментальных средств, обеспечивающих подготовку и выполнение сценариев управления.

Практическая ценность результатов. В рамках выполнения исследования был спроектирован язык управления КА «Дельта». Помимо этого были разработаны следующие программные продукты:

– транслятор, 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, отладки, выполнения сценариев управления КА, а также автоматизированную подготовку сценариев на основе автоматизированного анализа эксплуатационной документации.

Разработанное программное обеспечение применяется в процессе управления большинством КА разработки АО «ИСС»: «Луч-5А», «Луч-5Б», «Луч-5В», «Ямал-300К», «Ямал-401», «Экспресс-АМ5», «Экспресс-АМ6», «Экспресс-АТ1», «Экспресс-АТ2».

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.

Апробация и внедрение результатов. 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. Железногорск, 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», Железногорск, 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.

Практическое применение разработанных программных продуктов подтверждено актом о внедрении.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 13 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, библиографического списка, включающего 89 наименований, и трех приложений. Работа изложена на 103 листах машинописного текста, содержит 24 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 перечислены базовые возможности проблемно-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 подсистем КА на основе анализа поступающих по радиоканалу с борта КА телеметрических параметров;
- 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.

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

Требования к перспективным языковым средствам управления:

– перспективный язык управления должен относиться к классу 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, 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 модель процесса управления КА, позволившая определить требования к создаваемым языковым средствам управления КА.

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 управляющих воздействий (УВ);
- 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;
- состояния предыдущей команды (один из нескольких вариантов: дошла до программного обеспечения системы автоматизированного обмена, куда выданные команды попадают перед тем, как быть отправленными на наземную станцию, выдана наземной станцией, выполнена на КА);
- 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.



Рисунок 1 – Структура процесса управления КА

UML-модель предметной области, состоящая из значимых для автоматизируемой предметной области (процесса управления КА) представлена на рисунке 2.

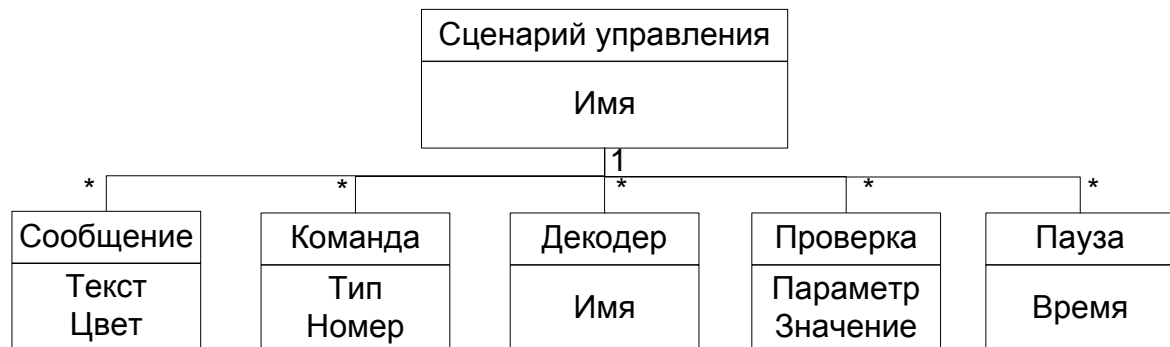


Рисунок 2 –UML-модель предметной области

«Сценарий управления» – последовательность команд, обеспечивающая решение отдельных задач управления. Стандартно в процессе управления КА применяется ряд процедур управления определенного назначения (см. рисунок 1): измерение параметров орбиты, проведение коррекции орбиты, прохождение теневых участков и другие.

«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, различной степени важности, например, «Пользовательское», «Диагностическое», «Критическое», и другие. Важность сообщения указывается с помощью цвета, которым оно будет подсвечено при выводе на экран.

«Пауза» – временная задержка продолжения выполнения процедуры управления.

«Проверка» – сравнение 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. В данный «архив ТМ-параметров» должны быть сохранены все ТМ-параметры, характеризующие состояние КА на определенный момент времени.

«Параметр сеанса» – набор характеристик текущего сеанса управления (например, необходимость дополнительного специализированного шифрования выдаваемых команд управления). Набор параметров сеанса известен заранее, до начала сеанса управления, и неизменен в его процессе.

«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. Данный параметр может принимать несколько значений: «ДоСАО» – команда дошла до программного обеспечения сетевого обмена, «ДоЗС» – команда дошла до земной станции выдачи команд, «Исп» – команда успешно выполнена бортовыми системами КА.

«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.

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.

В третьей главе описывается разработанный 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.

1. Требования, определяемые моделью предметной области:

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

1.2 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:

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

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

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

2.4 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;

2.5 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, допускающей использование формальных параметров, в текстовом виде хранящейся в базе данных, и обладающей уникальным именем, по которому его можно вызвать на исполнение в реальном времени в ходе сеанса управления. Также его 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»);
- 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»).

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

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 #КРАСНЫЙ Параметр АТМ1 = 1

СТОП

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

В четвертой главе содержится описание программного обеспечения, разработанного для осуществления инструментальной поддержки создания сценариев управления КА. 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);
- «Система анализа ЭД» (транслятор, в автоматизированном режиме преобразующий эксплуатационную документацию по управлению КА в набор сценариев управления).

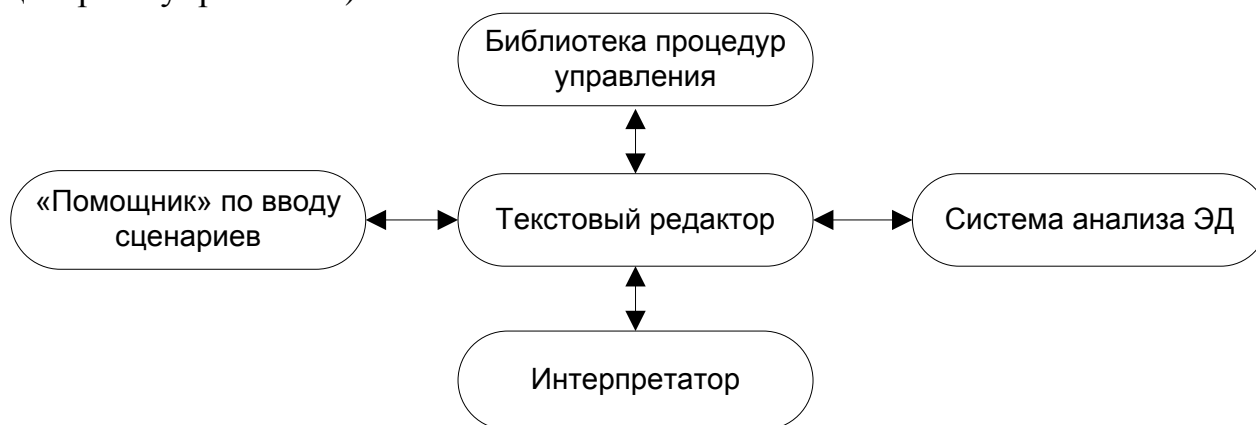


Рисунок 3 – Структура инструментальных средств

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 C++ 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».

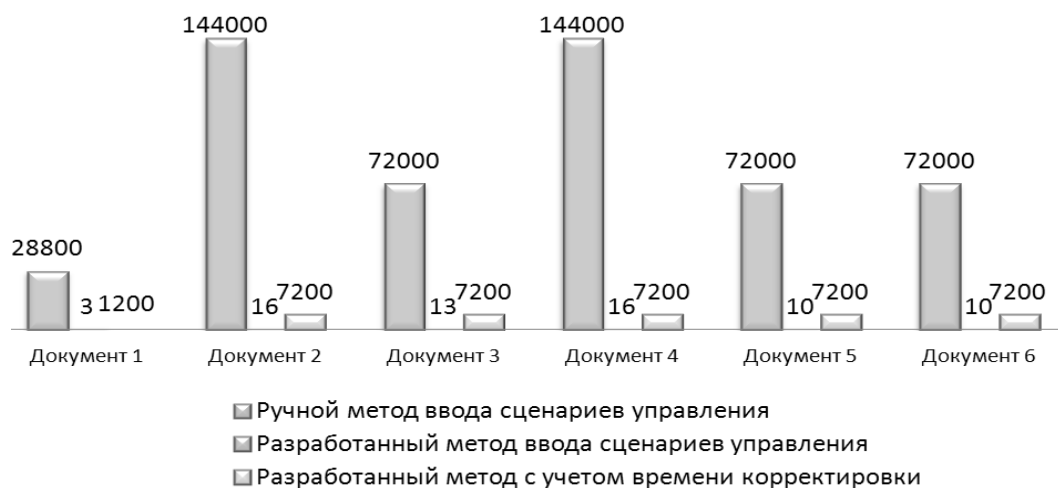


Рисунок 4 – Оценка времени, затрачиваемого на составление сценариев управления по существующим эксплуатационным документам

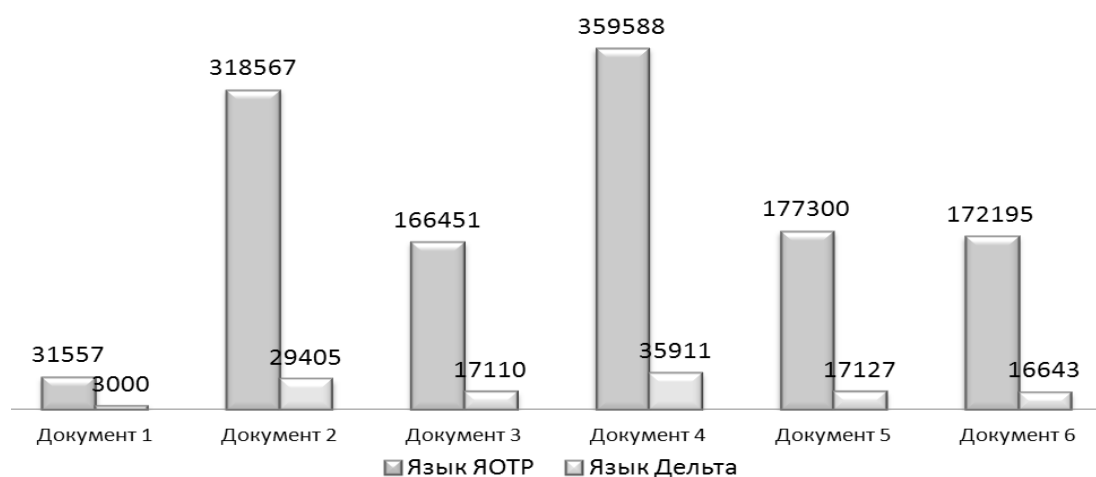


Рисунок 5 – Оценка количества символов в итоговых сценариях управления, составленных с использованием эксплуатируемого языка ЯОТР и разработанного языка «Дельта»

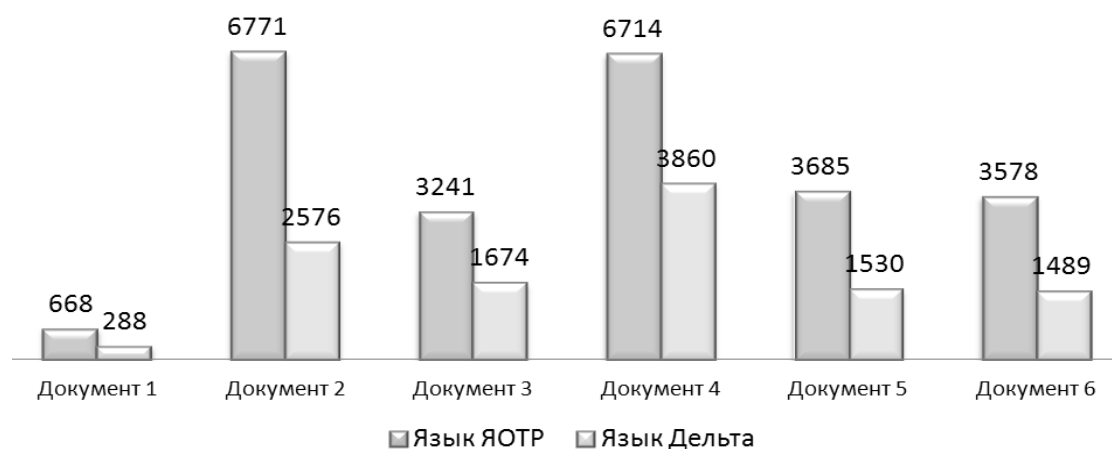


Рисунок 6 – Оценка количества строк в итоговых сценариях управления, составленных с использованием эксплуатируемого языка ЯОТР и разработанного языка «Дельта»

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 процесса управления КА, позволившая определить требования к создаваемым языковым средствам управления КА;

- разработан предметно-ориентированный язык управления КА, обладающий расширенными функциональными возможностями в сравнении с существующими языковыми средствами, что обеспечивает повышение эффективности создания и применения сценариев управления КА;

- разработана инструментальная система, обеспечивающая поддержку создания сценариев управления КА, включающая интерпретатор сценариев управления, средства отладки, средства автоматизации создания сценариев управления на основе анализа эксплуатационной документации.

Практическая ценность результатов. В рамках выполнения исследования был спроектирован язык управления КА «Дельта». Помимо этого были разработаны следующие программные продукты:

- 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, отладки, выполнения сценариев управления КА, а также транслятор, в автоматизированном режиме преобразующий эксплуатационную документацию по управлению КА в набор сценариев управления.

Разработанное программное обеспечение применяется в процессе управления большинством КА разработки АО «ИСС»: «Луч-5А», «Луч-5Б», «Луч-5В», «Ямал-300К», «Ямал-401», «Экспресс-АМ5», «Экспресс-АМ6», «Экспресс-АТ1», «Экспресс-АТ2».

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

1) 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», г. Томск, 2010 – С.15-17.

2) 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» / ОАО «ИСС», г. Железногорск, 2011 – С. 22-23.

3) 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, часть 3 / Издательство ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», г. Тамбов, 2012 – С.57-58.

4) Космынина Н. А. Разработка интерпретатора скриптов управления космическим аппаратом / Н. А. Космынина, А. И. Легалов // Решетневские чтения: материалы XVI Междунар. науч. конф., посвящ. памяти генер. конструктора ракет.-космич. систем акад. М.Ф. Решетнева (7-9 ноября 2012, г. Красноярск): в 2 ч. / под общ. ред. Ю.Ю. Логинова; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2012. Ч. 2 – С. 572-573.

5) 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», (20-22 марта 2013) / Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, 2013 – С.221-222.

6) Космынина Н. А. 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 — Санкт-Петербург 2013, № 11 (32) – С. 94-98.

7) 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» / ОАО «ИСС», г. Железногорск 2014. – С. 56-57.

8) 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. Москва, 27 – 30 января 2015 г. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – С. 305.

9) 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, Вып. 1. Т. 16. – Красноярск, 2015. – С.183-187.

10) 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.

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

12) Космынина Н. А. Разработка средств автоматизации управления космическими аппаратами / Н. А. Космынина // Решетневские чтения; материалы XIX Междунар. Науч-практ.конф., посвящ. 55-летию Сиб. Гос. Аэрокосмич. Ун-та им. акад. М.Ф.Решетнева (10-14 нояб.2015б г.Красноярск) /Сиб.гос.аэрокосмич. ун-т, г. Красноярск, 2015 – С.180-181.

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